PHẠM TUẤN NAM	BỘ GIÁO DỤC VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ ĐÀO TẠO VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM <b>HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ</b>
	Phạm Tuấn Nam
VẬT LÝ NGUYÊN TỬ VÀ HẠT NHÂN	ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ẢNH HƯỞNG CỦA BỨC XẠ ION HÓA ĐẾN SỨC KHỎE CƯ DÂN KHU VỰC MỎ ĐẤT HIẾM ĐÔNG PAO THUỘC XÃ BẢN HON, HUYỆN TAM ĐƯỜNG, TỈNH LAI CHÂU
2025	LUẠN VAN THẠC SI NGANH KHOA HỌC VẠT CHAT Hà Nội - 2025

# BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

# VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

# HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Tuấn Nam

# ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG ẢNH HƯỞNG CỦA BỨC XẠ ION HÓA ĐẾN SỨC KHỎE CƯ DÂN KHU VỰC MỎ ĐẤT HIẾM ĐÔNG PAO THUỘC XÃ BẢN HON, HUYỆN TAM ĐƯỜNG, TỈNH LAI CHÂU

Chuyên ngành: Vật lý nguyên tử và hạt nhân Mã số: 8440106

# LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH KHOA HỌC VẬT CHẤT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. TS. Đặng Đức Nhận

2. PGS. TS. Lê Thanh Son

#### Hà Nội – 2025

#### Lời cam đoan

Tôi xin cam đoan đề tài nghiên cứu trong luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi dựa trên những tài liệu, số liệu do chính tôi tự tìm hiểu và nghiên cứu. Chính vì vậy, các kết quả nghiên cứu đảm bảo trung thực và khách quan nhất. Đồng thời, kết quả này chưa từng xuất hiện trong bất cứ một nghiên cứu nào. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực nếu sai tôi hoàn chịu trách nhiệm trước pháp luật.

Tác giả luận văn

Phạm Tuấn Nam

#### Lời cảm ơn

Luận văn này được thực hiện với sự hướng dẫn, chỉ dạy của TS. Đặng Đức Nhận, và PGS. TS. Lê Thanh Sơn, bên cạnh việc khơi gọi đường hướng nghiên cứu, trao truyền kiến thức chuyền môn, kỹ thuật thực nghiệm, các cán bộ hướng dẫn còn động viên, chia sẻ và khuyến khích tinh thần học tập, nghiên cứu khoa học của học viên. Tôi xin gửi tới các thầy lời cảm ơn chân thành và sâu sắc nhất.

Bên cạnh đó, học viên cũng gửi lời cảm ơn tới lãnh đạo Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, PGS. TS. Phạm Đức Khuê và TS. Nguyễn Hữu Quyết; Lãnh đạo Trung tâm Quan trắc phóng xạ và Đánh giá tác động môi trường, ThS. Dương Văn Thắng, TS. Nguyễn Thị Thu Hà, và các đồng nghiệp tại Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình thực hiện luận văn, hoàn thành chương trình đào tạo thạc sĩ.

Hà Nội, ngày ... tháng ... năm 2025

Học viên

Phạm Tuấn Nam

# MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT	iv
DANH MỤC CÁC BẢNG	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỎ THỊ v	viii
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG OUAN	4
1.1. TỔNG QUAN VỀ PHÓNG XẠ MÔI TRƯỜNG	4
1.1.1. Các đồng vị phóng xạ nguyên thủy	5
1.1.2. Các chuỗi phóng xạ	5
1.1.3. Radon trong không khí	7
1.1.4. Tia vũ trụ	8
1.2. TỔNG QUAN VỀ LIỀU LƯỢNG VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA BỨC XẠ	9
1.2.1. Một số khái niệm	9
1.2.2. Các thành phần liều hiệu dụng trung bình năm gây bởi bức xạ ion hóa nhiên	tự 14
CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨ	ĴŪ
	18
2.1. ĐÔI TƯỢNG VÀ PHẠM VI	18
2.2. PHƯƠNG PHAP	21
2.2.1. Xác định nông độ hoạt độ các nhân phóng xạ theo phương pháp p gamma	hô 21
2.2.2. Lấy mẫu và phân tích tổng hoạt độ alpha, beta	31
2.2.3. Phương pháp xác định nồng độ hoạt độ khí phóng xạ 222Rn và 220Rn	33
2.2.4. Phương pháp xác định mức suất liều bức xạ từ vũ trụ	37
2.2.5. Xác định mức suất liều hiệu dụng trung bình năm	38
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	42
3.1. KÉT QUẢ PHÂN TÍCH MÃU	42
3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM	53
<ul> <li>3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM</li> <li>3.2.1. Vấn đề vật liệu xây dựng</li> </ul>	53 54
<ul> <li>3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM</li> <li>3.2.1. Vấn đề vật liệu xây dựng</li> <li>3.2.2. Vấn đề khí phóng xạ</li> </ul>	53 54 57
<ul> <li>3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM</li> <li>3.2.1. Vấn đề vật liệu xây dựng</li> <li>3.2.2. Vấn đề khí phóng xạ</li> <li>3.2.3. Quan điểm an toàn bức xạ ở khu vực có nền phông phóng xạ cao</li> </ul>	53 54 57 59
<ul> <li>3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM</li></ul>	53 54 57 59 <b>62</b>

Ký hiệu	Thuật ngữ tiếng Anh	Tiếng Việt	
А	Activity	Hoạt độ	
AEGED	Annual Effective Gamma	Liều tương đương gamma hiệu dụng	
	Equivalent Dose	trung bình trung bình năm	
AGED	Annual Gamma Effective	Liều hiệu dụng gamma trung bình	
	Dose	năm	
AR	Adaptive response	Phản hồi thích nghi	
С	Activity concentration	Nồng độ hoạt độ	
CNS	Central Nervous System	Hệ thần kinh trung ương	
D	Absorbed Dose	Liều hấp thụ	
DCF	Dose Convert Factor	Hệ số chuyển đổi từ liều hấp thụ sang	
		liều hiệu dụng	
E	Average annual effective	Liều hiệu dung trung bình trung bình	
	dose	năm	
$E_{ing}$	Effective Dose from	Liều hiệu dụng do ăn uống	
	Ingestion		
$E_{inh}$	Effective Dose from	Liều hiệu dụng do hít thở	
	Inhalation		
US EPA	United States	Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ	
	Environmental Protection		
	Agency		
GCR	Galactic cosmic ray	Tia vũ trụ từ các thiên hà	
H	Dose equivalent	Tương đương liều	
HBNRA	High Background Natural	Khu vực có nền phông bức xạ tự	
	Radiation Area	nhiên cao	
H <sub>E</sub>	Effective dose equivalent	Tương đương liều hiệu dụng	
IAEA	International Atomic	Cơ quan Nguyên tử Quốc tế	
	Energy Agency		
IAED Indoor Annual gamma		Liêu hiệu dụng gamma trung bình	
	Effective Dose	năm trong nhà	
ICRP International Commission		Ủy ban Quốc tế về Bảo vệ Bức xạ	
	on Radiological Protection	9	
LTTP		Lương thực thực phâm	
NBRA	Normal background	Khu vực có nên phóng xạ bình	
	radiation areas	thường	
NCBI National Center for		Trung tâm Quốc gia về Thông tin	
	Biotechnology Information	Công nghệ sinh học	
NORM	Naturally Occurring	Vật liệu phóng xạ tự nhiên	
	Radioactive Material		

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

Ký hiệu	Thuật ngữ tiếng Anh	Tiếng Việt	
NTL	No-Threshold Linear model	Mô hình tuyến tính không ngưỡng	
OAED	Outdoor Annual gamma	Liều hiệu dụng gamma trung bình	
	Effective Dose	năm ngoài nhà	
OF	Occupancy fraction	Hệ số chiếm cứ (tỉ lệ thời gian mà cá	
		thể ở trong nhà)	
REE	Rare Earth Elements	Các nguyên tố đất hiếm	
SF	Shielding factor	Hệ số che chắn (bởi nhà cửa)	
SI	International System	Hệ thống (đơn vị) đo lường quốc tế	
SMR	Standardised Mortality	Tỉ lệ tử vong chuẩn hóa	
	Ratio		
T <sub>1/2</sub>	Half life	Chu kỳ bán rã	
TCVN		Tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt	
		Nam	
TENORM	Technologically Enhanced	Vật liệu phóng xạ có nguồn gốc tự	
	Naturally Occurring	nhiên được làm tăng hoạt độ do hoạt	
	Radioactive Material	động công nghiệp	
UNSCEAR	United Nations Scientific	Ủy ban Khoa học Liên Hợp Quốc về	
Committee on the Effects of		Tác động của Bức xạ Nguyên tử	
	Atomic Radiation		
US NRC	United States Nuclear	Cơ quan Pháp quy Hạt nhân Hoa Kỳ	
	Regulatory Commission		
WHO	World Health Organization	Tổ chức Y tế Thế giới	
$W_{T}$	Weighting factor	Trọng số là hệ số so sánh khả năng	
		ion hóa của các dạng bức xạ khác	
		nhau hoặc mức mẫn cảm với bức xạ	
		ion hóa của các mô, cơ quan trong cơ	
		thể	

# DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Các đồng vị phóng xạ nguyên thủy đơn lẻ [12]	5
Bảng 1.2. Trọng số bức xạ ( <i>wR</i> ) của các loại bức xạ điển hình [24] 1	.2
Bảng 1.3. Trọng số mô $W_T$ do ICRP khuyến cáo để xác định liều hiệu dụng [25]. 1	.3
Bảng 1.4. Mức liều hiệu dụng trung bình năm gây bởi các thành phần bức xạ tự nhiê và nhân tạo (chiếu xạ y tế) đối với công chúng trên phạm vi toàn cầu [23] 1	èn 4

Bảng 3.1. Thống kê mô tả liều hiệu dụng chiếu ngoài do gamma trong đất đá 42
Bảng 3.2. Thống kê mô tả liều hiệu dụng do hít thở khí radon và thoron ở khu vực mỏ43
Bảng 3.3. Nồng độ hoạt độ $^{226}$ Ra, $^{232}$ Th và $^{40}$ K trong đất ở khu vực mỏ
Bảng 3.4. Nồng độ hoạt độ <sup>238</sup> U, <sup>232</sup> Th và <sup>40</sup> K trong đất ở khu vực đối chứng 46
Bảng 3.5 Kết quả phân tích tổng hoạt độ alpha, beta trong mẫu nước
Bảng 3.6. Nồng độ hoạt độ khí phóng xạ 222Rn và 220Rn ở khu vực mỏ 48
Bảng 3.7. Nồng độ hoạt độ khí phóng xạ 222Rn và 220Rn ở khu vực đối chứng 50
Bảng 3.8. Kết quả phân tích mẫu lương thực, thực phẩm (Đơn vị: Bq/kg) 50
Bảng 3.9. Liều hiệu dụng đóng góp do chiếu trong qua đường tiêu hóa ở khu vực mỏ
Bảng 3.10. Liều hiệu dụng đóng góp do chiếu trong qua đường tiêu hóa ở khu vực đối chứng 52
Bảng 3.11. Liều hiệu dụng tổng cộng trung bình năm tác động lên dân cư khu vực mỏ và khu vực đối chứng 53
Bảng 3.12. Mức hoạt độ phóng xạ an toàn của vật liệu xây dựng [56] 55

Bảng 3.13. Chỉ số sàng lọc vật liệu xây dựng có chứa các nhân phóng xạ	56
Bảng 3.14. Mức quy định hoặc khuyến nghị với nồng độ radon trong nhà ở	59
Bảng 3.15. Những ảnh hưởng do phơi chiếu mãn tính bức xạ nền phông cao ở một	t số
khu vực trên thế giới [66]	61

# DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Chuỗi phóng xạ urani (A = $4n+2$ )	6
Hình 1.2. Chuỗi phóng xạ actini-urani (A=4n+3)	7
Hình 1.3. Chuỗi phóng xạ thori $(A = 4n)$	7
Hình 1.4. Mức đóng góp của từng thành phần bức xạ tự nhiên và nhân tạo (chiếu x y tế), tính bằng % đối với công chúng phạm vi toàn cầu [23]	.ạ 4

Fình 2.1. Khu vực nghiên cứu 20
Hình 2.2. Sơ đồ vị trí lấy mẫu đất, lương thực – thực phẩm, và nước tại khu vực nghiên cứu
Hình 2.3. Sơ đồ vị trí đặt detector xác định nồng độ khí radon tại khu vực nghiên cứu 
Fình 2.4. Dạng phổ của mẫu chuẩn IAEA RGU1 đo trên hệ phổ kế gamma, detector FPGe tại Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân
fình 2.5. Hình ảnh detector vết xác định nồng độ hoạt độ <sup>222</sup> Rn và <sup>220</sup> Rn trong không hí
Fình 2.6. Kính hiển vi OLIMPUS CX21 và hình ảnh vết tương tác của hạt alpha lên him
Hình 2.7. Đo suất liều tia vũ trụ trên mặt hồ Thủy Sơn, thành phố Lai Châu, tỉnh Lai Châu

Hình 3.1. Hình ảnh cấu trúc xây dựng nhà ở điển hình ở khu vực nghiên cứu ...... 56

# MỞ ĐẦU

Trong môi trường sống, con người luôn chịu tác động của bức xạ ion hóa có nguồn gốc từ tự nhiên và nhân tạo, với mức liều hiệu dụng trung bình năm vào khoảng 2,96 mSv/năm; với 82% là đóng góp của các yếu tố tự nhiên [1]. Từ khi hình thành Trái Đất, các nhân phóng xạ <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, v.v. đã xuất hiện và tồn tại cho đến ngày nay, do đó chúng được gọi là các nhân phóng xạ nguyên thủy. Các nhân phóng xạ này và con cháu của chúng có trong đất đá, đóng góp vào liều chiếu ngoài do phân rã phóng xạ. Một số nhân phóng xạ có trong không khí, vị dụ như radon và thoron, là con cháu trong chuỗi <sup>238</sup>U và <sup>232</sup>Th, gây ra liều chiếu trong do hít thở. Radon có thể đóng góp lên đến 54% tổng mức liều hiệu dụng trung bình năm, nếu chỉ tính đến các nguồn phóng xạ tự nhiên [2]. Các nhân phóng xạ có trong đất, nước và không khí, có thể vận chuyển vào lương thực, thực phẩm qua các quá trình trao đổi chất, và đi vào cơ thể có người qua các hoạt động lao động, sinh hoạt hàng ngày. Việc đánh giá nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ tự nhiên là cơ sở xác định nguy cơ có thể có của bức xạ ion hóa với sức khỏe con người [3], đặc biệt là ở những khu vực có nền phông phóng xạ tự nhiên dị thường.

Ở các mỏ khoáng sản thường có chứa các nhân phóng xạ tự nhiên với hàm lượng cao hơn mức bình thường, chúng được gọi là các vật liệu phóng xạ tự nhiên (Naturally Occuring Radioactive Materials - NORM) [4, 5]. Khi tiến hành khai thác, nồng độ hoạt độ của các nhân phóng xạ sẽ tăng lên, tạo ra loại vật liệu phóng xạ tự nhiên được làm giàu lên do hoạt động công nghiệp (Technological Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials- TENORM) [6], làm gia tăng mức rủi ro sức khỏe của cư dân sinh sống trên khu vực lân cận mỏ khoáng sản. Mỏ đất hiếm Đông Pao, Tam Đường, Lai Châu được xác định là khu vực có chứa vật liệu phóng xạ tự nhiên (Naturraly Occurring Radioactive Materials-NORM), với hàm lượng thori cao lên đến vài phần trăm [7-9], và đã có những nghiên cứu tiền khả thi cho việc khai thác đất hiếm ở khu vực này.

Trong bối cảnh đó, đề tài "Đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ ion hóa đến sức khỏe cư dân khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao thuộc xã Bản Hon, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu" hướng đến việc xác định mức liều hiệu dụng trung bình năm mà cư dân sinh sống gần khu vực mỏ phải nhận, qua đó đánh giá những nguy cơ có thể có do bức xạ ion hóa gây ra. Dữ liệu về các yếu tố đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm trước khi mỏ đất hiếm Đông Pao được khai thác (nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ có trong đất, lương thực, thực phẩm; nồng độ khí radon, thoron), có

thể là cơ sở để đánh giá những thay đổi của nền phông phóng xạ tự nhiên khi tiến hành khai thác.

Mục tiêu chung của nghiên cứu: Xác định được tổng mức liều bức xạ trên khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao thuộc xã Bản Hon, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu làm cơ sở đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ đến sức khỏe cộng động trên địa bàn nghiên cứu.

Mục tiêu cụ thể:

- Xác định nồng độ hoạt độ: <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K trong đất; <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K và <sup>210</sup>Po trong thực phẩm; Nồng độ radon (<sup>222</sup>Rn) và thoron (<sup>220</sup>Rn) trong không khí; tổng hoạt độ anpha, beta trong nước; và suất liều đóng góp bởi tia vũ trụ.

- Xác định liều hiệu dụng trung bình năm và so sánh với các quy định, tiêu chuẩn liên quan.

Nội dung nghiên cứu được thể hiện qua bố cục của luận văn, bao gồm phần mở đầu, 3 chương, phần kết luận và danh mục các tài liệu tham khảo, cụ thể:

Chương 1 nghiên cứu tổng quan về phông phóng xạ môi trường, một số khái niệm liều lượng và các yếu tố đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm;

Chương 2 trình bày về khu vực nghiên cứu (mỏ đất hiếm Đông Pao), phương pháp thu thập, xử lý và phân tích mẫu của các yếu tố (đất, nước, radon trong không khí, lương thực, thực phẩm, tia vũ trụ) đóng góp vào nền phông phóng xạ ở khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao;

Chương 3 trình bày kết quả phân tích, tính toán các yếu tố, thành phần của liều hiệu dụng trung bình năm và mức tổng cộng suất liều trung bình năm mà cư dân sinh sống ở khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao phải nhận; đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ đến sức khỏe công chúng thông qua các chỉ số nguy hại, khuyến cáo của ICRP và IAEA.

Các yếu tố đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm và phương pháp đo đã được các tổ chức quốc tế (UNSCEAR, ICRP, WHO và IAEA, v.v.) nghiên cứu, khảo sát và tính toán ở nhiều khu vực trên thế giới, đây là cơ sở khoa học để thực hiện xác định liều hiệu dụng trung bình năm ở khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao, Lai Châu. Đề tài tiến hành thu thập mẫu đất, nước, lương thực thực phẩm, đặt detector để xác định các chỉ tiêu phóng xạ theo các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam (TCVN) hiện hành, các phép thử đã được công nhận tại Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân; Tính toán suất liều hiệu dụng trung bình năm và so sánh với các quy định, tiêu chuẩn để đánh giá nguy cơ ảnh hưởng tới sức khỏe của người dân.

Hoạt động thăm dò, đánh giá tiền khả thi cho việc khai thác mỏ đất hiếm Đông Pao đã được thực hiện. Việc đánh giá nền phông phóng xạ và tính toán liều hiệu dụng trung bình năm ở khu vực mỏ đất hiếm có tính thực tiễn giúp đảm bảo an toàn bức xạ, xác định những thay đổi trong nền phông phóng xạ, và khả năng ô nhiễm phóng xạ; đặc biệt có ý nghĩa khi mỏ đất hiếm Đông Pao được đưa vào khai thác.

Liều hiệu dụng trung bình năm xác định được ở khu vực nghiên cứu giúp đánh giá sơ bộ nguy cơ có thể có đối với sức khỏe người dân; Bộ số liệu về nền phông phóng xạ có thể được sử dụng làm cơ sở đánh giá những thay đổi khi tiến hành khai thác mỏ đất hiếm Đông Pao.

#### CHƯƠNG 1. NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

# 1.1. TỔNG QUAN VỀ PHÓNG XẠ MÔI TRƯỜNG

Phông phóng xạ môi trường nói chung được gây ra từ 2 nguồn: tự nhiên và nhân tạo, trong đó nguồn phóng xạ tự nhiên chiếm tỷ lệ cao hơn. Phông phóng xạ tự nhiên liên quan đến tia vũ trụ và các đồng vị phóng xạ có trong lớp đất đá bề mặt mà chủ yếu là các đồng vị phóng xạ trong chuỗi <sup>238</sup>U, chuỗi <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K [10]. Ngoài ra, các vụ thử vũ khí hạt nhân trong khí quyển cũng đã đưa vào môi trường một lượng lớn các đồng vị phóng xạ mà cho đến nay vẫn còn hiện diện các đồng vị phóng xạ sống dài ngày như <sup>90</sup>Sr và <sup>137</sup>Cs. Các sự cố nhà máy điện hạt nhân, như Chernobyl (năm 1986), Fukushima (năm 2011) cũng đưa vào khí quyển một lượng nhất định các đồng vị phóng xạ, nhưng phần đóng góp này không đáng kể so với lượng phóng xạ sinh ra từ các vụ thử vũ khí hạt nhân trước đó.

Con người sống trong nền phông phóng xạ tự nhiên sẽ bị bức xạ chiếu vào cơ thể từ bên ngoài (gây nên liều chiếu ngoài) và chiếu xạ các mô từ bên trong do chất phóng xạ xâm nhập vào bên trong cơ thể qua đường hô hấp, ăn uống (gây nên liều chiếu trong). Trong tổng liều chiếu gây ra bởi các nhân phóng xạ tự nhiên thì liều chiếu ngoài đóng góp khoảng 46% và liều chiếu trong gây bởi xạ khí radon chiếm khoảng 54% [10].

Về khía cạnh an toàn bức xạ, nhiều nước trên thế giới đã tiến hành điều tra, đánh giá mức hiện hữu của phóng xạ môi trường trên toàn lãnh thổ quốc gia. Công việc này cho phép phát hiện được các vùng dị thường phóng xạ, đánh giá được mức phông phóng xa trung bình cho từng vùng và thâm chí cho từng đối tương môi trường. Cơ sở dữ liệu này là tiền đề để thiết lập liều chiếu xạ công chúng đối với mỗi quốc gia, để kịp thời phát hiện sự tích luỹ của các đồng vị phóng xạ nhân tạo phóng thích từ các cơ sở hat nhân (lò nghiên cứu hoặc nhà máy điên hat nhân) hoặc các cơ sở bức xa trong vùng. Hiên nay, đã có khoảng 3/5 số vùng có người ở trên thế giới có cơ sở dữ liệu về liều chiếu bức xạ tự nhiên tới công chúng; trong số đó, điển hình như Ấn Độ (năm 1986), Liên Xô cũ (1987), Mỹ (1988), Cộng đồng Châu Âu (2005), Nhât Bản (2005). Cơ quan bảo vệ môi trường của Mỹ (US EPA) đã có một số chương trình nghiên cứu về radon và đã xây dựng được nhiều tài liệu quan trọng như: Đánh giá các rủi ro gây ra bởi radon trong nhà ở; các nghiên cứu về liều do radon trong nhà ở và ảnh hưởng của chúng đến sức khỏe công chúng (EPA 402-R-3-003); Hướng dẫn về cách giảm thiểu ảnh hưởng của radon trong nhà ở, các phương pháp đo đạc, các khuyến cáo (EPA 402-K02-006) [11].

# 1.1.1. Các đồng vị phóng xạ nguyên thủy

Số lượng các nhân phóng xạ khi hình thành vũ trụ lớn hơn nhiều so với thời điểm hiện tại, nhưng chúng bị mất đi do quá trình phân rã. Các hạt nhân phóng xạ ở thời điểm đó còn tồn tại đến bây giờ là do chu kỳ bán rã của chúng tương đương với tuổi của trái đất. Các đồng vị phóng xạ có chu kỳ bán rã nhỏ hơn 10<sup>8</sup> năm rất khó ghi nhận sau 30 chu kỳ bán phân rã kể từ khi chúng được tạo ra, trong khi các hạt nhân có chu kỳ bán rã lớn hơn 10<sup>10</sup> năm mới phân rã một phần nhỏ tính đến thời điểm hiện tại.

Các nhân phóng xạ nguyên thủy đơn lẻ, chúng được hình thành trong vỏ Trái Đất không từ các chuỗi phóng xạ, được liệt kê trong Bảng 1.1. Các nhân <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U và <sup>232</sup>Th cũng là những hạt nhân phóng xạ nguyên thủy, nhưng chúng là những nhân đứng đầu chuỗi phóng xạ nên được trình bày chi tiết trong nhóm các chuỗi phóng xạ.

