

HOẠT ĐỘNG CÁC ĐỒNG VỊ PHÓNG XẠ TRONG MÔI TRƯỜNG TẠI MỘT SỐ TỈNH PHÍA NAM VIỆT NAM

Đến tòa soạn 06-04-2023

Nguyễn Thị Thanh Nga(*), Lê Như Siêu, Nguyễn Văn Phúc, Trần Đình Khoa
và Nguyễn Tổng Thanh Hồng

Nuclear Research Institute, 01 Nguyen Tu Luc, Dalat, Lam Dong

*Email: thanhngadhsply@gmail.com

SUMMARY

MEASUREMENTS OF GAMMA RADIATION IN THE ENVIRONMENT AT SEVERAL SOUTHERN PROVINCES VIET NAM

Evaluating radionuclides activity in the environment is useful in monitoring human health problems. Radiological aspects of water, soil, and plant in several southern provinces of Vietnam were investigated to present background information about the radiological levels and assess the associated hazards. The research results are intended to contribute to the Vietnamese radioactive background database. Ninety-two environmental samples (28 water, 36 soil, and 28 plant samples) were collected in the year of 2022 and analyzed for ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra , and ^{137}Cs radionuclides by a High Pure Germanium Detector (HPGe De) low background gamma spectrometer system. The results show that the activity of radioisotopes in soil and plant samples at 06 monitoring points has not fluctuated between points and is equivalent to the values recorded in previous years. Besides, the radioactive isotope ^{40}K in water varies significantly due to salinity intrusion, other isotopes are consistent with the announced activity range (^{226}Ra in water has a lower value than Vietnam standards).

Keywords: radionuclides, environment, radioactivity

1. GIỚI THIỆU

Con người liên tục tiếp xúc với các bức xạ tự nhiên có trên trái đất kể từ khi được tạo ra. Kiến thức về sự phân bố hạt nhân phóng xạ và mức độ bức xạ trong môi trường là rất quan trọng để đánh giá tác động của việc phơi nhiễm bức xạ do cả hai nguồn phóng xạ tự nhiên và phóng xạ nhân tạo thử nghiệm trên mặt đất và ngoài trái đất. Phóng xạ tự nhiên (chuỗi ^{232}Th , chuỗi ^{238}U và ^{40}K , ...) lan rộng trong môi trường trái đất và tồn tại trong các thành phần địa chất khác nhau như đất, đá, thực vật, cát, nước và không khí [1]. Vì vậy sau khi tiếp xúc với bức xạ, sức khỏe con người sẽ bị ảnh hưởng theo từng mức độ và để lại những hậu quả

tức thời hoặc lâu dài, chẳng hạn như phơi nhiễm Thorium có thể gây ung thư phổi, tuyến tụy, gan, xương, thận và bệnh bạch hầu [2-3]. Do đó, ngày nay, việc con người tiếp xúc với bức xạ ion hóa là một trong những chủ đề khoa học thu hút sự chú ý của công chúng, vì bức xạ có nguồn gốc tự nhiên đóng góp phần lớn tổng lượng phơi nhiễm bức xạ của con người [4].

Ngày nay, nhiều nhà máy điện hạt nhân cỡ lớn (nằm ngay trên hướng gió mùa Đông Bắc thổi vào Việt Nam) được đưa vào hoạt động ở vùng Nam Trung Quốc và Đài Loan [5], việc quan trắc phóng xạ môi trường và diễn biến không gian, thời gian của chúng là đặc biệt cần thiết để kịp thời phát hiện

các biến động, hình thành bộ khung số liệu về nền phóng xạ môi trường Việt Nam làm cơ sở cho luận chứng đánh giá tác động môi trường và đánh giá liều bức xạ dân chúng.