Hạt nhân	Chu kỳ bán rã	Phương thức	Nồng độ hoạt độ phổ biến
phóng xạ	(năm)	phân rã	trong vỏ trái đất (Bq/kg)
$^{40}$ K	1,26.109	β, γ	630
$^{50}$ V	6,0.10 <sup>15</sup>	γ	2,0.10-5
<sup>87</sup> Rb	4,8.10 <sup>10</sup>	β	70
<sup>113</sup> Cd	> 1,3.10 <sup>15</sup>	-	< 2,0.10 <sup>-6</sup>
<sup>115</sup> In	<b>6,0</b> .10 <sup>14</sup>	β	2,0.10-5
<sup>123</sup> Te	$1,2.10^{13}$	Tia X	2,0.10-7
<sup>138</sup> La	$1,12.10^{11}$	β, γ	2,0.10-2
<sup>142</sup> Ce	> 5,0.10 <sup>16</sup>	-	< 1,0.10 <sup>-5</sup>
$^{144}$ Nd	$2,4.10^{15}$	α	3,0.10-4
<sup>147</sup> Sm	$1,05.10^{11}$	α	0,7
$^{152}$ Gd	$1,1.10^{14}$	α	7,0.10 <sup>-6</sup>
$^{174}$ Hf	$2,0.10^{15}$	α	2,0.10-7
<sup>176</sup> Lu	$2,2.10^{10}$	e-, γ	0,04
<sup>187</sup> Re	4,3.10 <sup>10</sup>	β	1,0.10-3
<sup>190</sup> Pt	6,9.10 <sup>11</sup>	α	7,0.10-8
<sup>192</sup> Pt	1,0.10 <sup>15</sup>	α	3,0.10-6
<sup>209</sup> Bi	> 2,0.10 <sup>18</sup>	α	< 4,0.10-9

Bảng 1.1. Các đồng vị phóng xạ nguyên thủy đơn lẻ [12]

# 1.1.2. Các chuỗi phóng xạ

Đa số các nhân phóng xạ tự nhiên có mặt trong môi trường đều thuộc 3 chuỗi (dãy) phóng xạ: Dãy phóng xạ urani bắt đầu bằng đồng vị <sup>238</sup>U và kết thúc bằng đồng vị bền <sup>206</sup>Pb; Dãy actini-urani bắt đầu bằng <sup>235</sup>U và kết thúc bằng đồng vị bền <sup>207</sup>Pb; Dãy thori bắt đầu bằng <sup>232</sup>Th và kết thúc bằng <sup>208</sup>Pb. Các đồng vị thuộc 3 dãy phóng

xạ nói trên cùng với chu kỳ bán rã của chúng được đưa ra trên Hình 1.1, Hình 1.2, và Hình 1.3.

Các nhân trong mỗi chuỗi phóng xạ có đặc điểm chung là số khối của các nhân trong mỗi chuỗi hoặc là không thay đổi, do phân rã beta ( $\beta^{-}$ ), nhưng điện tích tăng thêm một đơn vị điện tĩnh vì nơtron chuyển sang proton, hoặc giảm đi 4 đơn vị khối lượng và điện tích giảm hai đơn vị điện tích do phân rã  $\alpha$ .

Từ qui tắc dịch chuyển, suy ra số khối của các nhân trong ba chuỗi được mô tả bằng công thức (1.1).

$$A = 4n + C \quad (1.1)$$

trong đó n là số nguyên, C là hằng số. Đối với chuỗi urani, C = 2 và n > 50; đối với chuỗi actini-urani thì C = 3 và n > 50; còn đối với chuỗi thori thì C = 0 và n > 51. Điều đáng chú ý là không có chuỗi thứ tư với C = 1 mà về nguyên tắc là có thể xảy ra. Sau này người ta đã chứng minh được là có tồn tại chuỗi thứ tư này nhưng các nhân của chuỗi này cho đến nay không tồn tại trong tự nhiên vì chu kỳ bán rã của chúng ngắn hơn nhiều so với tuổi của Trái đất. Những nhân này chỉ có thể thu được bằng phương pháp nhân tạo.



Hình 1.1. Chuỗi phóng xạ urani (A = 4n+2)



Hình 1.2. Chuỗi phóng xạ actini-urani (A=4n+3)



Hình 1.3. Chuỗi phóng xạ thori (A = 4n)

#### 1.1.3. Radon trong không khí

Radon là đồng vị phóng xạ thuộc các chuỗi phóng xạ tự nhiên, trong đó radon-222 sinh ra từ chuỗi urani-238, radon-220 sinh ra từ chuỗi thori-232, và radon-119 sinh ra từ chuỗi urani-235, thường được biết là các khí radon (<sup>222</sup>Rn), thoron (<sup>220</sup>Rn) và actinon (<sup>219</sup>Rn) [13]. Radon là các khí trơ. So với <sup>220</sup>Rn và <sup>219</sup>Rn, độ nguy hiểm phóng xạ của khí <sup>222</sup>Rn cao hơn do chu kỳ bán rã dài hơn (3,82 ngày), trong khi đó chu kỳ bán rã của thoron là 55,6 giây và của actinon là 4 giây.

Trong không khí, radon và thoron ở dạng nguyên tử tự do, sau khi thoát ra từ các vật liệu xây dựng, đất đá và những khoáng vật khác, chúng phân rã phóng xạ thành chuỗi các đồng vị phóng xạ con cháu mà nguy hiểm nhất là <sup>218</sup>Po [14].

Hạt nhân <sup>218</sup>Po phân rã alpha với chu kỳ bán rã 3,05 phút, đủ cho một vài chu trình thở trong hệ thống hô hấp của con người [15]. <sup>218</sup>Po phân tán trong khí quyển cùng các hạt bụi và hơi ẩm có kích thước cỡ nanomét và micromét tạo thành các sol khí phóng xạ. Các sol khí phóng xạ này có kích thước cỡ vài chục micromét nên có thể được hít vào cơ thể qua đường hô hấp và tai hại hơn, chúng có thể bị lưu giữ tại phế nang. Tại phế nang, <sup>218</sup>Po phân rã phát ra các hạt alpha (hạt nhân hêli - có điện tích +2e; khối lượng nguyên tử là 4).

Các hạt alpha có năng lượng rất cao sẽ tác động trực tiếp tế bào phế nang, gây ra các hiệu ứng ngẫu nhiên, trong đó có khả năng tác động tiêu cực đến cơ chế phân chia tế bào và làm sai hỏng nhiễm sắc thể. Một phần năng lượng phân rã hạt nhân truyền cho hạt nhân phân rã, làm các hạt nhân này bị giật lùi. Năng lượng giật lùi của các hạt nhân radon có thể đủ để phá vỡ các phân tử protein trong tế bào phế nang. Do đó, tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia Việt Nam TCVN 13521:2022 quy định các thông số chất lượng không khí trong nhà ở và nhà công cộng [16] đã khuyến cáo giới hạn nồng độ khí radon trong nhà mới xây là nhỏ hơn 100 Bq/m<sup>3</sup>, và nhà hiện hữu là nhỏ hơn 200 Bq/m<sup>3</sup>. Giới hạn của nồng độ khí radon nêu trên là trị số trung bình ba tháng liên tục.

#### 1.1.4. Tia vũ trụ

Tia vũ trụ được chia thành nhiều loại khác nhau theo nguồn gốc, năng lượng, chủng loại và mật độ thông lượng của các hạt. Ba nguồn chính của tia vũ trụ bao gồm: (1) Bức xạ vũ trụ từ các thiên hà, (2) bức xạ vũ trụ mặt trời, và (3) các vành đai bức xạ trái đất (van Allen belts) [17].

Bầu khí quyển và từ trường của trái đất có vai trò che chắn, làm giảm mức độ phơi chiếu của tia vũ trụ tới con người. Ở độ cao tương đương mực nước biển, tia vũ trụ đóng góp 10% tổng mức bức xạ tự nhiên mà con người bị phơi chiếu. Càng lên cao, mức đóng góp của tia vũ trụ càng tăng lên [18]. Khi tương tác với vật chất có trong bầu khí quyển, các hạt nhân phóng xạ thứ cấp có thể hình thành, bao gồm <sup>3</sup>H, <sup>14</sup>C, <sup>7</sup>Be và <sup>10</sup>Be, <sup>22</sup>Na, <sup>32</sup>P, <sup>33</sup>P, <sup>35</sup>S, <sup>39</sup>Cl. Cacbon-14 (<sup>14</sup>C) được hình thành từ tương tác giữa <sup>14</sup>N với neutron trong vũ trụ. Thông lượng neutron của tia vũ trụ xấp xỉ 1

neutron/giây.cm<sup>2</sup>.

$${}^{14}N_7 + {}^{1}n_0 \to {}^{14}C_6 + {}^{1}p_1 \tag{1.2}$$

Triti trong độ ẩm không khí được hình thành từ quá trình tương tác giữa <sup>14</sup>N, <sup>16</sup>O và neutron:

$${}^{14}N_7 + {}^{1}n_0 \to {}^{12}C_6 + {}^{3}H_1 \tag{1.3}$$

$${}^{16}O_8 + {}^{1}n_0 \rightarrow {}^{14}N_7 + {}^{3}H_1$$
 (1.4)

Triti hình thành sau các phản ứng (1.3) và (1.4) bị oxy hóa rất nhanh tạo thành hơi nước và bị hơi nước từ đại dương hoặc hơi nước từ các nguồn nước mặt trong lục địa của bầu khí quyển làm loãng và phân bố đều khắp bề mặt trái đất. Tổng lượng <sup>3</sup>H tự nhiên trong khí quyển được ước tính là khoảng 3,2 kg [19].

Tia vũ trụ từ các thiên hà (Galacy Cosmic Ray) có nguồn gốc bên ngoài hệ mặt trời, với thành phần 98% là hợp phần hạt nhân và 2% là electron; hợp phần hạt nhân có 85,5% là proton, và 12% là alpha, cỡ 1% là các hạt nhân nặng. Phổ năng lượng của loại bức xạ vũ trụ này là từ 108 eV đến 1020 eV. Tia vũ trụ bắt nguồn từ mặt trời (Solar Cosmic Ray) chủ yếu là proton (99% thông lượng) với năng lượng phổ biến dưới 100 MeV. Hạt proton từ các thiên hà và từ mặt trời phân rã thành neutron và electron tạo ta nguồn neutron tương tác với nito và oxy trong bầu khí quyển để tạo ta các nhân <sup>14</sup>C và <sup>3</sup>H trong không gian vũ trụ, thể hiện qua phản ứng (1.2), (1.3) và (1.4).

# 1.2. TỔNG QUAN VỀ LIỀU LƯỢNG VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA BỨC XẠ

#### 1.2.1. Một số khái niệm

Phân rã phóng xạ là quá trình tự chuyển đổi trong hạt nhân nguyên tử và giải phóng năng lượng một cách ngẫu nhiên về mặt thống kê. Trong quá trình phân rã phóng xạ một phần khối lượng của hạt nhân được chuyển thành năng lượng. Phân rã phóng xạ đặc trưng bởi ba đại lượng:

#### a. Hoạt độ phóng xạ

Hoạt độ phóng xạ (radioactivity) là tốc độ chuyển hóa của hạt nhân, từ nơtron (n) sang proton (p) hoặc ngược lại, từ p sang n, hoặc chuyển đổi mức năng lượng của hạt nhân; và được định nghĩa bằng phương trình vi phân, Công thức (1.5).

$$A = \frac{dN}{dt} = -\lambda.N \tag{1.5}$$

Trong đó A là hoạt độ phóng xạ (acitivity); N là số hạt nhân phân rã phóng xạ, t là thời gian,  $\lambda$  là hằng số phân rã phóng xạ. Dấu trừ biểu thị số hạt nhân mẹ suy giảm theo thời gian do phân rã phóng xạ.

Biểu thức (1.5) là định luật phân rã phóng xạ. Lấy tích phân biểu thức (1.5) theo thời gian và biết rằng  $A = \lambda$ .N, sẽ được:

$$A_t = A_{0.}e^{-\lambda t} \tag{1.6}$$

Trong đó  $A_t$  là hoạt độ phóng xạ tại thời điểm t và  $A_0$  là hoạt độ phóng xạ tại thời điểm t = 0.

Đơn vị đo hoạt độ phóng xạ trong hệ đo lường chuẩn quốc tế (SI) là Becquerel, viết tắt là Bq, 1 Bq = 1 phân rã/giây (s<sup>-1</sup>). Đơn vị đo hoạt độ ngoài hệ đo lường SI là Curie (Ci). 1 Ci =  $3,7.10^{10}$  Bq = 1 g <sup>226</sup>Ra.

#### b. Chu kỳ bán rã

Chu kỳ bán rã (Half life), ký hiệu T<sub>1/2</sub>, là khoảng thời gian để một nửa hoạt độ ban đầu bị phân rã. Từ biểu thức (1.6) ta thấy khi t= T<sub>1/2</sub> thì  $A_{T_{1/2}} = \frac{1}{2}$ .A<sub>0</sub>, do đó:

$$Ln(A_0/A_{T_{1/2}}) = \lambda T_{1/2} = \ln 2$$
và  $T_{1/2} = \ln 2/\lambda = 0{,}693/\lambda$ 
(1.7)
(1.8)

Chu kỳ bán rã là đại lượng nghịch đảo của hằng số phân rã  $\lambda$ . Đơn vị của T<sub>1/2</sub> là thời gian và đơn vị của  $\lambda$  là (thời gian)<sup>-1</sup>.

Do phân rã phóng xạ liên quan đến cấu trúc hạt nhân, không liên quan đến lớp điện tử bên ngoài, nên hoạt độ phóng xạ cũng như chu kỳ bán rã không phụ thuộc vào điều kiện môi trường như nhiệt độ và áp xuất mà phụ thuộc vào bản chất hạt nhân. Ngoại trừ trường hợp một số hạt nhân phân rã theo cơ chế bắt electron quỹ đạo (phân rã  $\beta^+$  sẽ trình bày ở mục sau) có chu kỳ bán rã thay đổi chút ít khi áp suất thay đổi lớn.

#### c. Năng lượng từ quá trình phóng xạ

Năng lượng phát ra từ quá trình phóng xạ được tính bằng đơn vị electron-Volt (eV). Electron-Volt được định nghĩa là động năng của hạt (particle) có điện tích tương đương điện tích electron đủ để vượt qua một tụ điện phẳng đặt cách nhau 1 cm và áp vào đó 1 Volt. Do vậy:  $1 \text{ eV} = 1,6.10^{-19}$  Joule.

Thông thường năng lượng phát ra từ quá trình phân rã phóng xạ là cao, từ hàng ngàn eV, tức là từ vài kilo-eV (keV) trở lên, trong khi đó phản ứng hóa học tỏa nhiệt, ví dụ như phản ứng oxy hóa cellulose (đốt bếp củi) chỉ cho năng lượng không quá 3 eV.

Bức xạ (radiation) là quá trình lan truyền năng lượng từ nơi này tới nơi khác dưới dạng sóng hoặc hạt [20]. Bức xạ từ quá trình phân rã phóng xạ có năng lượng cao nên có khả năng đâm xuyên sâu vào vật chất và trên đường đâm xuyên bức xạ tương tác với vật chất và ion hóa vật chất. Do vậy, bức xạ từ phân rã phóng xạ được gọi là bức xạ ion hóa, trong khi đó bức xạ của các phản ứng hóa học tỏa nhiệt, năng lượng thấp, không đủ khả năng ion hóa vật chất được gọi là bức xạ không ion hóa. Bức xạ ion hóa có ảnh hưởng nhiều đến môi trường và hệ sinh thái có yếu tố con người vì hiệu ứng ion hóa làm thay đổi cấu trúc nhân tế bào và thậm chí làm sai hình cả nhiễm sắc thể trong nhân tế bào.

Liều bức xạ (radiation dose) được định nghĩa là lượng năng lượng bức xạ mất đi do tương tác với vật chất nói chung hoặc một cơ quan, một mô sinh học khi bức xạ xuyên qua [21]. Khi nguồn bức xạ ở bên ngoài cơ thể chúng gây liều chiếu ngoài, nhưng nếu nguồn bức xạ là các nhân phóng xạ xâm nhập vào bên trong cơ thể qua đường ăn - uống hoặc hít thở chúng gây liều chiếu trong. Để đánh giá ảnh hưởng của bức xạ tới cơ thể người, việc định lượng được thể hiện thông qua các đại lượng tính liều và ý nghĩa liên quan, được trình bày tóm tắt trong phần này.

## d. Liều hấp thụ (D)

Liều hấp thụ là đại lượng sơ cấp của liều chiếu ngoài, được định nghĩa là lượng năng lượng hấp thụ hoàn toàn trong một đơn vị khối lượng vật chất. Đơn vị đo liều hấp thụ ngoài hệ đơn vị đo lường chuẩn SI là rad (radiation absorption dose). 1 rad = 100 erg năng lượng được hấp thụ hoàn toàn trong 1 gram vật liệu = 0,01 J/kg. Trong hệ đơn vị đo SI, liều hấp thụ có đơn vị với tên gọi là Gray (Gy), 1 Gy = 100 rad = 1 J/kg.

Suất liều hấp thụ (nGy/h, nano Gray trong 1 giờ) chiếu ngoài gây bởi các nhân phát gamma trong đất và cách mặt đất 1 m được tính trên cơ sở nồng độ hoạt độ của ba nhân <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra vad <sup>232</sup>Th trong lớp đất bề mặt (không sâu hơn 20 cm) theo công thức (1.9) [22].

$$D (nGy/h) = 0.46xA_{Ra} + 0.62xA_{Th} + 0.042xA_{K}$$
(1.9)

Trong đó  $A_{Ra}$ ,  $A_{Th}$ ,  $A_K$  là nồng độ hoạt độ của <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K trong đất, tính bằng Bq/kg; Các hệ số 0,46; 0,62 và 0,042 là hệ số chuyển đổi từ đơn vị nồng độ hoạt độ sang đơn vị suất liều tính bằng nGy/h [23] tương ứng của các nhân <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K.

#### e. Liều tương đương (H)

Với cùng một mức năng lượng hấp thụ, nhưng các loại bức xạ khác nhau (alpha, beta, neutron, tia X và gamma) lại có khả năng ion hóa khác nhau tùy thuộc vào số khối, năng lượng và điện tích. Để đặc trưng cho khả năng ion hóa của từng loại bức xạ, trọng số bức xạ  $W_R$  đã được áp dụng. Tích số của liều hấp thụ D và trọng số bức xạ  $W_R$  được gọi là liều tương đương H, biểu thức (1.10).

$$\mathbf{H} = \mathbf{D} \mathbf{x} \mathbf{W}_{\mathbf{R}} \tag{1.10}$$

Trọng số bức xạ  $W_R$  của các loại bức xạ ion hóa khác nhau được trình bày trong Bảng 1.2. Về mặt vật lý đơn vị của liều tương đương vẫn là rad hoặc Gy, nhưng tên gọi được thay đổi, tương ứng, là rem (röntgen equivalent man) và Sievert, ký hiệu là Sv và 1 rem = 0,01 Sv.

Loại bức xạ	Trọng số bức xạ,
	W <sub>R</sub>
Hạt alpha, hạt nặng mang điện, sản phẩm phân hạch	20
Tia X, gamma, electron, positron với mọi mức năng lượng	1
Neutron với năng lượng:	
<10 keV	5
Từ 10 keV đến 100 keV	10
>100 keV đến 2 MeV	20
>2 MeV đến 20 MeV	10
>20 MeV	5

Bảng 1.2. Trọng số bức xạ  $(w_R)$  của các loại bức xạ điển hình [24]

Trong khu vực có nhiều loại bức xạ thì liều tương đương là tổng liều tương đương của từng thành phần bức xạ, tính toán theo công thức (1.11).

$$H_n = \sum_{1}^{n} D_i \ x \ W_{R_i} \tag{1.11}$$

Trong đó H<sub>n</sub> là tổng liều tương đương của từng thành phần bức xạ *i* có mức liều hấp thụ  $D_i$  và trọng số bức xạ  $W_{Ri}$ , *n* là số loại bức xạ.

# f. Liều hiệu dụng (E)

Các cơ quan/các mô khác nhau của cơ thể sống có mức mẫn cảm khác nhau đối với bức xạ ion hóa. Những cơ quan/mô nào có hàm lượng nước cao hoặc phải thường xuyên sản sinh ra tế bào mới rất mẫn cảm với bức xạ. Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của bức xạ đối với từng cơ quan/mô trong cơ thể sống, trọng số mô  $W_T$  đã được tính đến cùng với liều tương đương và liều bức xạ đối với từng cơ quan/mô được gọi là liều hiệu dụng, ký hiệu là E. Liều hiệu dụng được tính bằng công thức (1.12).

$$\mathbf{E} = \mathbf{H} \mathbf{x} \mathbf{W}_{\mathrm{T}} = \mathbf{D} \mathbf{x} \mathbf{W}_{\mathrm{R}} \mathbf{x} \mathbf{W}_{\mathrm{T}}$$
(1.12)

Trong trường hợp một mô sinh học chịu nhiều loại bức xạ khác nhau thì liều hiệu dụng của mô đó là tổng liều hiệu dụng của từng thành phần bức xạ và được tính theo công thức (1.13).

$$E_n = \sum_{1}^{n} H_i x \, W_{T_i} \tag{1.13}$$

Trong đó  $E_n$  là tổng liều hiệu dụng gây bởi từng thành phần bức xạ *i* có mức liều tương đương  $H_i$  và trọng số mô  $W_{Ti}$ , *n* là số loại bức xạ. Bảng 1.3 trình bầy giá trị  $W_T$  của các mô trong cơ thể do tổ chức ICRP khuyến cáo.

Tổ chức/mô	WT
Bộ phận sinh dục	0,08
Tủy đỏ	0,12
Ruột già	0,12
Phổi	0,12
Dạ dầy	0,12
Bàng quang	0,04
Vú	0,12
Gan	0,04
Thực quản	0,04
Tuyến giáp	0,04
Bề mặt da	0,01
Bề mặt xương	0,01
Các mô còn lại*	0,12
Não	0,01
Tổng cộng	1,00

Bảng 1.3. Trọng số mô  $W_T$  do ICRP khuyến cáo để xác định liều hiệu dụng [25]

\*) Các tổ chức/mô còn lại bao gồm tuyến thượng thận, túi mật, tim, thận, hạch bạch huyết, cơ, gan, ruột non, mật, tuyến ức, dạ con, tuyến tiền liệt

Đơn vị đo liều hiệu dụng trong hệ SI cũng là Sv (Sievert).

Suất liều hiệu dụng trung bình năm gây bởi bức xạ gamma từ bề mặt đất (chiếu ngoài) được tính trên cơ sở suất liều hấp thụ D và bằng tổng suất liều hiệu dụng trung bình năm của cá thể với thời gian ở trong nhà và ngoài trời.

$$AGED = OAED + IAED$$
(1.14)

Trong đó AGED là suất liều gamma hiệu dụng trung bình năm do chiếu ngoài (nSv/năm), OAED là suất liều gamma hiệu dụng trung bình năm với thời gian làm việc ngoài nhà (nSv/năm) và IAED là suất liều gamma trung bình năm với thời gian sinh hoạt trong nhà (nSv/năm). Giá trị của OAED và IAED được tính theo công thức (1.15) và công thức (1.16).

$$OAED = D \times DCF \times OF \times T$$
(1.15)

Trong đó D là suất liều hấp thụ gamma tính theo Công thức (1.8), DCF là hệ số chuyển đổi từ đơn vị Gy sang đơn vị Sv và bằng 0,7 (Sv/Gy) [23], OF là phần thời gian hoạt động ngoài trời và cho rằng OF = 0,2 [23], T là thời gian của một năm 8760 h/năm.

$$IAED = D x DCF x OF x T$$
 (1.16)

Ý nghĩa của các lý hiệu D, DCF và T tương tự như đối với biểu thức (1.15), hệ số OF = 0.8 là phần thời gian sinh hoạt trong nhà trong năm [23].

# 1.2.2. Các thành phần liều hiệu dụng trung bình năm gây bởi bức xạ ion hóa tự nhiên

Để đảm bảo an toàn bức xạ cho công chúng, hầu hết các quốc gia trên thế giới đã có đánh giá mức độ ảnh hưởng và đóng góp của các thành phần bức xạ tới liều hiệu dụng trung bình năm. Ủy ban khoa học của Liên hợp quốc về đánh giá những ảnh hưởng của bức xạ nguyên tử (UNSCEAR) đã tổng hợp các thông tin của nhiều quốc gia trong tổ chức Liên hợp quốc và thông báo mức liều hiệu dụng trung bình năm đối với công chúng trên phạm vi toàn cầu là 3,03 mSv/năm [22]. Giá trị các thành phần bức xạ đóng góp vào tổng liều hiệu dụng trung bình năm được trình bày trong Bảng 1.4 và mức đóng góp của các thành phần bức xạ, tính theo phần trăm, được trình bầy trên Hình 1.4.

Bảng 1.4. Mức liều hiệu dụng trung bình năm gây bởi các thành phần bức xạ tự nhiên và nhân tạo (chiếu xạ y tế) đối với công chúng trên phạm vi toàn cầu [23]

Thành phần bức xạ	mSv/năm
<sup>222</sup> Rn	1,26
Chiếu ngoài	0,48
Chiếu trong	0,29
Vũ trụ	0,39
Y tế	0,6
Khác	0,01
Tổng cộng	3,03



Hình 1.4. Mức đóng góp của từng thành phần bức xạ tự nhiên và nhân tạo (chiếu xạ y tế), tính bằng % đối với công chúng phạm vi toàn cầu [23]

Từ Bảng 1.4 và Hình 1.4 nhận thấy trên phạm vi toàn cầu, radon phóng xạ có mức đóng góp lớn nhất vào liều hiệu dụng trung bình năm, chiếm đến 42% tổng mức

liều hiệu dụng. Các dịch vụ y tế như chẳn đoán hình ảnh (không tính đến điều trị như xạ trị) chiếm tới 20% tổng mức liều. Liều chiếu trong do ăn-uống chiếm 10% vì các nhân phóng xạ tự nhiên bắt nguồn từ hai chuỗi phóng xạ <sup>238</sup>U và <sup>232</sup>Th có hệ số vận chuyển từ đất vào cây trồng thấp [26]. Phần đóng góp vào liều chiếu trong chủ yếu là nhân <sup>40</sup>K, còn nhân <sup>210</sup>Po trong thực phẩm đã nấu chín thì bay hơi hết khi nhiệt độ đun-nấu > 100°C. Liều chiếu ngoài là liều hiệu dụng gây bởi các nhân phát bức xạ gamma và cách mặt đất 1 mét chiếm 16%. Thành phần khác bao gồm liều nghề nghiệp của nhân viên bức xạ, liều gây bởi các vụ thử vũ khí hạt nhân hoặc tai nạn ở các nhà máy điện hạt nhân (Chernobyl, 1986; Fukushima, 2011) là thấp, chiếm 0,3%.