Hoạt độ các đồng vị phóng xạ khác nhau trong đất, nước, thực vật đóng vai trò thiết yếu đối với sức khỏe cộng đồng và môi trường [6-10]. Do đó việc xác định, định lượng, mô tả đặc điểm của mức hàm lượng, kết quả liều hiệu dụng, tác động bất lợi, rủi ro phóng xạ tiềm ẩn là quan trọng [11-12]. Mặt khác, sự xuất hiện của các hạt nhân phóng xạ

trong nước sông, hồ dẫn đến phơi nhiễm bên trong và bên ngoài, trực tiếp thông qua sự phân rã của các hạt nhân phóng xạ được đưa vào cơ thể thông qua đường ăn uống và hít thở và gián tiếp khi chúng được kết hợp như một phần vào chuỗi thức ăn [13].

Trọng tâm chính của nghiên cứu này là xác định hoạt độ của các đồng vị (^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{137}Cs và ^{40}K) trong các mẫu môi trường tại một số tỉnh phía Nam Việt Nam. Từ đó cung cấp bộ dữ liệu vào hệ thống quan trắc môi trường Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thu gộp và xử lý

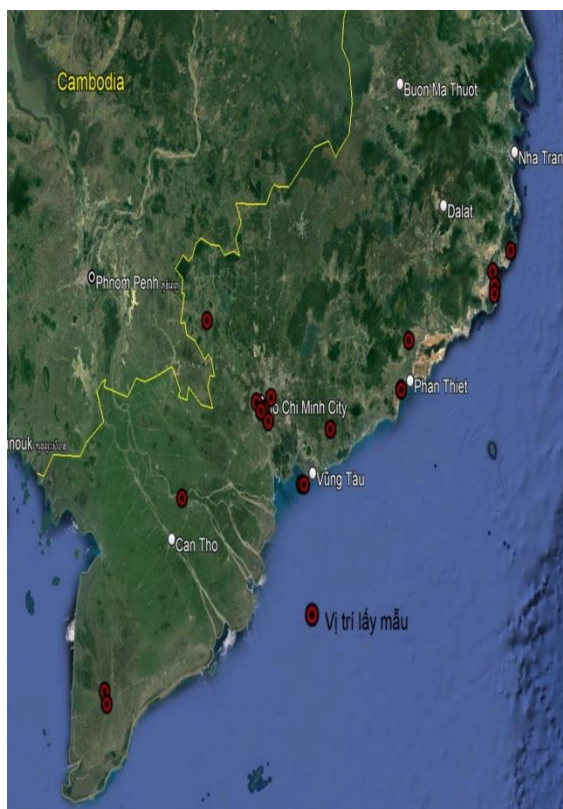
Tổng cộng có 92 mẫu gồm 28 mẫu nước, 36 mẫu đất và 28 mẫu thực vật được thu gộp tại các tỉnh: Ninh Thuận, Tây Ninh, Bình Thuận, Thành phố Hồ Chí Minh, Vũng Tàu, Tiền Giang và Cà Mau (Hình 1).

+ 28 mẫu nước (ao hồ, sông) được lấy ở độ sâu 10 – 30 cm so với mặt nước, không khuấy động mạnh để tránh bùn đất nhiễm bẩn vào mẫu, thể tích mẫu 200 lít. Mẫu lấy được cho vào bình và đậy nắp kín. Sau khi đưa về dạng tủa rắn, mẫu được bảo quản trong hộp polyetylen.

+ 36 mẫu đất bề mặt được lấy ở độ sâu 0 - 5 cm, khối lượng thu gộp khoảng từ 2 – 4 kg/mẫu, đóng gói bằng túi polyethylene 2 lớp, đánh dấu mẫu rồi chuyển về phòng thí nghiệm. Tại phòng thí nghiệm, mẫu được để ngoài không khí 5 ngày để khô hoàn toàn, sau đó nghiền nhỏ, sàng lọc để thu được mẫu đồng nhất nhằm ngăn ngừa hiện tượng tự suy giảm và cho mẫu vào túi nylon.

+ 28 mẫu thực vật được thu gộp là cây họ lá kim (lá thông). Trọng lượng mẫu cần thu gộp khoảng 2 – 4 kg tươi/mẫu. Mẫu được đựng vào túi polyethylene đã đánh dấu và chuyển về phòng thí nghiệm [14-16].

Thông tin thu gộp mẫu được trình bày ở Bảng 1



Hình 1. Vị trí lấy mẫu tại Ninh Thuận, Tây Ninh, Bình Thuận, Thành phố Hồ Chí Minh, Vũng Tàu, Tiền Giang và Cà Mau

Bảng 1. Thông tin thu gộp mẫu

Vị trí thu gộp	Đối tượng mẫu	Tọa độ thu gộp mẫu		Tần suất	Số lượng mẫu
		Vĩ độ	Kinh độ		
Ninh Thuận	Đất bề mặt	11°40'32''N; 11°25'26''N	109°10'30''E; 109°00'04''E	Hàng quý	8 mẫu/năm
	Nước sông	11°33'19''N	108°59'18'' E	Hàng quý	

Vị trí thu góp	Đối tượng mẫu	Tọa độ thu góp mẫu		Tần suất	Số lượng mẫu
		Vĩ độ	Kinh độ		
	Thực vật	11° 28'25"N	109° 0'30"E		4 mẫu/năm/loại
Tp. Hồ Chí Minh	Đất bề mặt	10°50'54"N;	106°46'19"E;	Hàng quý	12 mẫu/năm
		10°49'26"N;	106°37'39"E;		
		10°46'23"N	106°40'22"E		
	Nước hồ	10°46'23"N;	106°40'22"E;	Hàng quý	8 mẫu/năm
		10°42'47"N	106°44'42"E		
	Thực vật	10° 47'N	106° 42'E	Hàng quý	4 mẫu/năm
Bình Thuận	Đất bề mặt	10°53'10" N	108°03'26"E	Hàng quý	4 mẫu/năm/loại
	Nước hồ	11°09'53" N	108°08'24"E		
	Thực vật	10° 52'50"N	108°03'35"E		
Vũng Tàu	Đất bề mặt	10°21'06" N	107°04'15"E	Hàng quý	4 mẫu/năm/loại
	Nước hồ	10°39'47" N	107°21'26"E		
	Thực vật	10°21'01"N	107°05'48"E		
Cà Mau	Đất bề mặt	09°11'10" N	105°08'05"E	Hàng quý	4 mẫu/năm/loại
	Nước sông	09°06'50" N	105°09'21" E		
	Thực vật	9°11'10"N	105°08'05" E		
Tây Ninh	Đất bề mặt	11°17'47" N	106°08'08"E	Hàng quý	4 mẫu/năm/loại
	Thực vật	11°17'47" N	106°08'08"E		
Tiền Giang	Nước sông	10°16'47" N	105°53'37" E	Hàng quý	4 mẫu/năm

2.2. Phương pháp

Phương pháp phân tích phóng xạ với hệ phổ kế gamma phòng thấp là phương pháp truyền thống được sử dụng để xác định các đồng vị phóng xạ tự nhiên mức thấp. Các bức xạ gamma tương tác với vật chất detector bán dẫn tạo ra tín hiệu được khuếch đại và xác định như là các xung dòng. Độ lớn của xung liên quan trực tiếp và tỉ lệ năng lượng hấp thụ. Từ dạng xung chuyển sang dạng số nhờ bộ biến đổi ADC. Bằng cách phân biệt giữa độ lớn xung, phổ gamma được ghi nhận. Phân tích phổ để xác định các đỉnh khác nhau thuộc về các đồng vị phát gamma, từ đó tính toán hoạt độ riêng của các đồng vị có trong mẫu đo dựa trên các mẫu chuẩn đã biết trước hoạt độ [17-19].

Mẫu sau xử lý được đo trên hệ phổ kế gamma phòng thấp. Hệ phổ kế dùng detector bán dẫn siêu tinh khiết (GX-3019) có thể tích nhạy cỡ 138 cm³, hiệu suất ghi tương đối 30%, tỉ số *peak/compton* 56, độ phân giải 1,90 keV tại 1332 keV của Co-60. Detector được đặt trong buồng giảm nhiễu hình trụ, có đường kính trong bằng 30 cm, đường kính ngoài bằng 50 cm, cao 55 cm; với các lớp che

chắn (tính từ trong), gồm 3 mm Al, 3 mm Cu và 10 cm Pb siêu sạch phóng xạ, phòng tích phân của hệ thống từ 100-2000 KeV cỡ 2,1 xung/giây.