Ở Việt Nam, môi trường phóng xạ cũng đã được quan tâm nghiên cứu từ khi Viện Năng lượng nguyên tử quốc gia mới thành lập vào cuối những năm 1975. Đặc biệt là sau sự cố nhà máy điện hạt nhân Chernobyl (1986) các nghiên cứu đo kiểm xạ các nhân phóng xạ rơi lắng như <sup>90</sup>Sr và <sup>137</sup>Cs đã được triển khai, tuy nhiên kết quả không có nhiều nên không được công bố rộng rãi.

Trong ba năm 1997-1999, một dự án điều tra mức nhiễm bẩn phóng xạ nhân tạo do các hoạt động tự nhiên và sự cố hạt nhân trên thế giới gây ra trên lãnh thổ Việt Nam đã được triển khai [27]. Trên cơ sở các số liệu của đề án một công trình khoa học về mật độ tồn lưu nhân phóng xạ <sup>137</sup>Cs trong đất bề mặt chưa bị xáo trộn trên lãnh thổ Việt Nam đã được công bố [28]. Dự án nêu trên cũng đã ghi nhận được bộ dữ liệu về nồng độ hoạt độ của các nhân <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K trong lớp đất bề mặt làm cơ sở tính được liều hấp thụ gamma chiếu ngoài đối với cư dân 63 tỉnh-thành phố ở Việt Nam [29]. Tuy nhiên, số liệu trong công trình chỉ hạn chế ở mức xác định mức liều hấp thụ gamma (liều chiếu ngoài) còn các thành phần khác của nền phông phóng xạ môi trường như liều chiếu trong qua đường ăn-uống, liều bức xạ từ vũ trụ, liều do hít thở khí radon phóng xạ chưa được xác định. Các tính toán của Ngô Quang Huy và cộng sự (2012) [29] cho thấy liều hiệu dụng trung bình năm do chiếu ngoài bởi bức xạ gamma từ đất trong nhà và ngoài nhà đối với cư dân 63 tỉnh-thành phố, tương ứng, là 0,458 mSv/năm và 0,082 mSv/năm và tổng cộng là 0,54 mSv/năm, cao hơn một chút so với giá trị trung bình của thế giới là 0,48 mSv/năm (Bảng 1.4).

Trong khuôn khổ đề án "Điều tra hiện trạng môi trường phóng xạ trên các mỏ Đông Pao, Thèn Sin-Tam Đường tỉnh Lai Châu, Mường Hum tỉnh Lào Cai, Yên Phú tỉnh Yên Bái, Thanh Sơn tỉnh Phú Thọ, An Điềm, Ngọc Kinh-Sườn Giữa tỉnh Quảng Nam", được chủ trì bởi Liên đoàn địa chất Xạ - Hiếm, Trần Bình Trọng và các cộng sự [30], đã thực hiện khảo sát bức xạ gamma chiếu ngoài và chiếu trong (do radon) trên khu vực có các mỏ khoáng sản chứa uran, thori ở Lai Châu, Lào Cai, Yên Bái, Phú Thọ, và Quảng Nam. Kết quả xác định được tương đương liều hiệu dụng trung bình năm ở Đông Pao, Thèn Sin-Tam Đường, Mường Hum, Yên Phú, Thanh Sơn, An Điềm và Ngọc Kinh-Sườn Giữa lần lượt là 2,8; 2,7; 3,8; 2,5; 2,8; 2,8 và 2,2 mSv/năm. Tuy nhiên, nghiên cứu này chưa xác định đầy đủ các thành phần, như thể hiện trong Hình 1.4, đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm đối với cư dân sinh sống trên những khu vực này, đặc biệt là liều chiếu trong do ăn uống.

Trong khuôn khổ đề tài cấp nhà nước mã số KC05/11-15/23 "Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu phóng xạ trong lượng thực-thực hẩm có nguồn gốc tại khu vực biên giới tiếp giáp với nhà máy điện hạt nhân Trung Quốc" [31], đã xác định được nồng độ hoạt độ của các sản phẩm như gạo, ngô, sắn, rau bắp cải, xu hào, thịt lợn, thịt gà, cá, lạc-vừng, hoa quả như chuối, v.v. làm cơ sở đánh giá liều hiệu dụng chiếu trong do ăn-uống của cư dân vùng Quảng Ninh và Hải Phòng. Kết quả cho thấy liều hiệu dụng chiếu trong trung bình năm do ăn-uống của cư dân trưởng thành ở hai tỉnh Quảng Ninh và Hải Phòng là 0,32 mSv/năm.người, tương đương với mức trung bình toàn cầu là 0,29 mSv/năm (Bảng 1.4). Công trình này cũng chưa có số liệu tổng thể về liều hiệu dụng trung bình năm của cư dân đồng bằng bắc bộ nói chung.

Gần đây Nguyễn Văn Dũng và các cộng sự đã nghiên cứu một cách tổng thể hơn về liều hiệu dụng trung bình năm của sư dân sinh sống gần khu khoáng đất hiểm Mường Hum, huyện Bát Xát, tỉnh Lào Cai [32]. Trong nghiên cứu của Nguyễn Văn Dũng và các cộng sự, các thành phần bức xạ chiếu ngoài gamma từ bề mặt đất, từ tia vũ tru, liều chiếu trong qua đường tiêu hóa và qua đường hô hấp đã được xác đinh. Vùng nghiên cứu được chia thành ba khu vực: khu trên thân mỏ khoáng (không có người ở), khu cách mỏ khoáng từ 300 đến 500 m có cư dân sinh sống nhưng thưa, khu trên 500 m, từ 1 km đến 2 km cách xa mỏ khoáng, nơi cư dân sinh sống đông đúc. Mức suất liều hiệu dung trung bình năm đối với công chúng trưởng thành sống trong vùng giữa 300 và 500 m cách mỏ khoáng là  $26.81 \pm 9.2$  mSv/năm.người. Đối với cư dân sinh sống trong vùng từ 1 đến 2 km cách xa khu mỏ khoáng mức suất liều là  $4,51 \pm 1,60$  mSv/năm.người. Mức suất liều hiệu dụng trung bình năm đối với cư dân sinh sống xung quang khu mỏ khoáng đất hiếm Mường Hum cao gấp từ 1,9 đến 11,2 lần so với mức liều trung bình đối với cư dân thế giới (Bảng 1.4), nghiên cứu không tính đến mức liều y tế vì công trình của tác giả Nguyễn Văn Dũng không điều tra thành phần này. Như vậy vùng mỏ khoáng đất hiếm Mường Hum được coi là Khu vực có mức nền bức xạ cao (HBRA: High Background Radiation Area) theo định nghĩa của UNSCEAR [22]. Trong tổng mức liều hiệu dụng trung bình năm đối với cư dân sinh sống gần khu mỏ khoáng đất hiếm thì mức đóng góp của liều từ hít thở radon phóng xa là cao nhất, chiếm trên 90% tổng mức liều. Điều này được giải thích là khoáng đất hiếm Mường Hum có hàm lượng khoáng urani và thori cao nên hả khí radon phóng xạ cũng cao. Liều chiếu trong do nước uống chiếm tới 93% tổng mức liều, do ăn rau chiếm 6%, còn lại khoảng 1% là từ cơm, sắn, ngô. Mức liều chiếu trong (0,25 mSv/năm) và liều từ bức xạ vũ trụ (0,26  $\pm$  0,07 mSv/năm) đối với cư dân xung quanh khu mỏ là ngang bằng với mức liều trung bình trên phạm vi toàn cầu, tương ứng là 0,29 mSv/năm và 0,39 mSv/năm (Bảng 1.4).

Một cách tương tự mỏ đất hiếm Mương Hum, khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao, Tam Đường, Lai Châu cũng được xác định là khu vực HBRA [8], đề tài "Đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ ion hóa đến sức khỏe cư dân khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao thuộc xã Bản Hon, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu" được thực hiện để xác định liều hiệu dụng trung bình năm ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng, qua đó đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ ion hóa đến sức khỏe cư dân sinh sống trên khu vực mỏ.

# CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

#### 2.1. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI

Ở Việt Nam, một số mỏ đất hiếm (REE) phân bố trên phạm vi 120 cây số vuông ở phía Tây Bắc Việt Nam, trong đó có mỏ đất hiếm Đông Pao, thuộc địa phân huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu, trong phạm vi 103°32'37''-103°33'46''E, 22°18'84''- 22°19'13''N [33]. Trong khu vực này, hoạt động thăm dò đã được tiến hành để đánh giá trữ lượng REE, tuy nhiên hoạt động khai thác mỏ mới chỉ ở quy mô nhỏ lẻ. Mỏ đất hiếm Đông Pao gồm 17 vỉa quặng lớn, được bao bọc bởi cát, sỏi và đất sét có tuổi địa chất nằm trong khoảng từ Neogene đến Đệ tứ, xunh quanh là đá granit và syenite. Bề dày của các vỉa quặng từ hàng chục mét đến 500 mét, và chiều dài thay đổi trong khoảng từ 300 đến 1000 mét [34]. Trữ lượng ô-xít đất hiếm ở mỏ Đông Pao được ước lượng là 7 triệu tấn [35, 36].

Trong những mỏ này, trung bình hàm lượng tổng oxit đất hiếm (TRE<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) chiếm đến 3% theo khối lượng (wt), khoảng dao động từ 0,01 đến 10%, trong đó thori (Th) trung bình chiếm 0,16% (wt), nằm trong khoảng từ 0,11 – 0,19%; và urani (U) trung bình chiếm 0,016% (wt), trong khoảng từ 0,012 – 0,028 % (wt) [37]. Do các mỏ đất hiếm chứa các hạt nhân phóng xạ nguyên thủy U và Th, và các nhân phóng xạ con cháu, nên các khoáng vật này được xem là vật liệu phóng xạ có nguồn gốc tự nhiên (NORM), và có thể gây phơi nhiễm liều cao bởi bức xạ ion hóa đối với công chúng sống gần khu vực mỏ. Khu vực NORM thường có nền phông phóng xạ cao, và được gọi là Khu vực có nền phông phóng xạ tự nhiên cao (HBNRA) [38].

Hình 2.1 mô tả khu vực nghiên cứu, ở xã Bản Hon và Bản Giang, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu, phía Tây bắc Việt Nam. Cụ thể, các khu dân cư thuộc bản Thẳm, Nà Khum, Nà Cơ, Tần Phủ Nhiêu, và Chăn Nuôi, với diện tích là 53,99 km<sup>2</sup>. Trong khu vực này có 600 hộ dân với 2800 nhân khẩu sinh sống, chủ yếu là dân tộc thiểu số Lự và H'Mông [39].

Khí hậu ở khu vực huyện Tam Đường là cận nhiệt đới, với mùa mưa từ tháng sáu đến tháng chín, mùa khô từ tháng mười đến tháng ba năm sau. Trong 6 tháng mùa mưa, lượng mưa nằm trong khoảng từ 1.440 đến 1.600 mm, lượng mưa mùa khô từ 360 đến 400 mm. Nhiệt độ trung bình theo tháng là từ 6°C đến 35°C, nhiệt độ thấp nhất vào tháng một, và cao nhất trong tháng sáu [39].

Các hoạt động nông nghiệp trong khu vực chủ yếu là trồng rừng và các cây lương thực (gạo), ngũ cốc (ngô) và trè; trên diện tích cõ 1000 ha. Thu nhập của nông

dân địa phương ở mức thấp, khoảng 1500 USD mỗi năm. Khẩu phần ăn của nông dân và gia đình chủ yếu là gạo và ngô, rau và 1 số ít loại thịt gia cầm (gà, lợn) tự chăn nuôi.

Như vậy, phạm vi nghiên cứu là các khu dân cư thuộc bản Thẳm, bản Bãi Châu, bản Tần Phủ Nhiêu, bản Nà Khum, thuộc xã Bản Hon; và bản Nà Cơ, thuộc xã Bản Giang, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu. Đối lượng nghiên cứu là các yếu tố đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm của cư dân sinh sống ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng, cụ thể:

- Đóng góp vào chiếu ngoài: Các nhân phóng xạ trong đất đá; tia vũ trụ;
- Đóng góp vào chiếu trong: Nồng độ radon, thoron trong không khí theo đường hít thở; các nhân phóng xạ trong lương thực thực phẩm và nước uống qua đường tiêu hóa.



Hình 2.1. Khu vực nghiên cứu

#### 2.2. PHƯƠNG PHÁP

Các nhân phóng xạ trong đất, nước và LTTP được xác định theo phương pháp phổ gamma; nồng độ khí phóng xạ radon được xác định sử dụng detector vết hạt nhân; và suất liều tia vũ trụ được xác định bằng máy đo liều cầm tay.

# 2.2.1. Xác định nổng độ hoạt độ các nhân phóng xạ theo phương pháp phổ gamma

#### 2.2.1.1. Cơ sở vật lý

Các hạt nhân phát gamma với năng lượng đặc trưng và cường độ xác định, do đó căn cứ vào vị trí của đỉnh hấp thụ toàn phần trên phổ gamma có thể xác định được nhân phóng xạ. Kết hợp với tốc độ đếm tại đỉnh hấp thụ toàn phần, có thể xác định được nồng độ hoạt độ của nhân đó trong mẫu, theo công thức (2.1) [40].

$$A_0 = \frac{n}{\varepsilon I_{\gamma} m} \qquad (2.1)$$

Trong đó:  $A_0$  là nồng độ hoạt độ của nhân phóng xạ cần phân tích (Bq/kg);  $\varepsilon$  là hiệu suất ghi tuyệt đối tại đỉnh hấp thụ toàn phần; m là khối lượng mẫu đo (kg);  $I_{\gamma}$  là cường độ có năng lượng tương ứng; n là tốc độ đếm theo Công thức (2.2).

$$n = \frac{N_s}{t_s} - \frac{N_b}{t_b} \tag{2.2}$$

với N<sub>s</sub> là diện tích đỉnh trong phổ mẫu, và N<sub>b</sub> là diện tích đỉnh trong phổ phông;  $t_s$  là thời gian thực đo mẫu; và  $t_b$  là thời gian đo phông.

#### 2.2.1.2. Xác định vạch gamma đặc trưng

Với nhân chỉ phát 1 bức xạ gamma đặc trưng, thì đỉnh gamma đó được chọn để xác định nồng độ hoạt độ. Trường hợp hạt nhân phóng xạ phát nhiều mức gamma, chọn bức xạ đặc trưng có cường độ lớn nhất, đỉnh hấp thụ toàn phần nằm xa các đình hấp thụ toàn phần của các bức xạ khác.

<sup>40</sup>K khi phân rã chỉ phát ra bức xạ gamma đặc trưng năng lượng 1.460,8 keV với cường độ 10,66%, được lựa chọn để xác định nồng độ hoạt độ.

<sup>232</sup>Th phát bức xạ gamma đặc trưng năng lượng 63,81 keV (0,27%) còn đồng vị kế tiếp là <sup>228</sup>Ra khi phân rã phát bức xạ gamma năng lượng 13,51 keV (1,6%) nên chúng hầu như không được sử dụng để xác định trực tiếp hoạt độ của <sup>232</sup>Th trong mẫu môi trường. Nồng độ hoạt độ <sup>232</sup>Th thường được xác định thông qua các đồng vị con cháu có cường độ phát gamma lớn, năng lượng cao, ví dụ 338,32 keV (11,27%);

911,2 keV (25,8%); 968,97 keV (15,8%) của <sup>228</sup>Ac; vạch 238 keV (43,6%) của <sup>212</sup>Pb và 583,19 keV (30,4%) của <sup>208</sup>Tl [41].

<sup>238</sup>U được xác định thông quan các đỉnh gamma của các con cháu trong chuỗi khi đạt đến cân bằng phóng xạ giữa <sup>238</sup>U với <sup>226</sup>Ra. Khi đó, phân tích thường dựa vào các vạch gamma có năng lượng cao và cường độ lớn do các đồng vị <sup>214</sup>Pb và <sup>214</sup>Bi phát ra. Các vạch thường được chọn là 242 keV(7,6%); 295,22 keV (18,4%); 351,93 keV(35,6%) của <sup>214</sup>Pb và vạch 609,31 keV (44,6%); 1.120,29 (14,7%); 1.764,49 keV (15,1%) của <sup>214</sup>Bi. Để thiết lập trạng thái cân bằng giữa <sup>226</sup>Ra và sản phẩm con cháu của <sup>226</sup>Ra, cụ thể là <sup>214</sup>Pb và <sup>214</sup>Bi cần phải nhốt mẫu ít nhất 30 ngày.
<sup>238</sup>U có thể đo trực tiếp sử dụng các vạch gamma 63 keV của <sup>234</sup>Th và 1001,2 keV của <sup>234</sup>Pa, là đồng vị con cháu của <sup>238</sup>U trong trường hợp không nhốt mẫu.

## 2.2.1.3. Lấy và xử lý mẫu đất

Mẫu đất bề mặt được thu thập, ở độ sâu 5 cm hoặc sâu hơn. Phần thực vật trên bề mặt (cây cỏ, thân lúa sau thu hoạch, lá cây, v.v.) được loại bỏ ở tất cả các điểm lấy mẫu. Thực hiện các biện pháp phòng ngừa thông thường để tránh mọi sự nhiễm bẩn chéo trong quá trình lấy mẫu. Trong khu vực mỏ có nồng độ hoạt độ phóng xạ cao trong đất, thiết bị lấy mẫu có thể nhiễm bẩn, do đó cần làm sạch dụng cụ sau mẫu điểm lấy mẫu.

Mỗi mẫu đất lấy khoảng 3 đến 5 kg, đặt trong túi chứa có ký hiệu tên mẫu, đóng kín. Với những nghiên cứu nhất định, tỷ lệ liên quan của các thành phần thô so với khối lượng của đất được lấy cần phải được ước tính và đặc tính phóng xạ của chúng cần được đo. Tính chất thạch học hoặc nguồn gốc nhân tạo đối với đá và độ xốp của mẫu đất cần được ghi chép, để luận giải kết quả.

Có thể sử dụng kỹ thuật chia tư, theo TCVN 6647:2007 (ISO 11464) để phân chia mẫu được sơ loại, nhằm thu được một mẫu phụ bằng xấp xỉ 1 kg chất khô [42]. Tất cả mẫu được sơ loại gửi đến phòng thử nghiệm cần phải được nhận dạng và lập phiếu danh sách mẫu.

Xử lý vật lý các mẫu phòng thử nghiệm của mẫu đất để đo nhân phóng xạ yêu cầu thực hiện các bước sấy mẫu, nghiền mẫu, rây mẫu và đồng nhất hóa mẫu. Những thiết bị dụng cụ sau đây là cần thiết để tiến hành xử lý sơ bộ mẫu phòng thử nghiệm: Lò sấy có lắp thông gió với nhiệt độ  $(105 \pm 10)^{\circ}$ C; Thiết bị dụng cụ dùng để làm vỡ đất cục kết hợp cùng với rây: cối và chày, máy xay nghiền hoặc tay đập; Rây có kích thước mắt rây 2 mm; Rây có kích thước mắt rây 200 µm hoặc 250 µm; Khay bằng nhựa hoặc kim loại có mép thành cao;

# 2.2.1.4. Lấy và xử lý mẫu lương thực thực phẩm

Mẫu lương thực, thực phẩm (LTTP) được thu góp là các loại lương thực thực phẩm chính, chiếm trọng số lớn trong khẩu phần ăn của cư dân địa phương, ở các vùng thu hoạch hoặc chăn nuôi lấy thịt. Tùy thuộc loại mẫu lương thực thực phẩm, mỗi mẫu thu gom có trọng lượng khoảng 1,5 kg – 2,5 kg tươi.

Mục tiêu phân tích mẫu lương thực, thực phẩm là các nhân phát gamma (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) và nhân phát alpha (<sup>210</sup>Po) của các loại thực phẩm phổ biến ở địa phương, bao gồm các loại mẫu rau, gạo, ngô và thịt.

## Xử lý mẫu gạo đo các nhân phát gamma

- Lấy 1 kg, đãi kỹ như nấu cơm ở gia đình;
- Cơm chín lấy phần cơm ăn được, không có cháy;
- Cân phần cơm này:  $m_1(g)$
- Trải đều ra khay nhôm/hoặc thép không gỉ/hoặc đĩa nhựa để cho nguội;
- Lấy riêng ra khoảng 100 g để phân tích phần <sup>210</sup>Po;
- Phần cơm còn lại sấy khô ở 105 °C cho đến ròn có thể nghiền mịn lọt qua rây lỗ
   <1 mm</li>
- Cân khối lượng bột mẫu (m<sub>2</sub>, g) rồi cho mẫu vào hộp đo phóng xạ gamma với khoảng thời gian sao cho sai số của số đếm không lớn hơn 10%.

# Xử lý mẫu gạo đo 210 Po

- Phần 100 g mẫu cơm phân tích <sup>210</sup>Po thì sấy ở 70 °C cho đến khi ròn, nghiền mịn được đến cỡ hạt <1 mm. Cân khối lượng mẫu (m<sub>3</sub>, g);
- Lấy khoảng 5 g (m<sub>4</sub>, g) bột mẫu cơm cho vào cốc chịu nhiệt, thêm vào mẫu 30 mBq <sup>209</sup>Po làm nội chuẩn. Thêm vào mẫu 20 mL hỗn hợp HCl:HNO<sub>3</sub> đặc, tỷ lệ 3:1 (dung dịch cường thủy), nếu cần thiết có thể bổ sung thêm lượng dung dịch cường thủy. Đun phá mẫu trên bếp cát hoặc bếp cách thủy để nhiệt độ không cao hơn 80 °C. Nếu mẫu khó tan thì cho thêm 2-3 giọt H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> để phân hủy hoàn toàn mẫu.
- Khi mẫu đã tan hoàn toàn (dung dịch trở nên trong suốt) thì cô đến gần cạn mẫu cũng ở nhiệt độ 80 °C.
- Cho vào cặn thu được ở bước trên 5 ml dung dịch HCl 1,5 M và lại cô đến gần cạn để đuổi phần HNO<sub>3</sub> dư.
- Lặp lại bước trên ba lần để đuổi hết HNO<sub>3</sub>;
- Cuối cùng là cho vào phần cặn 15 mL dung dịch HCl 1,5 M;
- Lắp đĩa bạc đã đánh bóng vào thiết bị tự điện phân rồi nhúng vào cốc chứa dung dịch HCl 1,5 M ở trên. Đặt hệ điện phân lên bếp từ, cho que khuấy vào cốc, nâng

nhiệt độ dung dịch trong cốc lên 70 °C và bật chế độ khuấy thật nhẹ nhàng trong khoảng 4 giờ.

Tắt bếp, tắt khuấy, lấy đĩa bạc ra khỏi dung dịch rồi rửa bằng nước cất hai lần sau đó là cồn 90°. Để khô rồi đếm trên máy đo phổ alpha.

Các giá trị m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub> và m<sub>4</sub> là cần thiết để sau này tính ngược trở lại nồng độ hoạt độ của các nuclides trong mẫu tươi, sau đun-nấu và người sẽ tiêu thụ để nhận liều chiếu trong.

# Xử lý mẫu ngô

- Lấy khoảng 1 kg ngô hạt, cho vào cốc/chậu/thùng ngâm trong một ngày để ngô thấm nước. Hôm sau đãi rửa sạch rồi cho vào luộc đến khi hạt mềm, ăn được. Nếu ngô chưa mềm mà nước cạn thì cho thêm nước đun tiếp cho đến khi hạt ngô mềm, ăn được.
- Đổ ngô ra rá và để ráo hết nước, cân khối lượng ngô,  $m_1$  (g)
- Rồi cũng chia mẫu để xác định PX gamma và <sup>210</sup>Po như đối với mẫu gạo đã trình bày ở trên.

# Mẫu rau cải

- Rửa sạch đất trên các bẹ lá, để mẫu vào một rổ thưa cho ráo nước ở nhiệt độ phòng;
- Khi rau đã ráo nước thì cắt nhỏ lá rau như nhà mình vẫn làm trước khi luộc.
- Luộc rau cho chín rồi vớt ra rổ cho ráo nước, cân lượng mẫu rau luộc và đã ráo nước, m<sub>1</sub>, g;
- Chia mẫu như đã làm với mẫu gạo và mẫu ngô để xác định nồng độ hoạt độ phóng xạ gamma và <sup>210</sup>Po.



SCALE: 1:25.000

Hình 2.2. Sơ đồ vị trí lấy mẫu đất, lương thực – thực phẩm, và nước tại khu vực nghiên cứu



Hình 2.3. Sơ đồ vị trí đặt detector xác định nồng độ khí radon tại khu vực nghiên cứu
#### 2.2.1.5. Thiết bị đo phổ gamma

Hệ phổ kế gamma phông thấp với đầu đo siêu tinh khiết hiệu suất ghi cao (HPGe GC5019, hãng sản xuất CANBERRA) có độ phân dải năng lượng và hiệu suất ghi tương đối tại đỉnh phổ có năng lượng 1332 keV tương ứng là 1,8 keV và 35%; Tiền khuếch đại và Dewar (bình chứa nito lỏng) 32 lít;

Buồng chì phông thấp hình trụ có đường kính trong và ngoài tương ứng 28 cm và 50,4 cm được chế tạo gồm một lớp thép ở ngoài cùng có bề dày 1cm, một lớp chì có bề dày 10 cm và một lớp lót bằng đồng trong cùng có bề dày 0,2 cm.

Bộ phân tích đa kênh xách tay DART bao gồm:

- Nguồn cung cấp cao thế cho đầu dò có khả năng tạo ra cao thế  $\pm 5000$  V với cường độ dòng 100  $\mu$ A. Điều chỉnh cao thế được thực hiện qua máy tính.

- Bộ khuếch đại phổ tương thích với tiền khuyếch đại có hệ số khuếch đại điều chỉnh được từ 3 đến 1000 lần, bước điều chỉnh 1/4000. Hằng số thời gian tạo dạng xung có thể lựa chọn 1 hoặc 6  $\mu$ s.

- Bộ phân tích đa kênh MCA có 8192 kênh có thể chứa 2 tỷ số đếm mỗi kênh.

#### 2.2.1.6. Hộp chứa mẫu đo

Yêu cầu về mẫu và hộp đựng mẫu như sau: Kích thước hình học đo phải giống kích thước hình học của mẫu chuẩn để xây dựng đường cong hiệu suất của phổ kế; Được làm bằng vật liệu trong suốt để nhìn được bên trong và hấp thụ bức xạ gamma thấp; có thể tích phù hợp với hình dạng của detector để bảo đảm hiệu suất tối đa; không bị ngấm nước và không phản ứng với thành phần của mẫu; có nắp đậy kín khí để thuận lợi cho việc nhốt khí phóng xạ khi cần; không dễ vỡ.

Mẫu đo được đưa vào trong hộp đo (hộp chứa mẫu) có kích thước tiêu chuẩn phù hợp với hộp đựng mẫu chuẩn và với detector của hệ đo. Thường sử dụng loại hộp hình trụ (Loại 2  $\pi$ ) hoặc hình giếng (Hộp Marinel–i - loại 3  $\pi$ ). Lượng mẫu đưa vào hộp đo phù hợp với mẫu chuẩn hiện có.

Hộp đựng mẫu đo hình trụ có 2 loại cấu hình khác nhau: hộp nhỏ đường kính 6,7 cm, cao 4 cm; hình trụ hộp lớn đường kính 10,3 cm, cao 6,7 cm. Hộp đựng mẫu loại nhỏ được làm từ nhựa PVC còn hộp đựng mẫu loại lớn được làm từ nhựa PE. Hộp Marinelli bằng vật liệu nhựa Polymer kiểu Marinelli (hình giếng) dung tích 500 mL - 1000 mL được sử dụng cho các mẫu dự đoán hoạt độ phóng xạ yếu.

#### 2.2.1.7. Nguồn chuẩn

Nguồn chuẩn gamma dạng điểm được xử dụng để chuẩn năng lượng cho hệ phổ kế gamma và xác định độ phân giải của hệ phổ kế. Bộ nguồn chuẩn chuẩn gamma dạng điểm của Amersham bao gồm các nguồn chuẩn có chứng chỉ ngày 01/11/2001 được liệt kê trong Bảng 2.1.

Thứ tự	Tên nguồn	Hoạt độ (kBq)	Sai số (%)
1	<sup>226</sup> Ra	27,3	3
2	<sup>210</sup> Pb	214	4
3	<sup>22</sup> Na	43,4	3
4	<sup>152</sup> Eu	36,4	3
5	<sup>60</sup> Co	35,4	3
6	<sup>137</sup> Cs	41,8	3
7	<sup>241</sup> Am	37,4	3
8	<sup>133</sup> Ba	39,5	3

Bảng 2.1. Nguồn chuẩn gamma dạng điểm [43]

#### 2.2.1.8. Mẫu chuẩn

Mẫu chuẩn được sử dụng để xác định hiệu suất ghi cho hệ phổ kế gamma. Dùng một hay nhiều mẫu chuẩn phù hợp với tiêu chuẩn quốc tế hoặc quốc gia và có hoạt độ các chất chuẩn cũng như sai số của tổng hoạt độ đã biết; cũng có thể dùng mẫu chứa nhiều nhân phóng xạ. Năng lượng của tia gamma phát ra trong mẫu chuẩn phải được phân bố trên toàn khoảng năng lượng phân tích. Thường để xác định hiệu suất đếm cần tối thiểu từ 7 - 9 mức năng lượng phân bố đều từ thấp đến cao (Thí dụ 46,52 keV của <sup>210</sup>Pb đến 1764,5 keV của <sup>214</sup>Bi).

Bộ mẫu chuẩn: Các mẫu chuẩn định lượng cần có kích thước hình học và mật độ vật chất tương tự như mẫu đo bao gồm:

Mẫu chuẩn uran IAEA-RGU-1 (quặng uran) với <sup>238</sup>U ở trạng thái cân bằng phóng xạ với <sup>210</sup>Pb. Mẫu chuẩn thori IAEA-RGTh-1 (quặng thori); Mẫu chuẩn kali IAEA-RGK-1 (sunphát Kali)



Hình 2.4. Dạng phổ của mẫu chuẩn IAEA RGU1 đo trên hệ phổ kế gamma, detector HPGe tại Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân

#### 2.2.1.9. Chuẩn năng lượng

Khi chuẩn năng lượng người ta dùng nguồn chuẩn phát các bức xạ gamma đã biết chính xác năng lượng rồi so sánh vị trí của các đỉnh tương ứng khi đo bằng phổ kế với các năng lượng đã biết chính xác này. Có thể dùng các nguồn đồng vị chỉ phát một loại gamma hoặc nhiều loại gamma với năng lượng khác nhau. Các nguồn được đặt cách bề mặt detector 10 cm và được đo với thời gian thích hợp để đảm bảo đủ số đếm thống kê.

Phương trình đường chuẩn năng lượng có dạng công thức (2.3) [44].

$$E = a_0 + C. a_1 \qquad (2.3)$$

Trong đó:  $a_0$  và  $a_1$  là các hệ số của đường chuẩn còn C là kênh.

# 2.2.1.10. Chuẩn hiệu suất ghi tại đỉnh hấp thụ toàn phần

Hiệu suất đỉnh hấp thụ toàn phần có dạng công thức (2.4) [44].

$$\varepsilon = \frac{N_{ref}}{A_{ref}\gamma t} \qquad (2.4)$$

trong đó:  $\varepsilon$  là hiệu suất ghi tại đỉnh hấp thụ toàn phần;  $N_{ref}$  là diện tích đỉnh hấp thụ trong phổ của mẫu chuẩn;  $A_{ref}$  là hoạt độ của mẫu chuẩn;  $\gamma$  là xác suất phát bức xạ gamma có năng lượng tương ứng; t là thời gian đo mẫu chuẩn.

#### 2.2.1.11. Tính toán hoạt độ phóng xạ

Hoạt độ của từng nhân phóng xạ trong mẫu đất, trầm tích và LTTP tính theo công thức (2.5), mẫu nước có thêm hiệu suất thu hồi hóa học.

$$A_{E_{i}} = \frac{N}{\varepsilon_{E}.t_{s}.\gamma.m.K_{1}.K_{2}.K_{3}.K_{4}.K_{5}} \quad (2.5)$$

Trong đó: N là diện tích đỉnh hấp thụ toàn phần đã trừ phông, tính theo Công thức (2.6)

$$N = N_s - \frac{t_s}{t_b} N_b \qquad (2.6)$$

 $N_s$ : Diện tích đỉnh hấp thụ trong phổ của mẫu;  $N_b$ : Diện tích đỉnh hấp thụ tương ứng trong phổ phông;  $A_{E_i}$ : Hoạt độ của hạt nhân i phát tia gamma có năng lương E;  $\varepsilon_E$ : Hiệu suất ghi ở đỉnh hấp thụ toàn phần của năng lượng E;  $t_s$ : Thời gian thực đo mẫu;  $t_b$ : Thời gian thực đo phông; m: Khối lượng của mẫu đo;  $\gamma$ : Xác suất phát tia gamma có năng lượng E tương ứng;  $K_1$ : Hệ số hiệu chỉnh phân rã của hạt nhân từ lúc lấy mẫu đến khi bắt đầu đo mẫu, theo Công thức (2.7)

$$K_1 = exp\left(-\frac{\ln 2.\Delta t}{T_{1/2}}\right) \tag{2.7}$$

Với  $\Delta t$  là khoảng thời gian từ khi lấy mẫu đến khi bắt đầu đo;  $T_{1/2}$  là chu kỳ bán rã của hạt nhân;

 $K_2$ : là hệ số hiệu chỉnh của hạt nhân phân rã trong quá trình đo mẫu

$$K_{2} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2.t_{r}} \left( 1 - exp\left(-\frac{\ln 2.t_{r}}{T_{1/2}}\right) \right) \quad (2\ 8)$$

Trong đó:  $t_r$  là thời gian thực trong quá trình đo mẫu;  $K_3$  là hệ số hiệu chỉnh tự hấp thụ trong mẫu đo được so sánh với mẫu chuẩn. Hệ số tự hấp thụ  $K_3$  được định nghĩa là tỷ số của hiệu suất ghi ở đỉnh hấp thụ năng lượng toàn phần  $\varepsilon(\mu, E)$  của mẫu với hệ số suy giảm tuyến tính  $\mu$  và hiệu suất ghi ở đỉnh hấp thụ toàn phần  $\varepsilon(\mu_{ref}, E)$  trong mẫu chuẩn với hệ số suy giảm tuyến tính  $\mu_{ref}$ .

$$K_3 = \frac{\varepsilon(\mu, E)}{\varepsilon(\mu_{ref}, E)} \tag{2.9}$$

Nếu mẫu đo và mẫu chuẩn cùng loại thì  $K_3 = 1$ ;  $K_4$ : là hệ số hiệu chỉnh mất số đếm (xung).

$$K_4 = exp(-2.R.\tau)$$
 (2.10)

Trong đó:  $\tau$  là phân giải thời gian (thời gian hình thành xung) của hệ đo; R là tốc độ đếm trung bình;  $K_5$  là hệ số chồng chập xung ngẫu nhiên của những hạt nhân phóng xạ phân rã nối tầng các tia gamma liên tiếp nhau. Nếu hạt nhân không có phân rã gamma nối tầng thì  $K_5 = 1$ . Nếu mẫu chuẩn và mẫu đo có cùng hạt nhân thì  $K_5 = 1$ .

# 2.2.2. Lấy mẫu và phân tích tổng hoạt độ alpha, beta *Thiết bị*

Thiết bị đo tổng hoạt độ alpha, beta phông thấp (CANBERRA S5 XLB) có detector là ống đếm tỷ lệ và sử dụng bình khí P10 chứa hỗn hợp 90% Argon và 10% CH<sub>4</sub>. Thiết bị có 3 chế độ đo: chỉ đo alpha, chỉ đo beta hoặc đo đồng thời cả alpha và beta. Thiết bị CANBERRA S5 XLB có một số thông số kỹ thuật dưới đây:

- Phông alpha:  $0,06 \pm 0,04$  cpm
- Phông beta:  $0.81 \pm 0.09$  cpm
- Hiệu suất ghi alpha với  $^{241}$ Am: 38,32 ± 0,24%
- Hiệu suất ghi beta với  ${}^{90}$ Sr: 45,13 ± 0,13%
- Máy tính được cài đặt phần mềm điều khiển Eclipse LB 3.3
- Môi trường làm việc: nhiệt độ: 0 đến 50 độ C; độ ẩm: 0 đến 90%

#### Nguồn chuẩn alpha

Nguồn chuẩn alpha được sử dụng để xác định hiệu suất ghi alpha cho hệ đếm. Nguồn chuẩn alpha được sử dụng là nguồn <sup>241</sup>Am, có hình học dạng đĩa, kích thước bằng với kích thước khay chứa mẫu đo của hệ đếm. Nguồn chuẩn <sup>241</sup>Am có hoạt độ 494,4 Bq ngày 15/10/2018.

#### Mẫu chuẩn beta

Nguồn chuẩn beta được sử dụng để xác định hiệu suất ghi beta cho hệ đếm. Nguồn chuẩn beta được sử dụng là nguồn <sup>90</sup>Sr, có hình học dạng đĩa, kích thước bằng với kích thước khay chứa mẫu đo của hệ đếm. Nguồn chuẩn <sup>90</sup>Sr có hoạt độ 494,7 Bq, ngày 15/12/2017.

# Lấy và xử lý mẫu nước

Lấy mẫu, xử lý và bảo quản mẫu theo TCVN 6663-1 (ISO 5667-1) và TCVN 6663-3 (ISO 5667-3). Các mẫu được lấy trực tiếp tại bể chứa nước của các hộ dân. Thể tích lẫu mẫu khoảng 02 L, đựng trong can nhựa và được axit hóa ngay lập tức bằng dung dịch HNO<sub>3</sub> đến pH  $\leq 2$  để đảm bảo các đồng vị phóng xạ không bị mất mát do lắng đọng vào thành bình, đồng thời ngăn ngừa hoạt động của vi sinh vật.

Mẫu sau khi lấy về được bảo quản trong phòng lưu mẫu nhiệt độ 20 - 25°C. Tại phòng thí nghiệm, 500 mL mẫu được cho vào cốc thủy tinh chịu nhiệt có mỏ. Mẫu được làm bay hơi trên bếp cách cát ở nhiệt độ  $\leq 85^{\circ}$ C để tránh hiện tượng sôi làm mất mẫu. Sau khi thể tích mẫu còn khoảng 1-2 mL, mẫu tiếp tục được chuyển từ cốc sang bát chịu nhiệt và tiếp tục cô cạn đến khối lượng không đổi. Khay đếm mẫu được chuẩn bị, sấy khô dưới đèn hồng ngoại và cân để tính khối lượng (m<sub>p</sub>).

Tiến hành dàn đều mẫu lên khay đếm với mật độ nhỏ hơn 5 mg/cm<sup>2</sup> để hạn chế hiện tượng tự hấp thụ khi đo và để đám báo tính tương tự với hình học nguồn hiệu chuẩn.

Sau khi làm mát khay đếm đến nhiệt độ không khí xung quanh, cân khay đếm và ghi lại khối lượng khay khi chứa mẫu ( $m_{pd}$ ). Khối lượng kết tủa  $m_d$  được tính theo Công thức (2.11).

$$m_d = m_{pd} - m_p \qquad (2.11)$$

Để giảm thiểu sự thất thoát do bắn, duy trì nhiệt độ dưới 85°C trên toàn bộ bề mặt khay đếm để tránh tạo ra các vùng bị quá nóng.

#### Xác định nền và mẫu trắng

Đo hoạt độ phóng xạ nền bằng cách sử dụng khay đếm sạch trong điều kiện đặc trưng cho phương pháp đo. Các kết quả đếm lặp lại sẽ xác nhận sự ổn định của nền. Phông alpha được xác định là  $0,06 \pm 0,04$  cpm; Phông beta:  $0,89 \pm 0,09$  cpm; Hiệu suất đếm beta với <sup>90</sup>Sr: 45,13 ± 0,13%; Có ba chế độ đo: đo alpha, đo beta và đo đồng thời cả alpha và beta.

## Xác định tổng hoạt độ alpha, beta

Tổng hoạt độ phóng xạ alpha, beta  $(A_i)$  được tính theo công thức (2.12) [45].

$$A_i(Bq/L) = \frac{(N_s - N_B).m_1}{\varepsilon_i.t.m_0.V.F_{ht}} \qquad (2.12)$$

Với N<sub>s</sub> là số đếm tổng alpha/beta; N<sub>B</sub> là số đếm phông alpha/beta; m<sub>1</sub> là khối lượng mẫu đo; m<sub>0</sub> là tổng khối lượng cặn mẫu mang cô;  $\varepsilon_i$  là hiệu suất đếm alpha/beta; t là thời gian đo mẫu; V là thể tích mẫu ban đầu mang cô cạn (L); F<sub>ht</sub> là hệ số hiệu chỉnh sự tự hấp thụ.

#### Xác định giới hạn phát hiện (MDA)

Giới hạn phát hiện được tính theo công thức (2.13) với độ tin cậy 95%:

$$MDA_i = \frac{4.66 \times \sqrt{B}}{\varepsilon_i \times m \times t}$$
 (2.13)

Trong đó:

MDA<sub>i</sub>: Giới hạn phát hiện tổng hoạt độ alpha/beta

 $\sqrt{B}$ : Độ lệch chuẩn số đếm phông với thời gian đo t tính bằng giây

 $\varepsilon_i$ : Hiệu suất ghi alpha/beta

t: Thời gian đo mẫu (s)

m: Khối lượng mẫu đo (g)

# 2.2.3. Phương pháp xác định nồng độ hoạt độ khí phóng xạ $^{222}\rm{Rn}$ và $^{220}\rm{Rn}$

Trong khuôn khổ Đề tài nghiên cứu, hàm lượng radon, thoron trong không khí sử dụng phương pháp đo tích lũy bằng detector vết hạt nhân phim CR-39 với buồng đo Radosys, áp dụng Tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia TCVN 7889:2008 [46] được Bộ Khoa học và Công nghệ ban hành năm 2008.

#### Nguyên lý

Hạt alpha phát ra từ các nhân phóng xạ <sup>222</sup>Rn (Rn) và <sup>220</sup>Rn (Tn) được ghi nhận lại trên vật liệu CR-39, từ việc xác định mất độ vết do hạt alpha gây ra sẽ xác định được nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ <sup>222</sup>Rn và <sup>220</sup>Rn có trong không khí nơi đặt detector.

Detector vết hạt nhân loại RADUET, được sản xuất bởi hợp tác giữa Radosys (Hungary) và NIRS (Nhật Bản), xác định đồng thời <sup>222</sup>Rn và <sup>220</sup>Rn trong nhà, nơi cư dân sinh sống. Phương pháp đo tích lũy được áp dụng, với thời gian đặt detector tại vị trí đo đạc trong 2 giai đoạn, mùa khô năm 2024 từ 17/03/2024 đến 24/06/2024; và mùa mưa từ 24/06/2024 đến 30/11/2024.

## Thiết bị

Phim ghi hạt alpha, phim CR-39, là những tấm allyl diglycolcacbonat có kích thước 10x10 mm, bề dày thay đổi (30  $\mu$ *m*; 50  $\mu$ *m*; 100  $\mu$ *m*) tùy thuộc vào nồng độ hoạt độ <sup>222</sup>Rn và <sup>220</sup>Rn.

Buồng đo do Công ty Radosys (Hungary) sản xuất, có bán kính đáy 2,45 cm; cao 2,60 cm. Có hai loại buồng đo tích hợp trên 1 detector: Một buồng có những lỗ thoáng xung quanh để đo tổng Rn/Tn, một buồng đo kín chỉ cho không khí đối lưu từ ngoài vào trong dùng để đo Rn, như thể hiện trong Hình 2.5.



Hình 2.5. Hình ảnh detector vết xác định nồng độ hoạt độ <sup>222</sup>Rn và <sup>220</sup>Rn trong không khí

Thiết bị tẩm thực HAAKE-D8 là một hệ thống gồm máy ổn nhiệt HAAKE-D8 được nhúng vào bồn nước, có tác dụng ổn định nhiệt độ cho hệ trong suốt quá trình tẩm thực. Trên máy ổn nhiệt có nhiệt kế chỉ thị và con xoay giúp ta dễ dàng điều chỉnh nhiệt độ. Detector được gắn vào một giá đặt trong khay, trong khay có chứa dung dịch tẩm thực.

Kính hiển vi OLIMPUS CX21 với một thị kính đôi 10x và bốn vật kính có độ phóng đại lần lượt là 4x, 10x, 40x, 100x. Kính có thể gắn thêm camera để truyền hình ảnh ra máy tính.

# Chuẩn bị detector

Để đo đồng thời Rn và Tn cần chuẩn bị một cặp detector bao gồm 02 tấm phim gắn vào 02 buồng đo cho mỗi phép đo, một buồng đo tổng Rn/Tn có lỗ thoáng xung

quanh cho phép không khí lưu thông từ ngoài vào trong, phin lọc được bố trí ở mặt trong của các lỗ thoáng để ngăn bụi và con cháu Rn/Tn thâm nhập vào trong, buồng còn lại là buồng kín chỉ cho không khí đối lưu vào trong để đo Rn.

Cắt phim CR39 thành những miếng nhỏ có kích thước 1x1 cm; Đính băng dính hai mặt vào một mặt của detector; Giữ những tấm phim đã chuẩn bị trong hộp nhựa hoặc túi nilon có kích thước thích hợp đã được chuẩn bị trước, dán kín lại.

Thực hiện thao tác giống nhau ở cả hai buồng đo: Mở nắp buồng đo; Dùng panh cặp 01 miếng detector đã chuẩn bị từ túi/hộp bảo vệ, khắc/đánh dấu số hiệu buồng đo vào một mặt của detector, bóc và dính mặt băng dính còn lại vào chính giữa đáy của Radosys; Đậy nắp buồng đo.

Hai buồng đo trên được gắn trở lại miếng ghép do nhà sản xuất cung cấp kèm theo buồng đo tạo thành một cấu hình đo đồng thời Rn/Tn để đặt vào vị trí đo. Cấu hình đo trên được giữ trong hộp nhựa hoặc túi nilon có kích thước thích hợp đã được chuẩn bị trước, dán kín lại.

#### Xác định vị trí, đặt cặp detector vào vị trí đo

- Vị trí đo phải được chọn sao cho cặp detector có chỗ để khuất, chắc chắn nhằm hạn chế khả năng bị hỏng hóc, mất mát hoặc xô lệch khỏi bị trí đo.
- Ở những vị trí có thể treo được thì độ cao lý tưởng để treo cặp detector là vùng không khí chúng ta thở, tức là khoảng 1,5 2,0 m cách mặt đất.
- Sau khi tháo bỏ lớp bảo vệ, các cặp detector cần được đặt vào vị trí đo càng nhanh càng tốt. Lớp bảo vệ phải được tháo cắt thật cẩn thận để có thể sử dụng lại khi thu hồi cặp detector.
- Thời gian đo được tính kể từ khi tháo bỏ lớp bảo vệ cặp detector. Thời điểm bắt đầu tính cho thời gian đo cần được ghi vào hồ sơ đo.

# Thu hồi cặp detector

Căn cứ vào thời gian đo đã được tính toán để thu hồi cặp detector.

Khi thu hồi, các cặp detector phải được kiểm tra xem có bị hư hỏng hay bị lệch khỏi vị trí do các điều kiện khách quan hay không. Các thay đổi phải được ghi chép lại.

Cấu hình đo vừa thu hồi được giữ trong hộp nhựa hoặc túi nilon có kích thước thích hợp đã được chuẩn bị trước, dán kín lại, đồng thời lưu giữ trong môi trường có nồng độ Rn thấp và đưa trở lại phòng thí nghiệm càng nhanh càng tốt để xử lý.

Thời điểm thu hồi phải được ghi vào hồ sơ đo.

#### Tẩm thực

- Tẩm thực phim CR-39 trong dung dịch NaOH 6M
- Lấy phim ra khỏi buồng đo.
- Dùng kẹp gắn phim vào giá.

Quy trình tẩm thực sau áp dụng cho thiết bị tẩm thực HAAKE-D8:

- Kiểm tra thiết bị tẩm thực.

- Đổ nước cất vào bồn chứa nước đến vạch giới hạn.
- Rót từ từ dung dịch NaOH 6M vào khay.
- Cắm điện, khởi động thiết bị ổn nhiệt, chờ nhiệt độ đạt 80<sup>0</sup>C và ổn định.

- Đưa giá có gắn các phim vào khay chứa dung dịch tẩm thực NaOH 6M. Ghi lại thời điểm bắt đầu tẩm thực vào hồ sơ đo.

- Dung dịch tẩm thực được duy trì ở nhiệt độ không đối 80<sup>0</sup>C trong thời gian 3h. Bể tẩm thực được che kín bằng nắp đậy plastic để tránh sự mất nước trong quá trình tẩm thực.

- Sau thời gian tẩm thực hóa học, tắt thiết bị ổn nhiệt, rút điện. Ghi lại thời điểm kết thúc tẩm thực vào Hồ sơ đo.

- Các phim được lấy ra và rửa sạch dưới nước để loại trừ hết hoá chất thừa.

- Sấy khô, thổi khô hoặc lau khô phim bằng giấy ăn mềm.

#### Đếm vết

Các bước đếm vết sau áp dụng cho kính hiển vi OLIMPUS CX21:

- Đặt các phim đã tẩm thực lên lament kính hiển vi.

- Cắm điện, bật đèn kính.

- Điều chỉnh độ phóng đại và hội tụ rõ nhất để quan sát và đếm các vết ở vùng (thị trường) nhìn thấy được.

- Dịch chuyển lament và tiếp tục đếm cho đến hết bề mặt tấm phim để giảm thiểu sai số. Nên tránh đếm các vết ở rìa của phim.



Hình 2.6. Kính hiển vi OLIMPUS CX21 và hình ảnh vết tương tác của hạt alpha lên phim

#### Tính toán nồng độ

Giá trị hàm lượng tích lũy của Rn/Tn (có thứ nguyên là kBq.h/m<sup>3</sup>) được tính từ mật độ vết theo công thức (2.14) và công thức (2.15), thực tế đây là phép nhân ma trận.

$$X_{Rn} = 466(N_{Rn} - 0.022.N_{Rn+Tn})/T \qquad (2.14)$$
  
$$X_{Tn} = 555(N_{Rn+Tn} - 0.945.N_{Rn})/T \qquad (2.15)$$

*Trong đó:* N<sub>Rn</sub>: là mật độ vết của detector CR-39 trong buồng đo Rn (vết/cm<sup>2</sup>); N<sub>Rn+Tn</sub>: là mật độ vết của detector CR-39 trong buồng đo tổng Rn+Tn (vết/cm<sup>2</sup>); X<sub>Rn</sub> và X<sub>Tn</sub>: là nồng độ trung bình của Rn và Tn (Bq/m<sup>3</sup>); T: thời gian đo, h.