Giới hạn phát hiện thấp nhất của ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, và ¹³⁷Cs trong mẫu đất lần lượt là: 1,9; 0,3; 0,3 và 0,08 Bq/kg khô, tương ứng [17].

Giới hạn phát hiện thấp nhất của ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra và ¹³⁷Cs trong mẫu nước lần lượt là: 30; 0,5; 0,8; 0,7 và 0,2 Bq/m³, tương ứng [18].

Giới hạn phát hiện thấp nhất của ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra và ¹³⁷Cs trong mẫu thực vật lần lượt là: 0,3; 0,02; 0,04; 0,03 và 0,01 Bq/kg tươi [19].

2.3. Công tác QA/QC

Độ đúng và độ chính xác của phép phân tích được thực hiện bằng cách phân tích các mẫu so sánh quốc tế IAEA-RML-2021-01 do IAEA tổ chức đối với đồng vị ¹³⁴Cs và ¹³⁷Cs, mẫu IAEA-Soil-6 cho đồng vị ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs và phân tích mẫu lặp. Kết quả phân tích các mẫu tham chiếu tương ứng với các giá trị được chứng nhận. Kết quả QC thể hiện trong Bảng 2 cho thấy độ lệch thấp hơn 10%.

Bảng 2. Kết quả đánh giá QA/QC

Mẫu	Đồng vị	Kết quả phòng thí nghiệm (Bq/kg)	Giá trị phê chuẩn (Bq/kg)	Độ lệch (%)
IAEA-RML-2021-01 (Nước biển)	Cs-134	0,577 ± 0,057	0,569 ± 0,003	1,41
	Cs-137	1,022 ± 0,101	0,914 ± 0,007	11,82
IAEA- Soil-6 (Đất)	Ra-226	78,2 ± 9,6	79,92	- 2,15
	Cs-137	51,7 ± 6,1	53,65	-3,63

Kết quả đánh giá độ chụm mẫu lập phương pháp phòng thí nghiệm đối với mẫu lá thông Đà Lạt tháng 05/2022 như sau: sau 2 lần phân tích, giá trị hoạt độ trung bình và độ lệch tương đối của các đồng vị K-40, Th-232, U-238, Ra-226 và Cs-137 lần lượt là 54,1 Bq/kg và 3,3%; 1,54 và 8,7%; 0,37 và 12,5%; 0,58 và 14,5%; 0,90 và 7,8%, tương ứng. Kết quả phân tích các mẫu có độ lệch < 20%, có độ đúng và độ chính xác được chấp nhận.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả

Kết quả dải hoạt độ phóng xạ và giá trị hoạt độ trung bình của các đồng vị ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra và ^{137}Cs trong mẫu thực vật, đất và nước tại các tỉnh: Thành phố Hồ Chí Minh, Cà Mau, Tây Ninh, Tiền Giang, Vũng Tàu, Bình Thuận và Ninh Thuận được trình bày tại Bảng 3, 4 và 5.

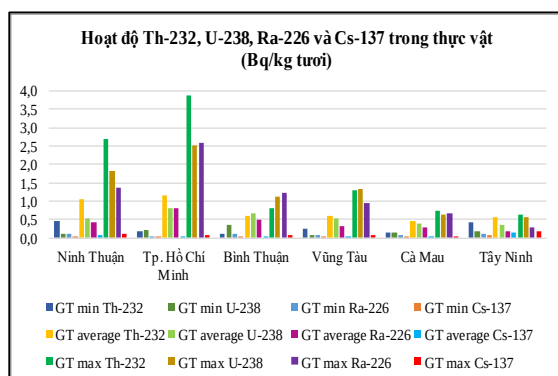
Bảng 3. Dải hoạt độ và giá trị trung bình các đồng vị phóng xạ trong thực vật tại 6 tỉnh.

Tỉnh/thành phố	Hoạt độ đồng vị phóng xạ trong thực vật (Bq/kg tươi)				
	^{40}K	^{232}Th	^{238}U	^{226}Ra	^{137}Cs
Ninh Thuận	56,5 ÷ 102	0,46 ÷ 2,7	0,12 ÷ 1,82	0,10 ÷ 1,35	0,03 ÷ 0,12
	77,1	1,05	0,53	0,42	0,06
Tp. Hồ Chí Minh	45,4 ÷ 108	0,19 ÷ 3,88	0,2 ÷ 2,5	0,05 ÷ 2,59	0,04 ÷ 0,07
	86,3	1,14	0,80	0,80	0,05
Bình Thuận	74,4 ÷ 81,4	0,12 ÷ 0,82	0,36 ÷ 1,12	0,10 ÷ 1,21	0,02 ÷ 0,07
	76,7	0,58	0,67	0,49	0,05
Vũng Tàu	71,6 ÷ 102	0,26 ÷ 1,29	0,07 ÷ 1,32	0,08 ÷ 0,95	0,03 ÷ 0,06
	88,3	0,60	0,53	0,33	0,04
Cà Mau	58,9 ÷ 105	0,14 ÷ 0,74	0,16 ÷ 0,63	0,08 ÷ 0,66	0,04 ÷ 0,05
	75,7	0,45	0,40	0,28	0,05
Tây Ninh	45,3 ÷ 100	0,41 ÷ 0,62	0,17 ÷ 0,57	0,10 ÷ 0,28	0,09 ÷ 0,19
	73,9	0,56	0,35	0,17	0,14

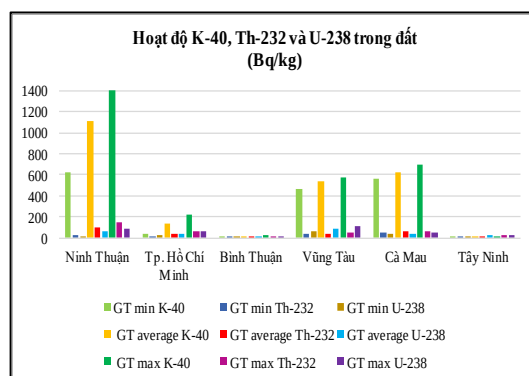
Bảng 4. Dải hoạt độ và giá trị trung bình các đồng vị phóng xạ trong đất tại 6 tỉnh.

Tỉnh/thành phố	Hoạt độ đồng vị phóng xạ trong đất (Bq/kg khô)			
	^{40}K	^{232}Th	^{238}U	^{137}Cs
Ninh Thuận	620 ÷ 1430	29,8 ÷ 154	18,3 ÷ 86,8	0,34 ÷ 1,52
	1111	101	65,7	0,97
Tp. Hồ Chí Minh	38,0 ÷ 223	16,2 ÷ 58,0	22,1 ÷ 64,3	0,23 ÷ 0,83
	135	33,9	33,4	0,45
Bình Thuận	12,0 ÷ 21,1	8,6 ÷ 14,4	11,7 ÷ 13,4	0,07 ÷ 0,73
	17,0	11,7	12,8	0,29
Vũng Tàu	461 ÷ 570	35,6 ÷ 47,6	58,4 ÷ 112	0,43 ÷ 0,97
	535	40,5	81,5	0,65
Cà Mau	560 ÷ 701	49,7 ÷ 66,2	33,2 ÷ 47,7	0,28 ÷ 0,84
	621	58,5	41,4	0,56
Tây Ninh	10,2 ÷ 14,3	15,6 ÷ 23,1	17,8 ÷ 25,1	0,21 ÷ 0,61