# 2.2.4. Phương pháp xác định mức suất liều bức xạ từ vũ trụ

Nền bức xạ do tia vũ trụ được xác định bằng máy đo liều cầm tay Aloka (môđen TGS-171) sử dụng đầu dò Geiger Muller (GM). Thiết bị này được kiểm chuẩn bởi Phòng chuẩn cấp 2 (SSDL) của Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân tại Hà Nội. Để che chấn khỏi đóng góp của tia gamma từ đất đá, các phép đo suất liều gây ra bởi tia vũ trụ được thực hiện trên thuyền gỗ neo giữa hồ Thủy Sơn, TP. Lai Châu, tỉnh Lai Châu (Tọa độ: 22.389558, 103.469166), có độ cao 1200 mét trên mực nước biển, tương đương với độ cao ở khu vực nghiên cứu. Do khu vực nghiên cứu không có mặt hồ rộng, mà liều gây bởi tia vũ trụ phụ thuộc chủ yếu bởi độ cao, nên việc xác định liều đóng góp bởi tia vũ trụ được thực hiện trên mặt hồ Thủy Sơn, TP. Lai Châu, cách khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao 20 km, có cùng cao độ. Suất liều trung bình năm đóng góp bởi tia vũ trụ được tính toán theo Công thức (2.16).

$$E_{cosmic} = 10^{-6} \cdot E_c \cdot T$$
 (2.16)

Trong đó  $E_c$  là suất liều do tia vũ trụ gây ra tức thời (µSv/h), xác định bằng máy đo liều cầm tay; T là số giờ trong 1 năm (8760 h/năm);  $E_{cosmic}$  là liều hiệu dụng trung bình năm đóng góp bởi tia vũ trụ (Sv/năm).



Hình 2.7. Đo suất liều tia vũ trụ trên mặt hồ Thủy Sơn, thành phố Lai Châu, tỉnh Lai Châu

# 2.2.5. Xác định mức suất liều hiệu dụng trung bình năm

# a. Liều hiệu dụng đóng góp bởi các nhân phát gamma trong đất đá

Liều hiệu dụng đóng góp bởi các nhân phát gamma có trong đất đá (AEGED) được xác định thông qua nồng độ hoạt độ các nhân phát gamma <sup>226</sup>Ra, <sup>40</sup>K và <sup>232</sup>Th, theo công thức (2.17) [2].

$$AEGED = (0,46A_{Ra} + 0,62A_{Th} + 0,042A_K).DCF.OF.T$$
(2.17)

Trong đó: A là nồng độ hoạt độ các nhân phát gamma <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K (Bq/kg); Các hệ số chuyển đổi từ nồng độ hoạt độ sang liều hấp thụ trong không khí của <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K lần lượt là 0,46, 0,62 và 0,042 (nGy/h)[2], DCF là hệ số chuyển đổi từ liều hấp thụ trong không khí sang liều hiệu dụng, bằng 0,7 Sv/Gy [2]; OF (Occupancy Fraction) là tỉ lệ thời gian ở trong nhà là 0,2 và ngoài nhà là 0,8, tuy

nhiên do các ngôi nhà ở khu vực nghiên cứu thường có vách làm từ gỗ, và không kín, sàn nhà là nền đất tự nhiên, nên không có sự khác nhau đáng kể giữa chiếu xạ ngoài ở trong và ngoài nhà; T là số giờ có trong 1 năm (8760 h/năm). Liều hiệu dụng trung bình năm đóng góp bởi các nhân phát gamma có trong đất đá tính theo Công thức (2.17) có đơn vị là nSv/năm.

# b. Liều hiệu dụng đóng góp bởi thực phẩm và nước uống

Liều hiệu dụng do ăn uống được xác định theo công thức (2.18) [2].

$$E_{ing} = \sum_{i} (Q_i, C_{i,R}) f_R g_R \quad (2.18)$$

Trong đó: i thể hiện nhóm thực phẩm (ngũ cốc, rau củ, v.v.) và nước; Q<sub>i</sub> là tốc độ tiêu thụ thực phẩm (kg/năm) và nước (L/năm); C<sub>i,R</sub> là nồng độ hoạt độ của hạt nhân phóng xạ R trong nhóm thực phẩm i (Bq/kg) hay trong nước uống (Bq/L); f<sub>R</sub> là hệ số hấp thụ hạt nhân phóng xạ R trong hệ tiêu hóa; g<sub>R</sub> là hệ số chuyển đổi từ hoạt độ sang liều hiệu dụng (Sv/Bq).

Các hệ số g<sub>R</sub> và f<sub>R</sub> được tính toán và đưa ra bởi IAEA, như trình bày trong Bảng 2.2 [47]. Công cụ RadToolbox của Cơ quan Pháp quy Hoa Kỳ (NRC) có thể xác định liều hiệu dụng cam kết trung bình năm cho người trưởng thành thông qua chế độ ăn uống, nồng độ hoạt độ các hạt nhân phóng xạ có trong thực phẩm nấu chín và nước uống [48]. Thành phần chế độ ăn đại diện, và tỉ lệ tiêu thụ thực phẩm của người dân vùng núi phía Bắc Việt Nam đã được khảo sát và công bố bởi Viện Dinh dưỡng Quốc gia (Việt Nam), và được trình bày trong Bảng 2.3 [49].

Hạt nhân	Chu kỳ bán rã, T <sub>1/2</sub>	g, Sv Bq <sup>-1</sup>	f
<sup>40</sup> K	1,28.10 <sup>9</sup> năm	6,20.10-9	1
<sup>226</sup> Ra	1,60.10 <sup>3</sup> năm	2,80.10-7	0,2
<sup>214</sup> Bi	0,332 giờ	1,1.10 <sup>-10</sup>	0,05
<sup>214</sup> Pb	0,447 giờ	1,4.10 <sup>-10</sup>	0,2
<sup>232</sup> Th	1,40.10 <sup>10</sup> năm	2,30.10-7	5,0.10-4
<sup>228</sup> Ac	6,13 giờ	4,30.10-10	5,0.10-4
<sup>234</sup> Th	24,1 ngày	3,40.10-9	5,0.10-4
<sup>234</sup> U	2,44.105 năm	4,90.10-8	0,02
<sup>238</sup> U	4,47.10 <sup>9</sup> năm	4,50.10-8	0,02

Bảng 2.2. Hệ số chuyển đổi tương đương liều cam kết  $(g_R, Sv.Bq^{-1})$  và hệ số hấp thụ qua đường tiêu hóa  $(f_R)$  của một số hạt nhân phóng xạ ở người trưởng thành [47]

Tỉ lệ tiêu thụ trứng và cá của người dân ở khu vực nghiên cứu thấp hơn 5 lần so với mức tiêu thụ ngũ cốc và rau [49], do đó trong nghiên cứu này, nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ trong trứng, cá không được xác định. Lượng nước tiêu thụ trung bình năm cho người trưởng thành được giả định là 730 L, theo khuyến nghị của Tổ chức Y tế Thế giới [50], giá trị này được sử dụng để tính liều hiệu dụng cam kết trung bình năm do nước uống đóng góp.

Loại thực phẩm	Mức tiêu thụ, g/ngày (Nhỏ nhất – lớn nhất)
Gạo	404,8 (390,71 ÷ 418,88)
Ngô	14,7 (11,83 ÷ 17,51)
Sắn	3,5 (2,14 ÷ 4,85)
Rau ăn lá	208,6 (198,16 ÷ 219,05)
Thịt	91,9 (82,66 ÷ 101,18)
Trứng	13 (11,4 ÷ 14,5)
Cá	29,8 (25,67 ÷ 33,89)

Bảng 2.3. Thành phần chính và mức tiêu thụ trong khẩu phần ăn của người trưởng thành ở khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam [49]

#### c. Liều hiệu dụng do hít thở

Liều hiệu dụng trung bình năm đóng góp do hít thở khí radon ( $^{222}$ Rn), thoron ( $^{220}$ Rn) và các con cháu được xác định theo công thức (2.19) và công thức (2.20) [1].

$$E_{222_{Rn}} = 10^{-9} \cdot C_{222_{Rn}} \cdot F_{222_{Rn}} \cdot K_{222_{Rn}} T (2.19)$$
  
$$E_{220_{Rn}} = 10^{-9} \cdot C_{220_{Rn}} \cdot F_{220_{Rn}} \cdot K_{220_{Rn}} \cdot T(2.20)$$

Trong đó  $E_{222}{}_{Rn}$  và  $E_{220}{}_{Rn}$  là liều hiệu dụng trung bình năm từ radon và thoron (Sv/năm);  $C_{222}{}_{Rn}$ ,  $C_{220}{}_{Rn}$  là nồng độ radon và thoron đo đạc trong không khí trong nhà ở khu vực nghiên cứu (Bq/m<sup>3</sup>);  $F_{222}{}_{Rn}$  là hệ số tương đương trung bình cho radon, thoron và con cháu, giả thiết là 0,456 [51], gần với giá trị 0,4 do UNSCEAR khuyến cáo [1];  $F_{220}{}_{Rn}$  nhận giá trị 0,09 [52];  $K_{222}{}_{Rn}$  và  $K_{220}{}_{Rn}$  là hệ số chuyển đổi liều từ hoạt độ radon và thoron, lần lượt nhận giá trị 9 nSv/Bq.h và 40 nSv/Bq.h [1]; T là số giờ có trong một năm (8760 h/năm).

Liều hiệu dụng do hít thở tổng cộng trung bình năm bỏ qua các hạt nhân phóng xạ, không thuộc chuỗi phóng xạ, có trong bụi khí [1], chỉ tính đến đóng góp của radon và thoron được xác định bằng Công thức (2.21).

$$E_{inh} = E_{222}{}_{Rn} + E_{220}{}_{Rn} \tag{2.21}$$

Cần lưu ý rằng, do đặc thù của khu vực nghiên cứu, tường các ngôi nhà được làm đơn giản từ các ván gỗ và cột trụ, cửa ra vào và cửa sổ không kín gió, do đó nồng độ hoạt độ radon vào ban ngày và ban đêm không có nhiều khác biệt. Hoạt độ radon và thoron chỉ phụ thuộc theo mùa, do đó các detector được đặt theo 2 mùa, mỗi lần 3 tháng, giúp đánh giá đầy đủ và chính xác về nồng độ hoạt độ radon và thoron trung bình trong năm.

Liều hiệu dụng trung bình năm được xác định bằng công thức (2.22), là tổng đóng góp của chiếu trong và chiếu ngoài.

$$E = AEGED + E_{ing} + E_{inh} + E_{cosmic} \qquad (2.22)$$

# CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN 3.1. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH MẫU

Suất liều của tia vũ trụ có giá trị 0,04  $\pm$  0,01 µSv.h<sup>-1</sup>, tương ứng với mức liều hiệu dụng 0,35  $\pm$  0,09 mSv.y<sup>-1</sup>. Thông thường, mức liều hiệu dụng trung bình do tia vũ trụ gây ra ở mực nước biển là 0,29 mSv.y<sup>-1</sup> [1]. Liều hiệu dụng gây bởi tia vũ trụ phụ thuộc vào độ cao so với mực nước biển, trung bình tăng 15,5 nSv khi lên cao thêm 100 mét [53], do vậy liều hiệu dụng trung bình năm từ tia vũ trụ ở độ cao 1200 mét so với mực nước biển của Đông Pao được ước tính là 0,40 mSv/năm. Có thể nhận thấy, suất liều đo được ở khu vực nghiên cứu phù hợp với kết quả tính toán. Mức liều đóng góp bởi tia vũ trụ thấp hơn nhiều so với mức đóng góp của các nhân phóng xạ có trong đất đá ở khu vực mỏ đất hiếm, như trình bày dưới đây.

Kết quả phân tích nồng độ hoạt độ <sup>238</sup>U (<sup>226</sup>Ra), <sup>232</sup>Th và <sup>40</sup>K trong 32 mẫu đất ở khu vực mỏ được trình bày trong Bảng 3.3, và 7 mẫu đất tại khu vực đối chứng (bản Chăn Nuôi) được trình bày trong Bảng 3.4. Áp dụng công thức (2.17), liều hiệu dụng trung bình năm do bức xạ gamma chiếu ngoài (AEGED), đóng góp bởi các nhân phát gamma có trong đất đá, ở khu vực mỏ đất hiếm có giá trị trung bình là 2,6 ± 1,6 mSv/năm, lớn hơn gấp 3 lần ở khu vực đối chứng (0,81 ± 0,15 mSv/năm). Khác biệt này là do nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ ở mỏ REE cao hơn so với khu vực đối chứng.

Thông số thống kê	Khu vực mỏ	Khu vực đối chứng
Liều hiệu dụng, mSv/năm	2,6	0,81
Sai số chuẩn	0,29	0,06
Trung vi	1,98	0,85
Mode	1,98	#N/A
Độ lệch chuẩn	1,66	0,15
Phương sai mẫu	2,75	0,02
Độ nhọn	4,09	-0,86
Độ lệch	2,15	-0,46
Khoảng biến thiên	7,02	0,42
Giá trị nhỏ nhất	1,23	0,57
Giá trị lớn nhất	8,25	0,99
Số lượng mẫu	32	7

Bảng 3.1. Thống kê mô tả liều hiệu dụng chiếu ngoài do gamma trong đất đá

Kết quả đo nồng độ khí phóng xạ radon và thoron ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng được thể hiện trong Bảng 3.6 và Bảng 3.7. Ở khu vực mỏ, nồng độ hoạt độ radon trung bình là 96,9  $\pm$  45,8 Bq/m<sup>3</sup>, kết quả đo được nằm trong khoảng từ 17 đến

299 Bq/m<sup>3</sup>; nồng độ hoạt độ thoron trung bình là 36,1 Bq/m<sup>3</sup>, giá trị nhỏ nhất là 8 Bq/m<sup>3</sup>, giá trị lớn nhất là 226 Bq/m<sup>3</sup>. Qua đó tính toán được liều hiệu dụng trung bình năm do hít thở ( $E_{inh}$ ) theo các công thức thức (2.19), công thức (2.20) và công thức (2.21). Thống kê mô tả liều hiệu dụng ở khu vực mỏ được thể hiện trong Bảng 3.2, giá trị trung bình của  $E_{inh}$  ở khu vực mỏ được xác định là 4,32 ± 1,76 mSv/năm, nằm trong khoảng từ 2,18 đến 12,58 mSv/năm. Trong khu vực đối chứng,  $E_{inh}$  có giá trị trung bình là 1,77 ± 0,39 mSv/năm, nhỏ hơn 2,5 lần so với khu vực mỏ. Trong cả 2 khu vực đo, đóng góp chủ yếu vào liều hiệu dụng do hít thở là radon, chiếm đến trên 80%, do chu kỳ bán rã của <sup>222</sup>Rn là 3,8 ngày, lớn hơn nhiều so với chu kỳ 55 giây của <sup>220</sup>Rn.

Thông số thống kê	TAED <sub>inh</sub>	$E_{inh}(^{222}Rn)$	$E_{inh}(^{220}Rn)$
Liều hiệu dụng, mSv/năm	4,32	3,52	0,80
Sai số chuẩn	0,28	0,26	0,08
Trung vị	4,17	3,26	0,57
Mode	3,07	4,93	0,35
Độ lệch chuẩn	1,76	1,66	0,51
Phương sai mẫu	3,10	2,75	0,26
Độ nhọn	11,33	8,85	-0,63
Độ lệch	2,64	2,23	0,86
Khoảng biến thiên	10,39	10,21	1,77
Giá trị nhỏ nhất	2,18	0,63	0,25
Giá trị lớn nhất	12,58	10,84	2,02
Số lượng mẫu	41	41	41

Bảng 3.2. Thống kê mô tả liều hiệu dụng do hít thở khí radon và thoron ở khu vực mỏ

Kết quả phân tích tổng hoạt độ alpha, beta trong 24 mẫu nước ở khu vực mỏ được thể hiện trong Bảng 3.5, các nhân phóng xạ trong mẫu lương thực thực phẩm đã được nấu chín được trình bày trong Bảng 3.8, với 6 mẫu gạo, 21 mẫu ngô, 5 mẫu rau cải, và 3 mẫu thịt. Các kết quả phân tích mẫu nước và thực phẩm được sử dụng để xác định liều hiệu dụng do chiếu trong qua đường tiêu hóa,  $E_{ing}$ , theo Công thức (2.18), với các nhân <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Pb, <sup>232</sup>Th và <sup>228</sup>Ac.

Nhân phóng xạ <sup>210</sup>Po bị bốc hơi hoàn toàn trong quá trình đun nấu, do đó đóng góp vào  $E_{ing}$  được bỏ qua, tương tự như kết quả nghiên cứu của Trần Thị Vân và các cộng sự (2018) [54]. Liều hiệu dụng trung bình năm do ăn uống ở khu vực mỏ được xác định là 0,30 ± 0,03 mSv/năm, trong đó đóng góp của nước uống, gạo và rau lần lượt là 77%, 7% và 12%. Đối với cư dân sinh sống ở khu vực đối chứng, đóng góp

của các yếu tố gây chiếu trong, qua đường tiêu hóa được thể hiện trong Bảng 3.10, với giá trị tổng cộng là  $0,23 \pm 0,11 \text{ mSv/năm}$ , không có khác biệt quá lớn giữa khu vực mỏ và khu vực đối chứng trong giá trị liều hiệu dụng do ăn uống, cũng như tỉ lệ đóng góp của các yếu tố.

Một điều đáng thú vị là mức độ tiêu thụ rau của cư dân ở khu vực nghiên cứu chỉ bằng 1 nửa so với mức tiêu thụ gạo, cụ thể mức tiêu thụ rau và gạo lần lượt là 208,6 g và 404,8 g [49], nhưng liều chiếu trong do tiêu thụ rau và gạo được tính toán lần lượt là 0,037 à 0,02 mSv/năm, liều gây bởi tiêu thụ rau cao hơn 1,85 lần so với tiêu thụ gạo. Phỏng vấn cư dân địa phương được biết theo tập quán canh tác, mức phân bón N-P-K sử dụng cho rau cải cao gần gấp đôi so với bón cho lúa, điều này lý giải hàm lượng <sup>40</sup>K có trong gạo (21,50 ± 3,12 Bq/kg) nhỏ hơn nhiều so với rau (73,8 ± 28,0 Bq/kg). Hệ quả là liều hiệu dụng chiếu trong gây bởi tiêu thụ rau cao hơn so với từ gạo. Đồng thời, theo nghiên cứu của Trần Thị Vân và các cộng sự (2018) [54], kali tập trung chủ yếu ở lớp vỏ cám của hạt gạo, do đó khi vo gạo trước khi nấu cơm, một phần đồng vị phóng xạ <sup>40</sup>K đã bị loại bỏ ra khỏi cơm khi chín, từ đó giảm liều hiệu dụng đóng góp bởi nhân phóng xạ này.

Theo kết quả nghiên cứu của Lưu Việt Hưng và các cộng sự (2014) [26], hệ số vận chuyển từ đất sang cây trồng của các nhân phóng xạ <sup>238</sup>U, <sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Pb, <sup>232</sup>Th và <sup>228</sup>Ac ở Việt Nam đều ở mức rất thấp. Các hệ số vận chuyển thấp khiến nồng độ hoạt độ các nhân phóng xạ trong mẫu thực phẩm ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng không có khác biệt đáng kể, và đóng góp vào liều hiệu dụng tổng cộng của thực phẩm đều ở mức thấp.

STT	Ký hiệu	A( <sup>226</sup> Ra)	±	sai số	A( <sup>232</sup> Th)	±	sai số	A( <sup>40</sup> K)	±	sai số	EGADR	±	sai số	AEGED	±	sai số
		(Bq/kg)			(Bq/kg)			(Bq/kg)			(nGy/h)			(mSv/y)		
1	DDP01	393,3	±	9,2	319,2	±	8,0	483,6	±	19,2	399,1	±	5,2	2,44	±	0,03
2	DDP02	307,9	±	12,8	279,9	±	12,8	196,4	±	6,5	323,4	±	5,8	1,98	±	0,04
3	DDP03	328,4	±	10,7	437,1	±	12,6	565,5	±	27,5	445,8	±	6,1	2,73	±	0,04
4	DDP04	208,9	±	6,3	228,6	±	6,7	1049,5	±	31,5	281,9	±	4,9	1,73	±	0,03
5	DDP05	258,8	±	11,0	187,0	±	10,3	1439,3	±	84,3	295,4	±	6,7	1,81	±	0,04
6	DDP06	219,3	$\pm$	8,2	303,2	$\pm$	10,2	1022,7	$\pm$	38,0	331,8	<u>+</u>	5,7	2,03	±	0,04
7	DDP07	234,5	$\pm$	7,6	288,2	$\pm$	9,0	847,0	$\pm$	31,5	322,1	$\pm$	5,4	1,98	±	0,03
8	DDP08	331,2	$\pm$	7,7	354,2	$\pm$	21,3	936,2	±	38,0	411,3	±	6,8	2,52	±	0,04
9	DDP09	189,8	$\pm$	8,1	179,3	±	9,6	1304,9	±	57,6	253,3	<u>+</u>	5,9	1,55	<u>+</u>	0,04
10	DDP10	259,4	$\pm$	10,5	181,7	$\pm$	8,7	1103,5	$\pm$	49,6	278,3	$\pm$	6	1,71	±	0,04
11	DDP11	644,6	$\pm$	16,6	948,1	$\pm$	40,9	404,1	±	12,7	901,3	±	8,5	5,53	±	0,05
12	DDP12	354,0	±	13,6	232,3	±	9,8	1231,0	±	51,9	358,6	±	6,4	2,20	±	0,04
13	DDP13	341,0	$\pm$	13,0	281,0	$\pm$	11,7	697,8	$\pm$	32,4	360,4	<u>+</u>	6,3	2,21	±	0,04
14	DDP14	205,6	$\pm$	8,1	204,0	$\pm$	9,2	1268,4	$\pm$	52,4	274,3	$\pm$	5,8	1,68	±	0,04
15	DDP15	966,2	$\pm$	37,8	595,2	$\pm$	31,6	682,1	$\pm$	55,0	842,1	$\pm$	10,1	5,16	±	0,06
16	DDP16	329,7	$\pm$	12,5	175,2	$\pm$	7,3	1315,9	$\pm$	52,0	315,6	$\pm$	6	1,94	±	0,04
17	DDP17	251,1	±	9,4	176,0	±	6,7	281,4	±	11,9	236,5	±	4,8	1,45	±	0,03
18	DDP18	205,5	$\pm$	9,6	233,6	$\pm$	13,8	1460,5	$\pm$	70,7	300,7	$\pm$	6,8	1,84	±	0,04
19	DDP19	253,8	±	10,9	177,5	±	11,3	1147,5	±	59,2	275,0	±	6,5	1,69	±	0,04
20	DDP20	272,9	±	10,5	264,8	$\pm$	10,6	274,6	$\pm$	19,0	301,2	±	5,6	1,85	±	0,03
21	DDP21	287,2	±	11,1	425,3	±	16,7	1879,7	±	74,2	474,6	±	7,2	2,91	±	0,04
22	DDP22	937,6	±	36,5	991,0	±	40,6	450,3	±	42,6	1064,6	±	10,5	6,53	±	0,06
23	DDP23	194,7	±	12,5	156,7	±	13,0	319,6	±	17,3	200,1	±	6,1	1,23	±	0,04

Bảng 3.3. Nồng độ hoạt độ  $^{226}$ Ra,  $^{232}$ Th và  $^{40}$ K trong đất ở khu vực mỏ

STT	Ký hiệu	$A(^{226}Ra)$ =	± sai số	$A(^{232}Th) \pm$	sai số	$A(^{40}K) \pm$	sai số	EGADR ±	sai số	AEGED	±	sai số
		(Bq/kg)		(Bq/kg)		(Bq/kg)		(nGy/h)		(mSv/y)		
24	DDP24	259,8	± 12,2	261,0 ±	12,6	384,3 ±	16,4	297,5 ±	6	1,82	±	0,04
25	DDP25	232,4	± 10,8	406,2 ±	19,2	986,5 ±	56,0	400,2 ±	7,2	2,45	±	0,04
26	DDP26	594,0	± 23,2	923,0 ±	36,5	314,1 ±	30,3	858,7 ±	9,1	5,27	±	0,06
27	DDP27	395,8	± 16,4	· 214,3 ±	12,6	743,5 ±	44,9	346,1 ±	6,9	2,12	±	0,04
28	DDP28	855,3	± 33,6	5 1512,5 ±	59,7	330,0 ±	45,3	1345,1 ±	11,4	8,25	±	0,07
29	DDP29	200,5	± 10,8	187,0 ±	12,0	555,9 ±	38,7	231,5 ±	6,2	1,42	±	0,04
30	DDP30	293,0	± 12,6	5 204,7 ±	11,0	479,6 ±	33,7	281,9 ±	6,2	1,73	±	0,04
31	DDP31	271,3	± 13,0	) 290,3 ±	14,1	852,8 ±	45,7	340,6 ±	6,8	2,09	±	0,04
32	DDP32	87,2	± 4,5	249,4 ±	13,7	1183,8 ±	62,8	244,4 ±	6	1,50	±	0,04

Bảng 3.4. Nồng độ hoạt độ  $^{238}$ U,  $^{232}$ Th và  $^{40}$ K trong đất ở khu vực đối chứng