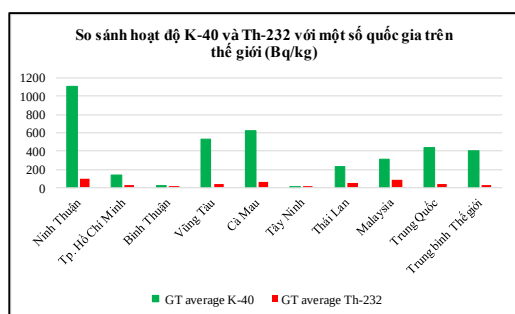
	11,8	18,5	22,7	0,46	
Bảng 5. Dải hoạt độ và giá trị trung bình các đồng vị phóng xạ trong nước tại 6 tỉnh.					
Tỉnh/thành phố	Hoạt độ đồng vị phóng xạ trong nước (mBq/L)				
	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U	²²⁶ Ra	¹³⁷ Cs
Ninh Thuận	62 ÷ 155	4,2 ÷ 17,6	4,1 ÷ 10,5	1,9 ÷ 9,6	0,25 ÷ 0,45
	116	10,4	6,9	6,3	0,33
Tp. Hồ Chí Minh	93 ÷ 1023	0,7 ÷ 7,7	1,1 ÷ 4,2	0,8 ÷ 2,9	0,10 ÷ 1,0
	289	3,2	2,5	1,5	0,33
Bình Thuận	62 ÷ 93	2,0 ÷ 3,1	2,0 ÷ 3,4	1,0 ÷ 1,6	0,10 ÷ 0,20
	69,8	2,6	2,4	1,3	0,15
Vũng Tàu	155 ÷ 186	1,1 ÷ 6,6	0,8 ÷ 3,5	0,5 ÷ 3,3	0,10 ÷ 0,38
	178	3,6	2,2	2,0	0,24
Cà Mau	1860 ÷ 7905	6,7 ÷ 49,6	7,9 ÷ 17,0	4,1 ÷ 14,4	0,28 ÷ 0,99
	4046	23,1	11,4	8,3	0,58
Tiền Giang	62 ÷ 217	1,1 ÷ 13,0	1,2 ÷ 12,0	1,4 ÷ 11,0	0,10 ÷ 0,30
	116	5,8	5,2	4,3	0,15



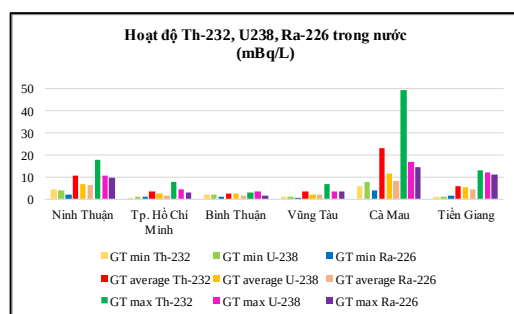
Hình 2. Hoạt độ ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U trong đất tại 6 tỉnh



Hình 3. Hoạt độ ²³²Th, ²³⁸U, ²²⁶Ra, ¹³⁷Cs trong thực vật tại 6 tỉnh



Hình 4. Hoạt độ ²³²Th, ²³⁸U, ²²⁶Ra trong nước tại 6 tỉnh



Hình 5. So sánh hoạt độ ⁴⁰K, ²³²Th với một số quốc gia khác

3.2. Thảo luận

Năm 2022, giá trị hoạt độ phóng xạ trung bình U và Th (Bq/kg khô) trong đất tại Ninh Thuận (U:

65,7 ± 24,1), (Th: 101 ± 26), Vũng Tàu (U: 81,5 ± 22,3), (Th: 40,5 ± 5,8) và Cà Mau (u: 41,4 ± 6,1), (Th: 58,5 ± 6,8) lớn hơn ở Tp. Hồ Chí Minh (U:

33,4 ± 8,1), (Th: 33,9 ± 6,1), Tây Ninh (U: 22,7 ± 3,3), (Th: 18,5 ± 3,3), Bình Thuận (U: 12,8 ± 0,8), (Th: 18,5 ± 2,6) khá rõ, gấp khoảng 2,3 và 2,8 lần tương ứng với U và Th. Hoạt độ ^{40}K trong đất ở Ninh Thuận ($620 \pm 35 \div 1430 \pm 35$), Vũng Tàu ($461 \pm 23 \div 570 \pm 28$) và Cà Mau ($560 \pm 21 \div 701 \pm 18$) lớn hơn 10,6 lần hoạt độ ^{40}K trong đất ở Bình Thuận ($12 \pm 1 \div 21 \pm 1$), Tp. Hồ Chí Minh ($38 \pm 5 \div 223 \pm 12$), và Tây Ninh ($10 \pm 1 \div 14 \pm 1$). Điều này là do các mẫu đất lấy tại các tỉnh có thành phần, đặc điểm và loại đất khác nhau. Đồng vị ^{137}Cs trong đất bề mặt ở Vũng Tàu và Ninh Thuận cao hơn ở các tỉnh khác.