STT	KH	A( <sup>226</sup> Ra)	±	sai số	$\mathbf{A}(^{232}\mathbf{Th})$	±	sai số	A( <sup>40</sup> K)	±	sai số	EGADR	±	sai số	AEGED	±	sai số
		(Bq/kg)			(Bq/kg)			(Bq/kg)			(nGy/h)			(mSv/y)		
1	DDC01	90,6	±	4,0	121,6	±	4,7	950,4	±	29,1	157,0	±	4,2	0,96	±	0,03
2	DDC02	77,6	±	3,3	137,6	±	4,4	430,0	±	16,0	139,0	±	3,7	0,85	±	0,02
3	DDC03	82,3	±	4,4	42,5	±	3,9	683,9	±	39,8	92,9	±	4,3	0,57	±	0,03
4	DDC04	102,2	±	4,4	113,8	±	5,0	1051,4	±	31,3	161,7	±	4,3	0,99	±	0,03
5	DDC05	96,6	±	5,1	95,9	±	7,2	219,4	±	31,6	113,1	±	4,8	0,69	±	0,03
6	DDC06	85,9	±	3,5	141,4	±	6,9	387,4	±	19,7	143,5	±	4,3	0,88	±	0,03
7	DDC07	89,2	±	4,1	108,8	±	5,4	274,1	±	27,9	120,0	±	6,4	0,74	±	0,02

TT	Ký hiệu	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Bi	<sup>214</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	<sup>40</sup> K	Tổng alpha	H	sai số	Tổng beta	±	sai số
1	NDP01	1,87	1,76	1,68	1,75	1,68	28,34	0,028	±	0,004	0,061	÷	0,014
2	NDP02	2,03	1,94	1,98	2,25	2,17	31,46	0,076	±	0,007	0,126	÷	0,019
3	NDP03	1,63	1,58	1,59	1,86	1,79	26,38	0,016	±	0,003	0,038	±	0,012
4	NDP04	2,87	2,68	2,75	2,17	2,07	34,57	0,064	+	0,006	0,441	±	0,021
5	NDP05	2,95	2,67	2,89	2,34	2,25	36,25	0,075	±	0,007	0,171	±	0,017
6	NDP06	1,25	1,13	1,32	1,34	1,27	32,14	0,055	±	0,007	0,144	±	0,023
7	NDP07	2,15	2,01	1,97	1,85	1,73	33,45	0,023	±	0,004	0,095	±	0,017
8	NDP08	2,06	1,96	2,03	2,11	2,04	32,52	0,033	±	0,004	0,068	±	0,013
9	NDP09	1,73	1,69	1,72	1,63	1,57	29,35	0,071	±	0,008	0,119	±	0,02
10	NDP10	2,73	2,57	2,62	2,05	1,98	35,31	0,055	±	0,006	0,044	±	0,211
11	NDP11	1,68	1,58	1,72	1,62	1,59	30,56	0,084	±	0,009	0,116	±	0,022
12	NDP12	1,75	1,68	1,7	1,68	1,59	29,37	0,023	±	0,004	0,052	±	0,015
13	NDP13	2,31	2,16	2,19	2,22	2,08	31,15	0,038	±	0,009	0,236	±	0,037
14	NDP14	2,17	1,98	2,03	1,86	1,78	27,15	0,06	±	0,006	0,165	±	0,019
15	NDP15	1,47	1,36	1,28	1,38	1,29	28,16	0,057	±	0,006	0,084	±	0,016
16	NDP16	2,36	2,25	2,17	2,04	1,98	30,25	0,06	±	0,007	0,129	±	0,02
17	NDP17	1,68	1,59	1,65	1,58	1,57	26,25	0,022	±	0,005	0,072	±	0,021
18	NDP18	2,46	2,38	2,41	2,08	2,15	30,26	0,008	±	0,005	0,033	±	0,03
19	NDP19	1,59	1,49	1,47	1,47	1,43	29,06	0,086	±	0,009	0,145	±	0,025
10	NDP20	3,12	3,01	2,99	2,87	2,79	32,48	0,024	±	0,007	0,167	<u>+</u>	0,03
21	NDP21	2,83	2,79	2,81	2,18	2,08	33,56	0,053	±	0,006	0,11	±	0,017
22	NDP22	1,68	1,57	1,49	1,68	1,63	29,23	0,059	±	0,006	0,129	<u>±</u>	0,02
23	NDP23	2,01	1,99	1,89	1,58	1,53	32,15	0,074	±	0,007	0,171	<u>+</u>	0,017
24	NDP24	1,67	1,58	1,59	1,62	1,58	33,17	0,055	±	0,006	0,084	±	0,016

Bảng 3.5 Kết quả phân tích tổng hoạt độ alpha, beta trong mẫu nước

Khu	Khu vực đối chứng													
TT	Ký hiệu	<sup>226</sup> Ra	<sup>214</sup> Bi	<sup>214</sup> Pb	<sup>232</sup> Th	<sup>228</sup> Ac	<sup>40</sup> K	Tổng alpha	±	sai số	Tổng beta	±	sai số	
1	NCN1	1,32	1,26	1,27	1,61	1,58	25,01	0,063	+	0,006	0,441	+	0,021	
2	NCN2	1,63	1,58	1,55	2,02	1,97	23,17	0,007	+	0,003	0,122	+	0,015	
3	NCN3	1,67	1,62	1,59	1,18	1,15	26,53	0,038	+I	0,005	0,322	+I	0,019	
4	NCN4	2,35	2,27	2,18	1,97	1,89	25,23	0,069	±	0,008	0,126	±	0,022	
5	NCN5	1,67	1,48	1,56	1,58	1,49	25,27	0,053	±	0,006	0,189	±	0,02	

Bảng 3.6. Nồng độ hoạt độ khí phóng xạ 222Rn và 220Rn ở khu vực mỏ

TT	Ký hiệu	C( <sup>222</sup> Rn)	±	sai số	C( <sup>220</sup> Rn)	±	sai số	$E_{inh}(^{222}Rn)$	±	sai số	$E_{inh}(^{220}Rn)$	±	sai số	E <sub>inh</sub>
		$(Bq/m^3)$			$(Bq/m^3)$			(mSv/y)			(mSv/y)			(mSv/y)
1	21-22	136	<u>+</u>	5	19	±	9	4,93	±	0,19	0,6	±	0,27	5,53
2	31-32	151	$\pm$	6	18	$\pm$	9	5,46	±	0,2	0,57	$\pm$	0,29	6,04
3	61-62	130	±	5	15	$\pm$	8	4,71	±	0,19	0,47	$\pm$	0,27	5,19
4	71-72	188	<u>+</u>	6	8	±	5	6,81	±	0,22	0,25	±	0,16	7,07
5	101-102	113	<u>+</u>	5	15	±	8	4,1	±	0,17	0,47	±	0,25	4,57
6	115-116	109	<u>+</u>	5	18	±	8	3,96	±	0,17	0,57	±	0,25	4,52
7	53-54	98	<u>+</u>	5	226	±	10	3,56	±	0,17	1,45	±	0,33	5
8	45-46	48	<u>+</u>	3	28	±	6	1,75	±	0,11	0,88	±	0,18	2,62
9	69-70	102	$\pm$	5	15	<u>+</u>	8	3,7	±	0,17	0,47	±	0,24	4,17
10	87-88	17	±	2	64	±	5	0,63	±	0,07	2,02	±	0,16	2,63
11	89-90	85	$\pm$	4	30	$\pm$	7	3,07	±	0,15	0,95	$\pm$	0,23	4,03
12	91-92	75	$\pm$	4	11	$\pm$	6	2,71	±	0,14	0,35	$\pm$	0,2	3,07
13	93-94	81	$\pm$	4	51	$\pm$	7	2,94	$\pm$	0,15	1,61	$\pm$	0,23	4,55
14	97-98	108	±	5	14	±	8	3,91	±	0,17	0,44	±	0,24	4,36
15	109-110	67	$\pm$	4	24	<u>±</u>	6	2,42	$\pm$	0,13	0,76	$\pm$	0,2	3,19
16	119-120	110	±	5	27	±	8	3,99	±	0,18	0,85	<u>+</u>	0,25	4,84
17	23-24	90	±	4	39	±	8	3,26	±	0,15	1,23	±	0,25	4,49

TT	Ký hiệu	C( <sup>222</sup> Rn)	±	sai số	C( <sup>220</sup> Rn)	±	sai số	$E_{inh}(^{222}Rn)$	±	sai số	$E_{inh}(^{220}Rn)$	±	sai số	E <sub>inh</sub>
		( <b>Bq/m<sup>3</sup></b> )			( <b>Bq/m<sup>3</sup></b> )			(mSv/y)			(mSv/y)			(mSv/y)
18	25-26	98	±	4	14	±	7	3,55	<u>+</u>	0,16	0,44	±	0,23	4
19	35-36	90	±	4	51	±	8	3,26	<u>+</u>	0,16	1,61	±	0,24	4,87
20	37-38	88	$\pm$	4	11	±	7	3,19	±	0,15	0,35	$\pm$	0,22	3,54
21	47-48	56	$\pm$	3	52	±	7	2,03	±	0,12	1,64	$\pm$	0,21	3,67
22	57-58	63	±	4	12	$\pm$	6	2,28	$\pm$	0,13	0,38	±	0,19	2,66
23	59-60	66	±	4	10	±	6	2,39	±	0,13	0,32	±	0,19	2,71
24	79-80	85	±	4	55	±	8	3,08	<u>+</u>	0,15	1,73	±	0,24	4,82
25	83-84	71	$\pm$	4	16	±	6	2,57	±	0,14	0,5	$\pm$	0,2	3,08
26	85-86	83	$\pm$	4	12	±	7	3,02	$\pm$	0,15	0,38	$\pm$	0,21	3,39
27	95-96	83	±	4	11	±	7	3,01	±	0,15	0,35	±	0,21	3,36
28	99-100	125	±	5	18	±	8	4,53	±	0,18	0,57	±	0,26	5,1
29	103-104	54	±	3	36	±	6	1,96	±	0,12	1,14	±	0,19	3,09
30	105-106	70	$\pm$	4	11	±	6	2,72	±	0,14	0,35	$\pm$	0,2	2,89
31	107-108	75	±	4	11	$\pm$	6	2,72	$\pm$	0,14	0,35	±	0,2	3,07
32	27-28	95	$\pm$	4	12	±	7	3,45	±	0,16	0,38	$\pm$	0,23	3,82
33	39-40	119	<b>±</b>	5	39	±	8	4,32	<u>+</u>	0,18	1,23	±	0,27	5,55
34	41-42	110	<b>±</b>	5	46	±	8	3,99	<u>+</u>	0,17	1,45	±	0,26	5,44
35	49-50	61	<b>±</b>	4	8	±	6	2,21	<u>+</u>	0,13	0,25	±	0,18	2,46
36	51-52	119	±	5	146	$\pm$	10	4,32	$\pm$	0,18	1,45	±	0,31	5,77
37	55-56	136	±	5	20	±	9	4,93	±	0,19	0,63	±	0,28	5,56
38	113-114	117	±	5	18	±	8	4,24	±	0,18	0,57	±	0,26	4,81
39	77-78	299	±	8	210	<u>+</u>	14	10,84	±	0,28	1,73	<u>+</u>	0,46	12,58
40	43-44	35	±	3	29	<u>+</u>	5	1,27	±	0,11	0,91	<u>+</u>	0,16	2,18
41	65-66	67	±	4	10	±	6	2,43	±	0,15	0,32	±	0,19	2,75

TT	Ký hiệu	C( <sup>222</sup> Rn)	±	sai số	C( <sup>220</sup> Rn)	±	sai số	$E_{inh}(^{222}Rn)$	±	sai số	$E_{inh}(^{220}Rn)$	±	sai số	E <sub>inh</sub>
		( <b>Bq/m<sup>3</sup></b> )			( <b>Bq/m<sup>3</sup></b> )			(mSv/y)			(mSv/y)			(mSv/y)
1	63-64	53	±	3	7	±	5	1,92	±	0,11	0,22	<u>±</u>	0,17	2,14
2	67-68	39	±	3	13	±	5	1,41	±	0,11	0,41	±	0,15	1,82
3	117-118	33	±	3	5	±	4	1,20	±	0,11	0,16	<u>±</u>	0,13	1,36

Bảng 3.7. Nồng độ hoạt độ khí phóng xạ 222Rn và 220Rn ở khu vực đối chứng

Bảng 3.8. Kết quả phân tích mẫu lương thực, thực phẩm (Đơn vị: Bq/kg)

Ký hiệu	<sup>40</sup> K	±	sai số	<sup>226</sup> Ra	±	sai số	<sup>232</sup> Th	±	sai số	<sup>214</sup> Bi	±	sai số	<sup>214</sup> Pb	±	sai số	<sup>228</sup> Ac	±	sai số
G1	20,30	+	4,74	MDA			0,41	±	0,32	MDA			MDA			0,40	+	0,12
G2	25,60	+1	4,09	0,21	±	0,17	0,82	±	0,02	0,30	+	0,10	0,41	+1	0,15	0,79	+1	0,43
G3	25,18	+I	1,56	0,43	±	0,01	0,44	±	0,12	0,42	±	0,29	0,23	+I	0,06	0,60	+	0,36
G4	21,30	+1	0,62	0,37	±	0,06	0,63	±	0,49	0,28	+	0,01	0,32	+1	0,19	0,43	+1	0,02
G5	24,04	+1	4,64	0,38	±	0,22	MDA			0,30	+	0,06	0,90	+1	0,16	MDA		
G6	18,62	+I	3,07	MDA			MDA			MDA			1,50	+I	0,01	MDA		
Gạo	22,51	+1	3,12	0,35	±	0,11	0,57	<u>+</u>	0,24	0,32	±	0,11	0,67	+1	0,11	0,56	+1	0,23
N1	94,30	±	9,46	0,72	±	0,06	2,37	±	0,48	0,54	±	0,05	1,22	±	0,46	0,74	+	0,49
N2	112,91	+I	7,87	0,57	±	0,32	2,35	±	0,87	1,11	±	0,75	0,81	+I	0,11	0,56	+	0,34
N3	109,96	±	5,84	1,49	±	0,77	1,59	±	0,78	1,37	±	0,52	1,21	±	0,66	1,96	+	0,92
N4	119,18	+1	6,50	1,57	±	0,67	0,30	±	0,07	1,55	+	0,74	1,08	+1	0,82	1,82	+1	0,58
N5	121,40	+I	15,55	2,24	±	0,71	2,03	±	0,69	1,29	±	0,47	1,03	+I	0,75	1,91	+	0,63
N6	104,43	±	1,17	1,25	±	1,02	1,21	±	0,66	1,18	±	0,62	1,07	±	0,43	0,58	+	0,47
N7	104,69	+1	7,09	0,74	±	0,59	0,64	±	0,20	0,64	+	0,48	0,83	+1	0,63	1,95	+1	0,78
N8	120,62	+I	19,89	1,59	±	0,83	2,44	±	0,76	2,00	±	0,62	1,28	+I	0,79	0,27	+	0,07
N9	93,69	+1	17,19	1,77	±	1,00	0,56	±	0,40	1,24	+	0,64	0,96	+1	0,54	0,47	+1	0,13
N10	118,89	+1	5,80	0,95	±	0,47	1,62	±	0,57	1,20	+	0,51	1,00	+1	0,53	1,22	+1	0,58
N11	93,17	±	20,01	0,55	±	0,28	1,22	±	0,72	0,62	±	0,11	0,93	±	0,44	0,54	±	0,57
N12	107,74	±	7,12	1,19	±	0,85	1,53	±	0,92	0,97	<u>+</u>	0,75	1,24	±	0,49	1,05	±	0,78

Ký hiệu	<sup>40</sup> K	±	sai số	<sup>226</sup> Ra	±	sai số	<sup>232</sup> Th	±	sai số	<sup>214</sup> Bi	±	sai số	<sup>214</sup> Pb	±	sai số	<sup>228</sup> Ac	±	sai số
N13	97,33	+	21,12	0,63	±	0,26	1,00	±	0,97	1,48	+1	0,55	0,95	+1	0,46	0,58	±	0,91
N14	91,50	+	20,75	1,60	±	0,65	0,99	±	0,71	0,72	+1	0,52	0,86	+1	0,73	1,76	±	1,18
N15	119,55	±	6,31	1,17	±	0,65	2,87	±	0,86	1,37	+1	0,60	1,15	+1	0,46	1,84	±	0,92
N16	121,90	+	13,98	1,42	±	0,75	1,13	±	0,85	1,14	+1	0,52	1,50	+1	0,62	0,99	±	0,61
N17	109,01	+	6,52	1,16	±	0,99	2,01	±	0,63	1,40	+1	0,54	1,29	+1	0,64	1,96	±	1,28
N18	101,56	±	19,61	0,71	±	0,28	1,77	<u>+</u>	0,68	0,94	+	0,63	1,00	+	0,05	0,52	±	0,42
N19	99,26	+	15,25	1,13	±	0,77	1,53	±	0,56	0,92	+1	0,67	0,99	+1	0,65	0,89	±	0,75
N20	110,44	+	6,51	1,75	+	0,69	1,70	+	0,84	0,90	+1	0,43	1,17	+1	0,53	1,92	±	0,80
N21	113,93	±	11,74	0,81	±	0,62	1,06	±	0,85	0,53	±	0,42	0,90	÷	0,55	1,88	±	0,48
Ngô	107,88	±	11,68	1,19	±	0,63	1,52	<u>+</u>	0,67	1,10	+1	0,53	1,07	+1	0,54	1,21	±	0,65
R1	89,62	+	63,47	0,36	+	0,25	0,90	+	0,76	0,35	+1	0,05	0,58	+1	0,12	0,15	±	0,17
R2	53,55	+	32,78	0,36	±	0,14	0,58	±	0,18	0,61	+1	0,48	0,40	+1	0,27	0,90	±	0,40
R3	43,73	+	2,80	0,60	+	0,32	0,47	±	0,03	0,36	+1	0,27	0,76	+1	0,28	0,30	±	0,27
R4	111,20	±	14,00	0,57	±	0,03	0,69	±	0,55	0,48	$\pm$	0,03	0,50	$\pm$	0,31	0,70	±	0,40
R5	70,90	+	26,94	0,96	±	0,61	0,16	±	0,17	0,95	+1	0,52	0,43	+1	0,18	0,70	±	0,47
Rau	73,80	±	28,00	0,57	±	0,27	0,56	<u>+</u>	0,34	0,55	+1	0,27	0,53	+1	0,23	0,55	±	0,34
T1	29,47	+	5,13	0,78	+	0,10	0,31	+	0,12	0,46	+1	0,08	0,65	+1	0,20	0,27	±	0,04
T2	34,26	+	1,51	0,62	±	0,06	0,18	±	0,04	0,63	+1	0,05	0,56	+1	0,10	0,24	±	0,06
T3	28,67	<u>+</u>	2,42	0,55	±	0,20	0,23	<u>+</u>	0,06	0,68	±	0,17	0,62	±	0,06	0,18	±	0,12
Thịt	30,80	<u>+</u>	3,02	0,65	<u>+</u>	0,12	0,24	<u>+</u>	0,07	0,59	±	0,10	0,61	±	0,12	0,23	±	0,07

 $\frac{1}{\text{MDA}} = \frac{30,80}{2} = \frac{1}{3,02}$   $\frac{1}{\text{MDA}} = \frac{3,02}{2}$   $\frac{1}{\text{MDA}} = \frac{3,02}{2}$   $\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{3,02}{2}$   $\frac{1}{2} = \frac{1}{2} = \frac{$ 

Chủng loại	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>214</sup> Bi	<sup>214</sup> Pb	<sup>228</sup> Ac	Eing	sai số	Tỉ lệ
	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(mSv/năm)		
Cơm (đã nấu),	$21,50 \pm 3,12$	$0,35 \pm 0,11$	$0,57 \pm 0,24$	$0,32 \pm 0,11$	$0,32 \pm 0,11$	$0,56 \pm 0,23$	0,020	0,003	7%
n = 6	(18,62 - 25,60)	(MDA - 0,43)	(MDA - 0,82)	(MDA - 0,42)	(MDA - 0,41)	(MDA - 0,79)			
Ngô (đã nấu),	$107,88 \pm 11,68$	$1,19 \pm 0,63$	$1,52 \pm 0,67$	$1,10 \pm 0,53$	$1,07 \pm 0,54$	$1,21 \pm 0,65$	0,0040	0,0004	1%
n = 21	(91,5 - 121,9)	(0,63 - 2,24)	(0,30 - 2,03)	(0,62 - 2,00)	(0,9 - 1,5)	(0,27 - 1,95)			
Rau (đã nấu),	$73,8 \pm 28,0$	$0,\!57 \pm 0,\!27$	$0,56 \pm 0,34$	$0,55 \pm 0,27$	$0,56 \pm 0,23$	$0,55 \pm 0,34$	0,037	0,010	12%
n = 5	(43,73 - 111,2)	(0,36 - 0,96)	(0,16 - 0,90)	(0,36 - 0,95)	(0,40 - 0,89)	(0,15 - 0,90)			
Thịt gà (đã nấu),	$30,80 \pm 3,02$	$0,65 \pm 0,12$	$0,\!24 \pm 0,\!07$	$0,\!59 \pm 0,\!10$	$0,61 \pm 0,12$	$0,23 \pm 0,07$	0,008	0,001	3%
n = 3	(28,67 - 34,26)	(0,55 - 0,78)	(0,18 - 0,31)	(0,46 - 0,63)	(0,56 - 0,65)	(0,18 - 0,27)			
Nước,	$31,94 \pm 2,73$	$2,09 \pm 0,52$	$1,88 \pm 0,36$	$1,\!98 \pm 0,\!50$	$2,00 \pm 0,51$	$1,82 \pm 0,35$	0,234	0,020	77%
n = 24	(26,25 - 36,25)	(1,25 - 3,12)	(1,34 - 2,87)	(1,13 - 3,01)	(1,28 – 2.99)	(1,27 - 2,79)			
						Tổng cộng:	0,303	0,034	

Bảng 3.9. Liều hiệu dụng đóng góp do chiếu trong qua đường tiêu hóa ở khu vực mỏ

Bảng 3.10. Liều hiệu dụng đóng góp do chiếu trong qua đường tiêu hóa ở khu vực đối chứng

Chủng loại	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>214</sup> Bi	<sup>214</sup> Pb	<sup>228</sup> Ac	Eing	sai số	Tỉ lệ
	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)	(mSv/năm)		
Com,	$17,50 \pm 3,12$	$0,33 \pm 0,12$	$0,52 \pm 0,14$	$0,33 \pm 0,13$	$0,27 \pm 0,11$	$0,\!44 \pm 0,\!20$	0,020	0,007	9%
n = 3	(18,62 - 25,60)	(MDA - 0,44)	(MDA - 0,72)	(MDA - 0,42)	(MDA - 0,41)	(MDA - 0,79)			
Ngô (đã nấu),	$97,\!98 \pm 11,\!68$	$1,19 \pm 0,63$	$1,52 \pm 0,67$	$1,10 \pm 0,53$	$1,08 \pm 0,53$	$1,22 \pm 0,66$	0,0040	0,003	2%
n = 3	(91,5 - 121,9)	(0,63 - 2,24)	(0,30 - 2,03)	(0,62 - 2,00)	(1.01 - 1,50)	(0,47 - 1,93)			
Rau (đã nấu),	$53,8 \pm 28,0$	$0,59 \pm 0,21$	$0,36 \pm 0,14$	$0,\!45 \pm 0,\!20$	$0,56 \pm 0,22$	$0,55 \pm 0,33$	0,033	0,030	14%
n = 3	(43,73 - 111,2)	(0,36 - 0,97)	(0,15 - 0,91)	(0,26 - 0,94)	(0,41 - 0,89)	(0,25 - 0,90)			
Thịt gà (đã nấu),	$22,80 \pm 3,01$	$0,69 \pm 0,11$	$0,25 \pm 0,06$	$0,29 \pm 0,13$	$0,\!42 \pm 0,\!12$	$0,33 \pm 0,09$	0,008	0,002	3%
n = 2	(28,68 - 33,26)	(0,59 - 0,68)	(0,17 - 0,31)	(0,36 - 0,53)	(0,36 - 0,65)	(0,28 - 0,37)			
Nước,	$25,04 \pm 1,20$	$2,73 \pm 0,38$	$1,67 \pm 0,34$	$1,64 \pm 0,38$	$1,63 \pm 0,33$	$1,62 \pm 0,33$	0,165	0,064	72%
n = 5	(23,17 – 26,53)	(1, 32 - 2, 35)	(1,28 – 2,02)	(1, 26 - 2, 27)	(1,27 – 2,18)	(1,15-1,97)			
						Tổng cộng:	0,230	0,106	

# 3.2. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN LIỀU HIỆU DỤNG TRUNG BÌNH NĂM

Trên cơ sở kết quả đo đạc và phân tích các nhân phóng xạ đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm, liều hiệu dụng ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng được xác định lần lượt là  $7,48 \pm 2,42$  mSv/năm và  $2,90 \pm 0,41$  mSv/năm, như thể hiện trong Bảng 3.11. Liều hiệu dụng ở khu vực mỏ cao hơn 2,6 lần so với khu vực đối chứng, và cao hơn 3 lần so với giá trị trung bình toàn cầu là 2,40 mSv/năm [1, 55].

Ở khu vực mỏ, đóng góp nhiều nhất vào liều hiệu dụng trung bình năm là do hít thở khí radon, 58% tương ứng với mức liều  $4,32 \pm 1,76 \text{ mSv/năm}$ ; cao thứ 2 là đóng góp của gamma có trong đất đá, 35% tương ứng với  $2,60 \pm 1,66 \text{ mSv/năm}$ ; đóng góp do ăn uống là 4%, ứng mới mức liều  $0,30 \pm 0,03 \text{ mSv/năm}$ , đây là mức đóng góp thấp do vận chuyển các nhân phóng xạ từ đất vào thực phẩm là thấp [26]; và liều vũ trụ đóng góp 5% vào mức liều hiệu dụng tổng cộng.

	Liều,	mSv/năm
I nann pnan dong gop	Khu vực mỏ	Khu vực đối chứng
Chiếu ngoài do các nhân phát gamma trong đất đá, AEGED	2,60 ± 1,66	$0,81 \pm 0,15$
Chiếu trong do thức ăn và đồ uống qua đường tiêu hóa, $E_{Ing}$	$0,30 \pm 0,03$	0,23 ± 0,11
Chiếu trong do hít thở khí phóng xạ, $E_{inh}$	$4,32 \pm 1,76$	$1,77 \pm 0,39$
Liều đóng góp bởi tia vũ trụ, <i>E<sub>cosmic</sub></i>	$0,35 \pm 0,13$	$0,35 \pm 0,13$
Tổng cộng	$7,\!48 \pm 2,\!42$	$2,90 \pm 0,41$

Bảng 3.11. Liều hiệu dụng tổng cộng trung bình năm tác động lên dân cư khu vực mỏ và khu vực đối chứng

Khác biệt lớn nhất giữa khu vực mỏ và khu vực đối chứng là đóng góp của các nhân phát gamma có trong đất đá, giá trị AEGED ở khu vực mỏ lớn hơn 3,2 lần so với khu vực đối chứng; và cao hơn 4,4 lần so với mức trung bình trên thế giới (0,48 mSv/năm [1, 55]). Như vậy, khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao được xếp vào khu vực có mức phông phóng xạ tự nhiên cao (HNBRA) với mức liều hiệu dụng trung bình năm là 7,48 mSv/năm.

Liều hiệu dụng trung bình năm ở khu vực đối chứng là  $2,90 \pm 0,41$  mSv/năm, gần tương đương với mức liều trung bình toàn cầu là 2,4 mSv/năm, cho thấy mỏ đất

hiếm không ảnh hưởng đến khu vực này, và việc lựa chọn khu vực đối chứng là hoàn toàn phù hợp.

Các kết phân tích và tính toán phù hợp với các công trình đã được thực hiện tại một số khu vực HNBRA khác liên quan đến mỏ đất hiếm, ví dụ như nghiên cứu của Nguyễn Văn Dũng và các cộng sự (2022) [32] ở khu vực Mường Hum, huyện Bát Xát, tỉnh Lào Cai, phía Tây Bắc và tiếp giáp với khu vực Đông Pao. Tại khu vực mỏ đất hiếm Bát Xát, liều hiệu dụng trung bình năm do hít thở radon đối với người lớn sống cách thân quằng từ 0,3 đế 2 km được ước tính là 4,0  $\pm$  1,6 mSv/năm; liều hiệu dụng chiếu trong qua đường tiêu hóa từ thực phẩm và nước uống chỉ ở mức 0,25 mSv/năm, trong đó nước chiếm đến 93% liều chiếu trong đường tiêu hóa; Đóng góp của các nhân phóng xạ có trong đất đá là 2,3  $\pm$  0,4 mSv/năm. Như vậy, về mặt nền phông phóng xạ thì khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao và Bát Xát rất tương đồng trong các yếu tố đóng góp vào liều hiệu dụng trung bình năm.

## 3.2.1. Vấn đề vật liệu xây dựng

Theo tập quán xây dựng, các ngôi nhà trong khu vực nghiên cứu được làm trên nền đất ngay gần vỉa quặng. Do đó nền nhà chứa đất đá có các nhân phóng xạ cao, đóng vai trò như vật liệu xây dựng, như thể hiện trong Hình 3.1. Theo cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA), một phương thức đơn giản để xác định mức độ nguy cơ do vật liệu xây dựng chứa các nhân phóng xạ tự nhiên [56], chỉ số AI (Activity Index – Chỉ số hoạt độ) được tính toán theo công thức (3.1).

$$AI = \frac{C_{Th-232}}{200} + \frac{C_{Ra-226}}{300} + \frac{C_{K-40}}{3000} \quad (3.1)$$

Trong đó  $C_{Th-232}$ ,  $C_{Ra-226}$  và  $C_{K-40}$  lần lượt là nồng độ hoạt độ <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra và <sup>40</sup>K, theo đơn vị Bq/kg. Nếu giá trị AI lớn hơn 1, cần có những đánh giá chi tiết hơn về vật liệu xây dựng được sử dụng.

Một cách tương tự, quy chuẩn xây dựng Việt Nam QCXDVN 05:2008/BXD đưa ra các chỉ số an toàn liên quan đến nồng độ hoạt độ <sup>232</sup>Th, <sup>226</sup>Ra và <sup>40</sup>K [57], các chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn được xác định theo công thức (3.2), (3.3) và (3.4).

$$I_{1} = AI = \frac{C_{Th-232}}{200} + \frac{C_{Ra-226}}{300} + \frac{C_{K-40}}{3000} \quad (3.2)$$
$$I_{2} = \frac{C_{Th-232}}{500} + \frac{C_{Ra-226}}{700} + \frac{C_{K-40}}{8000} \quad (3.3)$$
$$I_{3} = \frac{C_{Th-232}}{1500} + \frac{C_{Ra-226}}{2000} + \frac{C_{K-40}}{20000} \quad (3.4)$$

ТТ	Đối tượng áp dụng	Giá trị chỉ số hoạt độ phóng xạ an toàn (I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub> và I <sub>3</sub> )
1	Dùng xây nhà	
1.1	Sản phẩm vật liệu xây dựng khối lượng lớn dùng	L < 1
	xây nhà	$1 \ge 1$
1.2	Vật liệu san lấp nền nhà và nền gần nhà	$I_1 \leq 1$
1.3	Vật liệu sử dụng xây nhà với bề mặt hay khối	
	lượng hạn chế (ví dụ tường mỏng hay lát sàn, ốp	$I_1 \leq 6$
	tường)	
2	Xây dựng các công trình ngoài nhà	
2.1	Sử dụng như vật liệu ốp, lát công trình	$I_2 \leq 1,5$
3	Dùng cho san lấp	
3.1	Vật liệu dùng cho san lấp (không thuộc mục 1)	$I_3 \leq 1$
3.2	Vật liệu không dùng cho san lấp, cần được tồn	L > 1
	chứa	13 > 1
Chú	$t$ <i>thích:</i> $C_{Ra}$ , $C_{Th}$ , $C_K$ là các hoạt độ phóng xạ tự t	nhiên riêng của vật liệu xây
dựng	g tương ứng với các hạt nhân phóng xạ Radi-226,	Thori-232 và Kali-40.
I <sub>1</sub> =C	$C_{Ra}/300 + C_{Th}/200 + C_K/3000$ ;	
I <sub>2</sub> =C	$C_{Ra}/700 + C_{Th}/500 + C_{K}/8000;$	
$I_3=C$	$C_{\rm Ra}/2000 + C_{\rm Th}/1500 + C_{\rm K}/20000.$	

Bảng 3.12. Mức hoạt độ phóng xạ an toàn của vật liệu xây dựng [57]

Kết quả tính toán chỉ số AI ở khu vực mỏ được thể hiện trong Bảng 3.13. Số liệu chỉ ra rằng chỉ số AI ở tất cả các mẫu đất ở khu vực mỏ đều lớn hơn 1, trung bình là 3,3, khoảng giá trị nằm trong khoảng từ 1,5 đến 10,5; điều này là hiển nhiên vì mỏ đất hiếm Đông Pao là khu vực HNBRA. Cần lưu ý rằng chỉ số AI chỉ là một công cụ sàng lọc, khuyến cáo liên quan đến vấn đề này là việc sử dụng đất đá ở khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao, ví dụ như hoạt động san lấp, sử dụng làm vật liệu xây dựng, v.v. cho một khu vực dân cư khác cần có đánh giá, tính toán chi tiết để đảm bảo an toàn bức xạ. Tuy nhiên, các chỉ số  $I_1$ ,  $I_2$ , và  $I_3$  là những quy định pháp quy của Việt Nam, được ban hành bởi Bộ Xây dựng, do đó khi thực hiện các hoạt động liên quan đến xây dựng và san lấp sử dụng vật liệu lấy từ khu vực mỏ, cần có những đánh giá về mặt an toàn bức xạ, vì có 5 mẫu đất có giá trị số  $I_1 > 6$ ; 5 mẫu có chỉ số  $I_2 > 1,5$ ; và 2 mẫu có chỉ số  $I_3 > 1$ .



Hình 3.1. Hình ảnh cấu trúc xây dựng nhà ở điển hình ở khu vực nghiên cứu Bảng 3.13. Chỉ số sàng lọc vật liệu xây dựng có chứa các nhân phóng xạ

STT	Ký hiệu mẫu	$C_{Ra-226}$	$C_{Th-232}$	$C_{K-40}$	$AI(I_1)$	$I_2$	I <sub>3</sub>
		(Bq/kg)	(Bq/kg)	(Bq/kg)			
1	DDP01	393,3	319,2	483,6	3,1	1,3	0,41
2	DDP02	307,9	279,9	196,4	2,5	1,0	0,34
3	DDP03	328,4	437,1	565,5	3,5	1,4	0,46
4	DDP04	208,9	228,6	1049,5	2,2	0,9	0,26
5	DDP05	258,8	187	1439,3	2,3	0,9	0,25
6	DDP06	219,3	303,2	1022,7	2,6	1,0	0,31
7	DDP07	234,5	288,2	847	2,5	1,0	0,31
8	DDP08	331,2	354,2	936,2	3,2	1,3	0,40
9	DDP09	189,8	179,3	1304,9	2,0	0,8	0,21
10	DDP10	259,4	181,7	1103,5	2,1	0,9	0,25
11	DDP11	644,6	948,1	404,1	7,0	2,9	0,95
12	DDP12	354	232,3	1231	2,8	1,1	0,33
13	DDP13	341	281	697,8	2,8	1,1	0,36
14	DDP14	205,6	204	1268,4	2,1	0,9	0,24
15	DDP15	966,2	595,2	682,1	6,4	2,7	0,88
16	DDP16	329,7	175,2	1315,9	2,4	1,0	0,28
17	DDP17	251,1	176	281,4	1,8	0,7	0,24
18	DDP18	205,5	233,6	1460,5	2,3	0,9	0,26

STT	Ký hiệu mẫu	$C_{Ra-226}$	$C_{Th-232}$	$C_{K-40}$	$AI(I_1)$	<i>I</i> <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>
19	DDP19	253,8	177,5	1147,5	2,1	0,9	0,25
20	DDP20	272,9	264,8	274,6	2,3	1,0	0,31
21	DDP21	287,2	425,3	1879,7	3,7	1,5	0,43
22	DDP22	937,6	991	450,3	8,2	3,4	1,13
23	DDP23	194,7	156,7	319,6	1,5	0,6	0,20
24	DDP24	259,8	261	384,3	2,3	0,9	0,30
25	DDP25	232,4	406,2	986,5	3,1	1,3	0,39
26	DDP26	594	923	314,1	6,7	2,7	0,91
27	DDP27	395,8	214,3	743,5	2,6	1,1	0,34
28	DDP28	855,3	1512,5	330	10,5	4,3	1,44
29	DDP29	200,5	187	555,9	1,8	0,7	0,22
30	DDP30	293	204,7	479,6	2,2	0,9	0,28
31	DDP31	271,3	290,3	852,8	2,6	1,1	0,33
32	DDP32	87,2	249,4	1183,8	1,9	0,8	0,21
Khu v	ực đối chứng						
1	DDC01	90,6	121,6	950,4	1,2	0,5	0,13
2	DDC02	77,6	137,6	430	1,1	0,4	0,13
3	DDC03	82,3	42,5	683,9	0,7	0,3	0,07
4	DDC04	102,2	113,8	1051,4	1,3	0,5	0,13
5	DDC05	96,6	95,9	219,4	0,9	0,4	0,11
6	DDC06	85,9	141,4	387,4	1,1	0,5	0,14
7	DDC07	89,2	108,8	274,1	0,9	0,4	0,12

# 3.2.2. Vấn đề khí phóng xạ

Nồng độ hoạt độ khí phóng xạ radon được quan tâm bởi các tổ chức quốc tế (WHO, IAEA và ICRP [47, 58, 59]), thường được quy định cụ thể trong các quy định pháp quy ở các quốc gia phát triển [60, 61], như trình bày trong

Bảng 3.14. Ở Việt Nam, quy định pháp quy liên quan đến nồng độ radon chưa được thiết lập, tuy nhiên mức 100 Bq/m<sup>3</sup> với nhà mới xây, và mức 200 Bq/m<sup>3</sup> với nhà hiện hữu đã được đề xuất trong tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13521:2022 [16]. Như vậy, so sánh với kết quả nồng độ radon quan trắc được ở khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao, chỉ có 1 vị trí có hàm lượng radon lớn hơn 200 Bq/m<sup>3</sup>, lý giải cho kết quả này là do nhà cửa ở khu vực có kết cấu không kín, tường nhà và cửa sổ thường được làm bằng gỗ và có nhiều khe hở, do đó khí radon sinh ra từ đất sẽ khuếch tán ra các khu vực ngoài nhà. Tuy nhiên, bối cảnh khảo sát là khi mỏ đất hiếm Đông Pao chưa được khai thác, khi đào xới, khả năng sẽ tạo ra một lượng lớn khí radon đang được giữ trong đất đá sẽ đi vào môi trường không khí. Do đó, vấn đề khí phóng xạ radon cần được đặc biệt lưu ý khi tiến hành khai thác mỏ đất hiếm Đông Pao.

Tổ chức/Quốc gia	Mức khuyến nghị (Bq/m³)	Ghi chú
ICRP [58]	300	Mức tham chiếu
WHO [59]	100 (mục tiêu) / 300 (tối đa)	Vì sức khỏe cộng đồng
IAEA [47]	300 (nhà ở) / 1000 (nơi làm việc)	Tình huống "phơi nhiễm hiện có"
EU [61]	300	Quy định bắt buộc với các nước thành viên
EPA (Mỹ) [60]	300	Quy định bắt buộc với các nước thành viên
	2–4 pCi/L (~74–148 Bq/m <sup>3</sup> )	Nên cân nhắc giảm
Việt Nam [16]	100 (nhà mới xây)/200 (nhà hiện hữu)	Mức tham chiếu từ TCVN 13521:2022

Bảng 3.14. Mức quy định hoặc khuyến nghị với nồng độ radon trong nhà ở

**3.2.3.** Quan điểm an toàn bức xạ ở khu vực có nền phông phóng xạ cao

Cho đến nay, việc dự đoán rủi ro sức khỏe do bức xạ ở liều thấp và suất liều thấp đối với sinh vật sống dựa trên mô hình tuyến tính không ngưỡng (NTL). Mô hình NTL giả đinh rằng rủi ro sức khỏe đối với dân số tiếp xúc với liều bức xa thấp có quan hê tuyến tính với liều nhân được mà không có ngưỡng [1, 62, 63]. Nếu giả thuyết NTL là đúng, thì tỷ lê mắc ung thư (dang đặc hoặc bênh bạch cầu) trong số cư dân sống ở khu vực HBNRA sẽ phải tăng lên so với cư dân sống trong môi trường phóng xạ bình thường. Tuy nhiên, các kết quả khảo sát sinh học phóng xạ do [38, 64] và nhiều nhà nghiên cứu khác thực hiên cho thấy không có tác đông gây ung thự đáng kể nào từ phơi nhiễm bức xạ đối với cư dân sống ở Ramsar, là một vùng có nền phông phóng xạ tự nhiên cao, có địa điểm mức suất liều hiệu dụng trung bình năm cao hơn 26 mSv/năm. Ở khu vực này tuổi thọ của cư dân thậm chí còn cao hơn so với ở các khu vực đối chứng. Tần suất đột biến nhiễm sắc thể trong tế bào lympho của cư dân sống ở khu vực có nền phóng xạ cao gần như tương đương với cư dân trong khu vực đối chứng. Khi nghiên cứu tình trạng sức khỏe cộng đồng tại khu vực HBNRA ở Kerala, Nair và cộng sự (1999) đã tìm thấy bằng chứng cho thấy tỷ lệ mắc ung thư không tăng cùng với mức phơi nhiễm bức xạ gamma chiếu ngoài tại khu vực [65]. Tubiana và các công sư (2009) cho rằng mối quan hê tuyến tính không ngưỡng không phù hợp với dữ liêu sinh học và thực nghiêm về bức xa [66]. Dựa trên kết quả của các nghiên cứu sinh học phóng xạ và hiểu biết về cơ chế gây ung thư, các nhà nghiên cứu của công trình [64] tin rằng cơ chế thích nghi của sinh vật sống, thông qua khả năng sửa chữa và loại bỏ các tế bào bị tổn thương do bức xạ, có thể giúp bảo vệ chống lại những tổn thương hoặc đột biến tế bào dẫn đến ung thư.

Có thể thấy rằng, hiện nay vẫn tồn tại tranh cãi giữa hai quan điểm về ảnh hưởng của bức xạ mức liều thấp: một bên cho rằng cơ thể con người có cơ chế thích nghi để chống lại tác động tiêu cực của bức xạ, trong khi bên kia tin rằng bức xạ ion hóa sẽ gây ra sự gia tăng đáng kể tỷ lệ ung thư ở con người ngay cả ở liều rất thấp, tức là giả thuyết NTL là hợp lý.

Phần lớn các nghiên cứu ở khu vực nền phông phóng xạ cao đều phát hiện ra mức độ gia tăng sai lệch nghiễm sắc thể, tuy nhiên hầu hết các nghiên cứu dịch tễ học phân tích nguy cơ mắc bệnh ung thư đối với cư dân sống ở HBNRA trên thế giới đều kết luận rằng không có mối liên hệ giữa việc tiếp xúc với nền phông bức xạ cao với tỷ lệ ung thư gia tăng [67]. Kết luận này không hoàn toàn thuyết phục được cộng động khoa học do những hạn chế về nhiễu và sai lệch thống kê của những nghiên cứu trải qua khoảng thời gian dài và số lượng mẫu lớn. Do đó, những đề xuất hoàn thiện kỹ thuật nghiên cứu để hạn chế các nhiễu loạn, như kỹ thuật "thiết kế sinh thái" [68, 69] và các phương pháp khác vẫn đang được phát triển [70], một số kết quả thu được được trình bày trong Bảng 3.15; Cần triển khai nhiều chương trình nghiên cứu, phối hợp có quy mô hơn, được hỗ trợ bởi các cơ quan quốc tế, như IAEA và WHO.

Trước tình trạng ảnh hưởng của nền phông phóng xạ cao ở Ramsar, Iran, Sohrabi khuyến nghị các biện pháp khắc phục để bảo vệ cư dân (cải tạo nhà cửa, trường học, di dời dân cư) [38, 71], nhưng bị phản đối bởi Abdollahi [72] vì những bằng chứng khoa học chưa đủ thuyết phục để thực hiện những phương pháp đề xuất.

Trong một nghiên cứu ở Yangjiang, Trung Quốc, Zhang và cộng sự [73] đã đưa ra khái niệm "Phản ứng thích ứng" (Adaptive Response) để mô tả tính "đề kháng" quan sát thấy ở các tế bào lympho được nuôi cấy từ những người ở HBNRA. Một số nghiên cứu ở Iran đã củng cố quan điểm này, khi cùng chịu liều gamma 1,5 Gy tác động tới tế bào lympho, nhưng mức độ sai lệch nghiễm sắc thể ở cư dân HBNRA lại thấp hơn cư dân ở khu vực đối chứng [74, 75].

Như vậy, kết quả của đề tài nghiên cứu này bước đầu xác định được nền phông phóng xạ cao ở khu vực sinh sống của cư dân gần mỏ Đông Pao. Để có bằng chứng thuyết phục về ảnh hưởng của nền phông phóng xạ cao tới sức khỏe của dân cư ở khu vực này cần có thêm những nghiên cứu dịch tễ học và sinh thái học phóng xạ như đánh giá ảnh hưởng của liều bức xạ tới công thức máu, cấu trúc gen và những thay đổi vi mô của cộng đồng sống trên khu mỏ và so sánh với các chỉ tiêu tương tự của cư dân vùng đối chứng.

Khu vực	Sai lệch nghiễm sắc th	nể	Ung thư	
	Công trình	KQ	Công trình	KQ
Yangjiang,	Wang et al. [76]	<b>↑</b>	Tử vong do mọi loại ung	$\leftrightarrow$
Trung Quốc			thư	
			Chen and Wei 1991 [77]	
	Che và Wei [77]	ſ	L. Wei and Sugahara 2000	$\leftrightarrow$
	Tao et al. [70]	<b>↑</b>	[/0] I X Wei et al. 1000 [80]	
	Havata et al [81]	 ↑	L. A. Wellet al. 1990 [80]	
	There we Howers [92]		Tag at al. 2000 [82]	$\leftrightarrow$
	Line va Hayata [85]	$\leftrightarrow$	Tao et al. 2000 [79]	$\leftrightarrow$
	Hayata et al., 2000 [84]	$\leftrightarrow$	bệnh bạch cầu [22]	Ţ
	Zhang et al., 2010 [73]	AR		
Ấn Độ	Kochupillai et al., 1976 [85]	Ŷ	Ung thư tuyến giáp [86]	$\leftrightarrow$
	Cheriyan et al., 1999 [87]	$\leftrightarrow$	Ung thư vòm hong [88]	
	Das et al., 2009 [89]	$\leftrightarrow$	Tất cả các loại ung thư [90]	$\leftrightarrow$
	Das và Karuppasamy, 2009 [91]	$\leftrightarrow$	Tất cả các loại ung thư [92]	$\leftrightarrow$
Ramsar, Iran	Mehdi Sohrabi, 1998 [71]	Î	Tử vong do ung thư ở nữ giới [93]	<b>↑</b>
	Ghiassi-Nejad et al., 2004	↔,	Tử vong do ung thư ở nam	$\leftrightarrow$
	[94]	AR	giới [93]	
	Ghiassi-Nejad et al., 2004 [72]	Ŷ	Ung thư phổi [95]	↓
	Mortazavi và Mozdarani, 2013 [96]	$\leftrightarrow$		
	Mortazavi et al. 2006 [97]	$\leftrightarrow$		
	Zakeri et al. 2011 [98]			
	Masoomi et al. 2006 [75]	$\leftrightarrow$		
		, AR		
	Taeb, Mortazavi, và Ghaderi 2014 [99]	<b>↑</b>		

Bảng 3.15. Những ảnh hưởng do phơi chiếu mãn tính bức xạ nền phông cao ở một số khu vực trên thế giới [67]

Chú thích: Các ký hiệu  $\uparrow$ ,  $\leftrightarrow$ ,  $\downarrow$ , AR tương ứng với kết quả tăng, tương đồng, giảm và "đáp ứng thích nghi" ở khu vực HBNRA so với NBRA.

# KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Đề tài nghiên cứu "Đánh giá khả năng ảnh hưởng của bức xạ ion hóa đến sức khỏe cư dân khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao thuộc xã Bản Hon, huyện Tam Đường, tỉnh Lai Châu" đã được thực hiện và trình bày trong 3 chương của luận văn, tóm tắt như sau:

Chương 1 trình bày tổng quan về phóng xạ môi trường, bao gồm các yếu tố: Các hạt nhân phóng xạ nguyên thủy, chuỗi phóng xạ, khí phóng xạ radon trong không khí và tia vũ trụ; tổng quan về liều lượng, các khái niệm, và 1 số nghiên cứu liên quan đến các khu vực có nền phông phóng xạ cao.

Chương 2 trình bày về đối tượng, phạm vi và phương pháp nghiên cứu. Đề tài hướng đến việc xác định liều hiệu dụng trung bình năm mà cư dân sinh sống gần khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao (Tam Đường, Lai Châu) phải nhận. Để đánh giá sự khác biệt, khu vực đối chứng là bản Chăn Nuôi, thuộc xã Bản Hon, Tam Đường, Lai Châu, cách khu vực mỏ 20 km. Để xác định liều hiệu dụng trung bình năm, các yếu tố đóng góp (các nhân phóng xạ trong đất đá, nước, thực phẩm, nồng độ khí phóng xạ radon và thoron, và tia vũ trụ) được xác định bằng các phép phân tích định lượng đã được công nhận tại phòng thí nghiệm Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, mã số VILAS 670.