Mặc dù hoạt độ của các đồng vị phóng xạ có sự khác biệt lớn giữa các vùng, so với các dữ liệu quan trắc các năm trước, hoạt độ của các đồng vị phóng xạ trong mẫu đất tại điểm quan trắc không thấy biểu hiện tăng giảm mạnh [20].

Hoạt độ riêng ^{40}K trong nước sông tại Cà Mau (dải hoạt độ $1860 \div 7905$, giá trị trung bình là 4046, mBq/L) là rất lớn so với các vị trí quan trắc khác. Điều này được giải thích có sự xâm nhập mặn (độ muối 4,7÷27,8‰). Hoạt độ riêng ^{40}K trong nước sông tại Tp. Hồ Chí Minh vào tháng 02/2022 xấp xỉ (0,97 lần) so với giới hạn trong QCVN 08-MT:2015/BTNMT, do có sự xâm nhập mặn (độ muối: 3,3 ‰).

Các thông số ^{232}Th , ^{238}U , ^{226}Ra tại Tp. Hồ Chí Minh, Ninh Thuận, Bình Thuận, Vũng Tàu, Cà Mau và Tiền Giang phù hợp với dải hoạt độ phóng xạ của nước bề mặt. Hoạt độ ^{238}U , ^{226}Ra trong nước sông tại Cà Mau cao hơn so với các vị trí quan trắc khác khoảng từ 2,6 ÷ 3,2 lần. Thông số ^{232}Th trong nước sông tại Ninh Thuận vào tháng 08 và tháng 11/2022 có sự tăng cao hơn khoảng 3,2 lần so với các tháng 02 và 05/2022, điều này được giải thích là do độ đục của nước vào thời điểm lấy mẫu lớn.

Thông số phóng xạ đáng quan ngại nhất trong nước sinh hoạt là ^{226}Ra , tuy nhiên, ở đây vẫn còn thấp xa (khoảng 10 ÷ 100 lần) so với hoạt độ cho phép ^{226}Ra trong nước uống theo TCVN-4397-87 (0,37 Bq/L).

Kết quả về hoạt độ các đồng vị phóng xạ tự nhiên (K, Th, U và Ra) trong thực vật ở 06 tỉnh nhìn

chung không có khác biệt so với các năm trước và phù hợp với các giá trị tham chiếu trong UNSCEAR [1, 20].

KẾT LUẬN

Đo hoạt độ các chất phóng xạ trong môi trường đã thu hút được sự quan tâm rộng rãi của các nhà nghiên cứu trong nước và trên thế giới. Trong báo cáo này, hoạt độ các nguyên tố phóng xạ trong đất, nước và thực vật có hoạt độ phù hợp và tương đương với các kết quả đã quan trắc và được ghi nhận ở các năm trước. Bên cạnh đó, hoạt độ hạt nhân phóng xạ trung bình cũng được so sánh với các giới hạn tiêu chuẩn quốc tế của UNSCEAR, ICRP, WHO và các tiêu chuẩn, quy chuẩn Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] UNSCEAR 2000. 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. In *UNSCEAR 2000 report* (Vol. I).
- [2] Taskin, H., Karavus, M., Ay, P., Topuzoglu, A., Hidiroglu, S., & Karahan, (2009). Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, **100**(1), 49-53.
- [3] Qureshi, A. A., Tariq, S., Din, K. U., Manzoor, S., Calligaris, C., & Waheed, A, (2014). Evaluation of excessive lifetime cancer risk due to natural radioactivity in the rivers sediments of Northern Pakistan. *Journal Radiation Research and Applied Science*, **7**(4), 438–447.
- [4] Kohn, H. I, (1989). Sources, effects, and risks of ionizing radiation. *Radiation Research*, **120**(1), 187.
- [5] Nguyễn Trọng Ngo, Báo cáo tổng kết Đề tài cấp Nhà nước, Đánh giá hiện trạng phóng xạ môi trường biển Việt Nam, nghiên cứu khả năng phát tán và ảnh hưởng phóng xạ từ các nhà máy điện hạt nhân đang vận hành gần lãnh thổ Việt Nam (Mã số: KC.05.17/16-20).