Chương 3 trình bày các kết quả phân tích mẫu và tính toán liều hiệu dụng:

- Ba mươi hai mẫu đất thu thập ở khu vực mỏ, có nồng độ hoạt độ trung bình  $^{226}$ Ra,  $^{232}$ Th, và  $^{40}$ K lần lượt là 348,9 Bq/kg (87,2 ÷ 966,2 Bq/kg), 370,9 Bq/kg (156,7 ÷ 1512,5 Bq/kg), và 818,5 Bq/kg (196,4 ÷ 1879,7 Bq/kg); 7 mẫu đất ở khu vực đối chứng có nồng độ hoạt độ trung bình  $^{226}$ Ra,  $^{232}$ Th, và  $^{40}$ K lần lượt là 89,2 Bq/kg (77,6 ÷ 102,2 Bq/kg), 108,8 Bq/kg (42,5 ÷ 131,4 Bq/kg), và 470,9 Bq/kg (219,4 ÷ 1051,4 Bq/kg); qua đó xác định được mức liều hiệu dụng chiếu ngoài do các nhân phát gamma trong đất đá ở khu vực mỏ và khu vực đối chứng lần lượt là 2,6 ± 1,66 mSv/năm và 0,81 ± 0,15 mSv/năm;

- Bốn mươi mốt điểm đo ở khu vực mỏ xác định được nồng độ radon trung bình là 96,9 Bq/m<sup>3</sup> (17 ÷ 299 Bq/m<sup>3</sup>), nồng độ thoron trung bình là 36,1 Bq/m<sup>3</sup> (8 ÷ 226 Bq/m<sup>3</sup>), gây ra liều hiệu dụng trung bình năm là  $3,52 \pm 1,66$  mSv/năm và  $0,80 \pm 0,51$  mSv/năm;

- Nồng độ hoạt độ các nhân <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Pb, <sup>232</sup>Th và <sup>228</sup>Ac trong 24 mẫu nước ở khu vực mỏ và 45 mẫu thực phẩm, qua đó tính được liều hiệu dụng chiếu
trong qua đường tiêu hóa là  $0,30 \pm 0,03$  mSv/năm; kết quả tính toán cho khu vực đối chứng là  $0,23 \pm 0,11$  mSv/năm;

- Mức liều đóng góp bởi tia vũ trụ là như nhau ở cả khu vực đối chứng và khu vực mỏ là  $0.35 \pm 0.09$  mSv/năm;

- Qua các thành phần tính toán ở trên, liệu hiệu dụng trung bình năm tổng cộng ở khu vực mỏ là  $7,48 \pm 2,42$  mSv/năm; khu vực đối chứng là  $2,90 \pm 0,41$  mSv/năm;

Từ các kết quả suất liều hiệu dụng trung bình năm ở khu vực mỏ Đông Pao cao hơn 4,4 lần mức trung bình thế giới (0,48 mSv/năm) có thể kết luận đây là khu vực có mức phông phóng xạ tự nhiên cao; Đóng góp nhiều nhất bởi khí radon (58%), chiếu ngoài do gamma trong đất đá đóng góp 35%.

Do cấu trúc nhà cửa ở cư dân trên khu vực nghiên cứu, nền đất được sử dụng là nơi sinh hoạt, ăn ngủ; nền đất có chứa các nhân phóng xạ tự nhiên, được coi là vật liệu xây dựng. Khi người dân sinh ra và lớn lên ở khu vực HBNRA, mức liều hiệu dụng nhận thêm phải nhỏ hơn 1 mSv/năm, theo quy định pháp quy không cần quan tâm. Tuy nhiên khi sử dụng đất đá ở khu vực mỏ cho các hoạt động san lấp hoặc xây dựng ở các khu vực khác thì cần phải tính toán các hệ số  $I_1$ ,  $I_2$ , và  $I_3$ , vì có 5 mẫu đất có giá trị số  $I_1 > 6$ ; có số  $I_2 > 1,5$ ; và 2 mẫu có số  $I_3 > 1$ .

Mức nồng độ khí radon ở khu vực mỏ cao hơn so với khu vực đối chứng, nhưng so với mức tham chiếu 200 Bq/m<sup>3</sup> trong tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13521:2022 thì chỉ có 1 vị trí quan trắc vượt mức. Tuy nhiên khảo sát được thực hiện khi chưa có hoạt động khai thác đất hiếm ở khu vực, và khả năng cao là nồng độ khí radon sẽ tăng khi hoạt động khai thác được tiến hành. Do đó, vấn đề quan trắc, kiểm soát và quản lý nồng độ khí radon cần đặc biệt lưu tâm khi khai thác đất hiếm được thực hiện ở Đông Pao.

Như vậy, kết quả nghiên cứu của đề tài là căn cứ để kết luận rằng không có những vi phạm nào liên quan đến quy định pháp quy về an toàn bức xạ, tuy nhiên mức độ nguy cơ ô nhiễm phóng xạ là cao khi tiến hành khai thác mỏ.

Về phương hướng nghiên cứu tiếp theo, bằng chứng về ảnh hưởng của mức liều thấp ở các khu vực HBNRA tới sức khỏe cư dân còn rất hạn chế, những tranh cãi liên quan đến cơ chế thích nghi để chống lại tác động tiêu cực của bức xạ đặt ra yêu cầu phải có thêm những nghiên cứu về sinh thái học phóng xạ. Lĩnh vực này đã bắt đầu được triển khai ở các khu vực HBNRA của Việt Nam nói chung, và mỏ Đông

Pao nói riêng. Đây là một hướng nghiên cứu cần thiết, có hàm lượng khoa học cao, được quan tâm ở cả trong và ngoài nước.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1. UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation : UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. 2000, New York: United Nations : Stationery Office distributor. [4], 566p. : ill., tables.
- 2. UNSCEAR, Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report. 2008, Place of publication not identified: United Nations Publications.
- ICRP-103, The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP publication 103. Ann iCRP, 2007. 37(2): p. 1-332.
- 4. Van, H.D., et al., *Fort-Dauphin beach sands, south Madagascar: Natural radionuclides and mineralogical studies.* Vietnam J Earth Sci, 2020. **42**(2): p. 118-129.
- 5. Duggal, V., et al., Assessment of natural radioactivity levels and associated dose rates in soil samples from Northern Rajasthan, India. Radiation protection dosimetry, 2014. **158**(2): p. 235-240.
- Vearrier, D., J.A. Curtis, and M.I. Greenberg, *Technologically enhanced naturally occurring radioactive materials*. Clinical toxicology, 2009. 47(5): p. 393-406.
- Trọng, T.B., Điều tra hiện trạng môi trường phóng xạ trên các mỏ Đông Pao, Thèn Sin – Tam Đường – tỉnh Lai Châu, Mường Hum tỉnh Lào Cai, Yên Phú tỉnh Yên Bái, Thanh Sơn tỉnh Phú Thọ, An Điềm, Ngọc Kinh – sườn Giữa tỉnh Quảng Nam. 2005, Liên đoàn địa chất Xạ Hiếm.
- 8. Trọng, T.B., Điều tra hiện trạng môi trường phóng xạ trên các mỏ Đông Pao, Thèn Sin-Tam Đường tỉnh Lai Châu, Mường Hum tỉnh Lào Cai, Yên Phú tỉnh Yên Bái, Thanh Sơn tỉnh Phú Thọ, An Điềm, Ngọc Kinh-Sườn Giữa tỉnh Quảng Nam. 2006, Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm.
- 9. Bui, T., D. Trinh, and P. Nguyen, *Overview of rare earth in Vietnam*. Geol. J. Ser. A, 2010: p. 447-456.
- 10. United Nations. Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation., Sources and effects of ionizing radiation : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation : UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. 2000, New York: United Nations.
- 11. Pawel, D.J. and J.S. Puskin, editors. EPA Assessment of Risks from Radon in Homes. Washington DC: Environmental Protection Agency; 2003. Jun, Report No. EPA 402-R-03-003.

- 12. Bethesda, NCRP Report No. 93. Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States. 1987, NCRP.
- 13. Tiến, N.B., Báo cáo tổng kết nhiệm vụ KHCN cấp bộ: Khảo sát đánh giá hiện trạng phông phóng xạ tự nhiên trên toàn tuyến đường Hồ Chí Minh giai đoạn: 2007 - 2008. 2010, Viện Công nghệ Xạ - Hiếm.
- 14. Radiations., N.R.C.U.C.o.t.B.E.o.I. *Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters: Beir IV.* 1988; Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK218121/.
- 15. Martz, D.E., R.T. Harris, and G.H. Langner, Jr., *The half-life of 218Po*. Health Phys, 1989. **57**(1): p. 121-30.
- TCVN-13521, Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13521:2022 Nhà ở và nhà công cộng – Các thông số chất lượng không khí trong nhà. 2022, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- 17. Spurný, F., *Radiation doses at high altitudes and during space flights*. Radiation Physics and Chemistry, 2001. **61**(3-6): p. 301-307.
- 18. Heinrich, W., S. Roesler, and H. Schraube, *Physics of Cosmic Radiation Fields*. Radiation Protection Dosimetry, 1999. **86**(4): p. 253-258.
- 19. Charachandran, Natural Radiation sources, in IAEA Regional Basic Professional Training Course on Radiation Protection. 1998, Bhabha Atomic Research Centre: Mumbai, India.
- 20. Galindo, A. *What is Radiation?* What is Radiation? [Text] 2023 2023-01-25T08:30+01:00.
- 21. ATSDR and EPA, *Toxicological Profile for Ionizing Radiation. Atlanta* (*GA*): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US). 1999.
- 22. UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. 2000, New York: United Nations. 2.
- 23. UNSCEAR. UNSCEAR 2008 Report Volume I. United Nations : Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 2008.
- 24. ICRP-60, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 1991, ICRP Publication 60.
- 25. ICRP-103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4). 2007.
- 26. Hưng, L.V., Hệ số vận chuyển (TF) của thorium, uranium, caesium and strontium từ đất vào rau ăn lá và chè trồng trên một số loại đất khác

*nhau ở khu vực phía Bắc*, in *Khoa học môi trường*. 2014, Đại học Khoa học tự nhiên: Hà Nội.

- 27. Hiệp, H.T., Điều tra sự nhiễm bẩn phóng xạ nhân tạo do các hoạt động hạt nhân và sự cố hạt nhân trên thế giới gây ra trên lãnh thổ Việt Nam, in Báo cáo dự án điều tra cơ bản năm 1997-1999. 1999.
- 28. Hien, P.D., et al., *Derivation of 137Cs deposition density from measurements of 137Cs inventories in undisturbed soils.* Journal of Environmental Radioactivity, 2002. **62**(3): p. 295-303.
- Huy, N.Q., et al., *Natural radioactivity and external dose assessment of surface soils in Vietnam*. Radiation Protection Dosimetry, 2012. 151(3): p. 522-531.
- 30. Trọng, T.B., Điều tra hiện trạng môi trường phóng xạ trên các mỏ Đông Pao, Thèn Sin-Tam Đường tỉnh Lai Châu, Mường Hum tỉnh Lào Cai, Yên Phú tỉnh Yên Bái, Thanh Sơn tỉnh Phú Thọ, An Điềm, Ngọc Kinh-Sườn Giữa tỉnh Quảng Nam. 2006, Liên đoàn Địa chất Xạ - Hiếm.
- Van, T.T., et al., Estimation of Radionuclide Concentrations and Average Annual Committed Effective Dose due to Ingestion for the Population in the Red River Delta, Vietnam. Environ Manage, 2019. 63(4): p. 444-454.
- 32. Van Dung, N., et al., *Radiation exposure in a region with natural high background radiation originated from rare earth element deposits at Bat Xat district, Vietnam.* Radiat Environ Biophys, 2022. **61**(2): p. 309-324.
- 33. Phon, L.K., et al., *Estimation of effective dose rates caused by radon and thoron for inhabitants living in rare earth field in northwestern Vietnam (Lai Chau province)*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2015. **306**(1): p. 309-316.
- 34. Tien-Du, N., Report of the supplementary geological prospecting surveys at the Rare Earth Elements at Dong Pao Deposit, Ban Giang District, Lai Chau province, Nort-Weast Vietnam. Archive at the Geological Division VIMICO, Lai Chau. (in Vietnames). 2011.
- 35. Dzien, D., *Rare earth deposits*. Geology and Mineral Resources of Vietnam; Xinh, LT, Tri, TV, Dzung, DH, Dzung, NT, Chien, LT, Chau, DM, Hai, TH, Eds, 1990: p. 144-147.
- 36. Moody, M., *Mother lode: The untapped rare earth mineral resources of Vietnam.* NAVAL WAR COLLEGE NEWPORT RI JOINT MILITARY OPERATIONS DEPT, 2013.
- 37. Chau, N.D., et al., *General characteristics of rare earth and radioactive elements in Dong Pao deposit, Lai Chau, Vietnam.* Vietnam Journal of Earth Sciences, 2017. **39**(1).

- Sohrabi, M., World high background natural radiation areas: Need to protect public from radiation exposure. Radiation Measurements, 2013. 50: p. 166-171.
- 39. Laichau.gov.vn. *Xã Bản Hon*. 30/01/2025]; Available from: <u>https://tamduong.laichau.gov.vn/index.php/he-thong-to-chuc/xa-thi-tran/Xa-Ban-Hon-2.html</u>.
- 40. Kovács, T., et al., *Systematic survey of natural radioactivity of soil in Slovenia*. Journal of Environmental Radioactivity, 2013. **122**: p. 70-78.
- 41. Karunakara, N., et al., Soil to rice transfer factors for 226Ra, 228Ra, 210Pb, 40K and 137Cs: a study on rice grown in India. Journal of Environmental Radioactivity, 2013. **118**: p. 80-92.
- 42. TCVN6647, Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 6647:2007 (ISO 11464:2006) Chất lượng đất – xử lý sơ bộ mẫu để phân tích lý – hóa. 2007.
- 43. VILAS670, Danh mục các phép thử được công nhận phù hợp theo tiêu chuẩn ISO/IEC 17025:2017 trong các lĩnh vực thử nghiệm hóa của Phòng thí nghiệm Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân, Số hiệu VILAS 670. 2023, Văn phòng công nhận chất lượng.
- 44. Dũng, N.V., Nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu và mô hình đánh giá liều chiếu xạ, phóng xạ trong môi trường tại một số mỏ đất hiếm và sa khoáng. 2021, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam: Hà Nội.
- 45. TCVN8879, Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 8879:2011 (ISO 10704:2009), Chất lượng nước – Đo tổng hoạt độ phóng xạ anpha và beta trong nước không mặn - Phương pháp lắng đọng nguồn mỏng. 2011.
- 46. TCVN7889, Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 7889:2008 Nồng độ khí radon tự nhiên trong nhà Mức quy định và yêu cầu chung về phương pháp đo. 2008, Bộ Khoa học và công nghệ.
- 47. IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards - General Safety Requirements, Part 3. 2014, Vienna: IAEA.
- 48. Eckerman, K.F. and A.L. Sjoreen. *Rad Toolbox User's Guide*. 2013.
- 49. NIN, General nutrition survey for the 2009-2010. 2010.
- 50. WHO, *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum.* 4th , 1st add ed. 2017, Geneva: World Health Organization.
- 51. Ramachandran, T.V., et al., *Radon-thoron levels and inhalation dose distribution patterns in India dwellings*. 2003, ; Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai (India): India. p. Medium: ED; Size: 63 pages.

- 52. Ramola, R.C., M.S. Negi, and V.M. Choubey, *Measurement of Equilibrium Factor "F" between Radon and its Progeny and Thoron and its Progeny in the Indoor Atmosphere Using Nuclear Track Detectors.* Indoor and Built Environment, 2003. **12**(5): p. 351-355.
- 53. Bouville, A. and W.M. Lowder, *Human Population Exposure to Cosmic Radiation*. Radiation Protection Dosimetry, 1988. **24**(1-4): p. 293-299.
- 54. Van, T.T., et al., Estimation of Radionuclide Concentrations and Average Annual Committed Effective Dose due to Ingestion for the Population in the Red River Delta, Vietnam. Environmental Management, 2018. **63**(4): p. 444-454.
- 55. UNSCEAR, Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly, with scientific annexes. 2010, New York: United Nations. 2.
- 56. IAEA, Regulatory Control of Exposure Due to Radionuclides in Building Materials and Construction Materials. 2023, Vienna: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
- 57. QCXDVN-05, Quy chuẩn xây dựng Việt Nam: Nhà ở và công trình công cộng An toàn sinh mạng và sức khỏe. 2008, Bộ Xây dựng.
- 58. ICRP-126, Radiological Protection against Radon Exposure. ICRP Publication 126. Ann. ICRP 43(3). 2014.
- 59. WHO, Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. 2009.
- 60. Agency, U.S.E.P., What is EPA's Action Level for Radon and What Does it Mean? 2024.
- 61. European Commission: Directorate-General for, E., *Radon in workplaces Implementing the requirements in Council Directive 2013/59/Euratom.* 2020: Publications Office.
- 62. UNSCEAR, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2020/2021 Report, Volume I : Report to the General Assembly, with Scientific Annex A - Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. 2020/2021, New York: United Nations.
- 63. Pawel, D.J. and J.S. Puskin, US Environmental Protection Agency radiogenic risk models and projections for the US population. Health physics, 2012. **102**(6): p. 646-656.
- 64. Mortazavi, S.M.J. and P.A. Karam, Apparent lack of radiation susceptibility among residents of the high background radiation area in Ramsar, Iran: can we relax our standards?, in The Natural Radiation Environment VII: VIIth Int. Symp. On the NRE. 2005. p. 1141-1147.

- Nair, R.R.K., et al., Background Radiation and Cancer Incidence in Kerala, India—Karanagappally Cohort Study. Health Physics, 2009. 96(1): p. 55-66.
- 66. Tubiana, M., et al., *The Linear No-Threshold Relationship Is Inconsistent with Radiation Biologic and Experimental Data.* Radiology, 2009. **251**(1): p. 13-22.
- 67. Aliyu, A.S. and A.T. Ramli, *The world's high background natural radiation areas (HBNRAs) revisited: A broad overview of the dosimetric, epidemiological and radiobiological issues.* Radiation Measurements, 2015. **73**: p. 51-59.
- 68. Kendall, G.M., *Problems with HBRA studies in health risk assessment*. International Congress Series, 2005. **1276**: p. 166-168.
- 69. Hart, J., On Ecological Studies: A Short Communication. Dose-Response, 2011. 9(4): p. dose-response.1.
- 70. Salway, R. and J. Wakefield, *A hybrid model for reducing ecological bias*. Biostatistics, 2008. **9**(1): p. 1-17.
- 71. Sohrabi, M., *The state-of-the-art on worldwide studies in some environments with elevated naturally occurring radioactive materials (NORM)*. Applied Radiation and Isotopes, 1998. **49**(3): p. 169-188.
- 72. Abdollahi, H., *World high background natural radiation areas and public life: letter to the editor.* Radiation Measurements, 2013. **59**: p. 288-289.
- 73. Zhang, S.-p., et al., Mechanism study of adaptive response in high background radiation area of Yangjiang in China. Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi [Chinese Journal of Preventive Medicine], 2010. 44(9): p. 815-819.
- 74. Ghiassi-nejad, M., et al., VERY HIGH BACKGROUND RADIATION AREAS OF RAMSAR, IRAN: PRELIMINARY BIOLOGICAL STUDIES:. Health Physics, 2002. **82**(1): p. 87-93.
- Masoomi, J.R., et al., *High background radiation areas of Ramsar in Iran: evaluation of DNA damage by alkaline single cell gel electrophoresis (SCGE)*. Journal of Environmental Radioactivity, 2006. 86(2): p. 176-186.
- 76. Wang, Z., et al., Thyroid Nodularity and Chromosome Aberrations Among Women in Areas of High Background Radiation in China. JNCI Journal of the National Cancer Institute, 1990. 82(6): p. 478-485.
- 77. Chen, D. and L. Wei, *Chromosome aberration, cancer mortality and hormetic phenomena among inhabitants in areas of high background*

*radiation in China*. Journal of Radiation Research, 1991. **32 Suppl 2**: p. 46-53.

- 78. Wei, L. and T. Sugahara, An Introductory Overview of the Epidemiological Study on the Population at the High Background Radiation Areas in Yangjiang, China. Journal of Radiation Research, 2000. **41**(SUPPL): p. 1-7.
- 79. Tao, Z., et al., *Cancer Mortality in the High Background Radiation Areas of Yangjiang, China during the Period between 1979 and 1995.* Journal of Radiation Research, 2000. **41**(SUPPL): p. 31-41.
- 80. Wei, L.X., et al., *Epidemiological investigation of radiological effects in high background radiation areas of Yangjiang, China.* Journal of Radiation Research, 1990. **31**(1): p. 119-136.
- 81. Hayata, I., et al., *Effect of high-level natural radiation on chromosomes of residents in southern China*. Cytogenetic and Genome Research, 2004. **104**(1-4): p. 237-239.
- 82. Jiang, T., et al., Dose-effect Relationship of Dicentric and Ring Chromosomes in Lymphocytes of Individuals Living in the High Background Radiation Areas in China. Journal of Radiation Research, 2000. **41**(SUPPL): p. 63-68.
- Zhang, W. and I. Hayata, Preferential reduction of dicentrics in reciprocal exchanges due to the combination of the size of broken chromosome segments by radiation. Journal of Human Genetics, 2003. 48(10): p. 531-534.
- 84. Hayata, I., et al., *Chromosome Translocation in Residents of the High Background Radiation Areas in Southern China*. Journal of Radiation Research, 2000. **41**(SUPPL): p. 69-74.
- 85. Kochupillai, N., et al., *Down's syndrome and related abnormalities in an area of high background radiation in coastal Kerala*. Nature, 1976. **262**(5563): p. 60-61.
- 86. Pillai, N.K., M. Thangavelu, and V. Ramalingaswami, *Nodular lesions* of the thyroid in an area of high background radiation in coastal Kerala, *India*. The Indian Journal of Medical Research, 1976. **64**(4): p. 537-544.
- 87. Cheriyan, V.D., et al., Genetic monitoring of the human population from high-level natural radiation areas of Kerala on the southwest coast of India. II. Incidence of numerical and structural chromosomal aberrations in the lymphocytes of newborns. Radiation Research, 1999. 152(6 Suppl): p. S154-158.
- 88. Nair, M.K., et al., *Clinical profile of 2007 oral cancers in Kerala, India*. Annals of Dentistry, 1988. **47**(1): p. 23-26.

- 89. Das, B., D. Saini, and M. Seshadri, *Telomere Length in Human Adults and High Level Natural Background Radiation*. PLoS ONE, 2009. **4**(12): p. e8440.
- 90. Nair, M.K., et al., *Population Study in the High Natural Background Radiation Area in Kerala, India.* Radiation Research, 1999. **152**(6): p. S145.
- 91. Das, B. and C.V. Karuppasamy, Spontaneous frequency of micronuclei among the newborns from high level natural radiation areas of Kerala in the southwest coast of India. International Journal of Radiation Biology, 2009. **85**(3): p. 272-280.
- 92. Nair, R.R.K., et al., Background radiation and cancer incidence in Kerala, India-Karanagappally cohort study. Health Physics, 2009. 96(1): p. 55-66.
- 93. Mosavi-Jarrahi, A., et al., *Mortality and morbidity from cancer in the population exposed to high level of natural radiation area in Ramsar, Iran.* International Congress Series, 2005. **1276**: p. 106-109.
- 94. Ghiassi-Nejad, M., et al., *Long-term immune and cytogenetic effects of high level natural radiation on Ramsar inhabitants in Iran*. Journal of Environmental Radioactivity, 2004. **74**(1-3): p. 107-116.
- 95. Mortazavi, S.M.J., M. Ghiassi-Nejad, and M. Rezaiean, *Cancer risk due to exposure to high levels of natural radon in the inhabitants of Ramsar, Iran.* International Congress Series, 2005. **1276**: p. 436-437.
- 96. Mortazavi, S.M.J. and H. Mozdarani, *Non-linear phenomena in biological findings of the residents of high background radiation areas of Ramsar.* 2013. **11**(1).
- 97. Mortazavi, S.M.J., et al., *Cancer incidence in areas with elevated levels of natural radiation*. International Journal of Low Radiation, 2006. 2(1/2): p. 20.
- 98. Zakeri, F., et al., *Chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes of individuals living in high background radiation areas of Ramsar, Iran.* Radiation and Environmental Biophysics, 2011. **50**(4): p. 571-578.
- 99. Taeb, S., S.M. Mortazavi, and A. Ghaderi, *Alterations of PSA, CA15.3, CA125, Cyfra21-1, CEA, CA19.9, AFP and Tag72 tumor markers in human blood serum due to long term exposure to high levels of natural background radiation in Ramsar, Iran.* 2014.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC LIÊN QUAN

- Duong Van Thang, Nguyen Dinh Giap, Nguyen Van Khanh, Pham Tuan Nam, Nguyen Dang Minh, et al. Public dose assessment from external and internal radiation exposure in an elevated-level natural radiation area of Dong Pao (Lai Chau province) in Vietnam. The 4th International Conference on Environmental Pollution, Restoration, and Management, March 3-7, 2024, ICISE, Quy Nhon, Vietnam.
- 2) Nguyễn Đăng Minh, Dương Văn Thắng, Lê Minh Hiếu, Phạm Tuấn Nam, Nguyễn Thị Oanh, Nguyễn Văn Khánh, Nguyễn Hoàng Giang, Lê Đình Cường, Nguyễn Huyền Trang, Vũ Hoài, Nguyễn Đình Giáp, Lê Thị Hòa, Vũ Trường Sơn. Đánh giá suất liều hiệu dụng đóng góp bởi Radon đến dân chúng quanh mỏ đất hiếm Đông Pao, Lai Châu. Báo cáo Oral tại Hội nghị khoa học cán bộ trẻ ngành năng lượng nguyên tử lần thứ 8, 2024.
- 3) Nguyễn Hoàng Giang, Dương Văn Thắng, Nguyễn Đăng Minh, Lê Minh Hiếu, Lê Thị Hòa, Nguyễn Văn Khánh, Phạm Tuấn Nam, Cao Đức Việt, Nguyễn Thị Oanh, Dương Đức Thắng, Nguyễn Đình Giáp, Đánh giá phông phóng xạ môi trường đất tại khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao-Lai Châu. Báo cáo Oral tại Hội nghị khoa học cán bộ trẻ ngành năng lượng nguyên tử lần thứ 8, 2024.
- 4) Nguyễn Đăng Minh, Dương Văn Thắng, Lê Minh Hiếu, Phạm Tuấn Nam, Nguyễn Văn Khánh, Nguyễn Hoàng Giang, Vũ Hoài, Dương Đức Thắng, Lê Thị Hòa, Vũ Trường Sơn. Tổng hoạt độ phóng xạ alpha, beta trong một số mẫu nước sinh hoạt khu vực mỏ đất hiếm Đông Pao, Lai Châu. Báo cáo Poster tại Hội nghị khoa học cán bộ trẻ ngành năng lượng nguyên tử lần thứ 8, 2024.