- [6] Anamika, K., & Mehra RMalik, P, (2020). Assessment of radiological impacts of natural radionuclides and radon exhalation rate measured in the soil samples of Himalayan foothills of Uttarakhand, India. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **323** (1), 263–274.
- [7] Collignan, B., & Powaga, E, (2019). Impact of ventilation systems and energy savings in a building on the mechanisms governing the indoor radon activity concentration. *Journal of Environmental Radioactivity*, **196**, 268–273.
- [8] Desideri, D., Battisti, P., Giardina, I., Roselli, C., Feduzi, L., et al., (2019). Assessment of radioactivity in Italian baby food. *Food Chemistry*, **279**, 408–415.
- [9] Kim, S., Min, B.-I., Park, K., Yang, B.-M., Kim, J., et al., (2018). Evaluation of radionuclide concentration in agricultural food produced in Fukushima prefecture following Fukushima accident using a terrestrial food chain model. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **316**(3), 1091–1098.
- [10] Querfeld, R., Pasi, A.-E., Shozugawa, K., Vockenhuber, C., Synal, H.-A., et al., (2019). Radionuclides in surface waters around the damaged Fukushima Daiichi NPP one month after the accident: Evidence of significant tritium release into the environment. *The Science of the Total Environment*, **689**, 451–456.
- [11] Alina Kabata-Pendias, (2010). *Trace Elements in Soils and Plants. Chapter 4*. Pub. Location: Boca Raton.
- [12] Ken Sexton, Michael A. Callahan, and Elizabeth F. Bryan, (1995). Estimating Exposure and Dose to Characterize Health Risks: The Role of Human Tissue Monitoring in Exposure Assessment. *Human Tissue Monitoring and Specimen Banking*, **103**(Suppl 3), 13-29.
- [13] Reimann, C., & Banks, D, (2004). Setting action levels for drinking water: Are we protecting our health or our economy (or our backs!)? *Science of the Total Environment*, **332**(1-3), 13-21.
- [14] Thông tư số 24/2017/TT-BTNMT ngày 01 tháng 09 năm 2017 của Bộ Tài nguyên và Môi trường về “Quy định kỹ thuật quan trắc môi trường”.
- [15] States, U., & Radiation, N. A, (October 2019). *High resolution gamma-ray spectrometry analyses for normal operations and radiological incident response*.
- [16] Ibikunle, S. B., Arogunjo, A. M., & Ajayi, O. S., (2019). Characterization of radiation dose and soil-to-plant transfer factor of natural radionuclides in some cities from southwestern Nigeria and its effect on man. *Scientific African*, **3**, Article e00062.
- [17] TCCS-ĐT-07:2017: Phóng xạ trong đất, trầm tích - Xác định đồng thời hoạt độ các đồng vị ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{210}Pb , ^{228}Th , ^{232}Th
- TCCS-NN-13:2017: Phóng xạ trong nước ngọt - Xác định đồng thời hoạt độ các đồng vị ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{210}Pb , ^{228}Th , ^{232}Th
- [18] TCCS-TV-18:2021: Phóng xạ trong thực vật - Xác định đồng thời hoạt độ các đồng vị ^7Be , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{210}Pb , ^{228}Th , ^{232}Th
- [19] Lê Như Siêu, Viện Nghiên cứu hạt nhân, Báo cáo tổng kết Nhiệm vụ cấp Bộ thường niên về Bảo vệ môi trường: Quan trắc và phân tích phóng xạ môi trường tại: Đà Lạt; Ninh Thuận; Tp. Hồ Chí Minh; Bình Thuận; Vũng Tàu; Cà Mau; Tây Ninh và quan trắc, phân tích phóng xạ nước Sông Tiền tại Bắc Mỹ Thuận., từ năm 2018 đến năm 2021.