

## Đặc điểm nồng độ radon trong môi trường hang động karst khu vực Cao nguyên đá Đồng Văn

Nguyễn Thùy Dương<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Văn Hướng<sup>1</sup>, Arndt Schimmelmann<sup>2</sup>,  
Nguyễn Thị Ánh Nguyệt<sup>1</sup>, Đặng Thị Phương Thảo<sup>1</sup>, Tạ Hòa Phương<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Khoa Địa Chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,  
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Indiana, Hoa Kỳ

Nhận ngày 26 tháng 5 năm 2016

Chỉnh sửa ngày 27 tháng 6 năm 2016; Chấp nhận đăng ngày 28 tháng 10 năm 2016

**Tóm tắt:** Các hang động karst vùng Cao nguyên đá Đồng Văn được người dân địa phương sử dụng vào nhiều mục đích khác nhau. Hang Rồng lưu trữ và cung cấp nước sinh hoạt; hang Pải Lũng thu nước và cung cấp nước cho sản xuất nông nghiệp theo mùa; và hang Nà Luông khai thác du lịch. Nồng độ radon ( $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$ ) được xác định bằng thiết bị cầm tay quang phổ alpha (SARAD<sup>®</sup> RTM 2200, SARAD<sup>®</sup>GmbH, CHLB Đức), trong khoảng thời gian từ tháng 5/2015 đến tháng 3/2016. Thời gian khảo sát được phân chia thành “mùa nóng” và “mùa lạnh” dựa vào biến động nhiệt độ môi trường. Hang Rồng có nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$  cao nhất vào “mùa nóng” (tương ứng giá trị  $5956 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $1081 \text{ Bq m}^{-3}$ ) và thấp nhất vào “mùa lạnh” (tương ứng giá trị  $206 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $74 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Hang Pải Lũng và Nà Luông có nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  ( $1873 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $569 \text{ Bq m}^{-3}$ , tương ứng) và  $^{220}\text{Rn}$  ( $465 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $452 \text{ Bq m}^{-3}$ , tương ứng) vào “mùa nóng” thấp hơn so với hang Rồng do có sự lưu thông không khí tốt hơn. Đối sánh với tiêu chuẩn Việt Nam về an toàn phóng xạ (TCVN 9413:2012) cho môi trường làm việc trong nhà (mức hành động  $^{222}\text{Rn} > 300 \text{ Bq m}^{-3}$ ), có thể thấy rằng nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  trong hang Rồng và Pải Lũng vào “mùa nóng” cao hơn gấp 6 đến 20 lần giới hạn mức hành động. Nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  trong hang Rồng “mùa lạnh” tương đương với mức khuyến cáo của tiêu chuẩn ( $200 \text{ Bq m}^{-3}$ ). Hiện nay, tiêu chuẩn an toàn phóng xạ đối với đồng vị  $^{220}\text{Rn}$  (thoron) chưa được công bố chính thức trên Thế giới cũng như ở Việt Nam, nhưng so với nồng độ trung bình thoron trong không khí ( $< 10 \text{ Bq m}^{-3}$  (UNSCEAR, 1993)) thì nồng độ thoron trong các hang động kể trên cần được quan tâm nghiên cứu và cảnh báo rủi ro về an toàn phóng xạ.

*Từ khóa:* Nồng độ radon, thoron, hang động karst, phóng xạ, Đồng Văn.

### 1. Mở đầu

Trong tự nhiên, radon tồn tại ở dạng khí, có 3 đồng vị phóng xạ gồm  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  và  $^{219}\text{Rn}$ , là các sản phẩm phân rã trung gian ở dạng khí của dãy phóng xạ urani ( $^{238}\text{U}$ ), thori ( $^{232}\text{Th}$ ) và actini

( $^{227}\text{Ac}$ ). Khí radon và các sản phẩm phân rã con, gồm các nguyên tố poloni (Po), bismuth (Bi), tali (Tl) và chì (Pb), là các thành phần có tính hoạt động cao và có khả năng phát xạ năng lượng từ quá trình phân rã alpha. Ở trạng thái khí, radon có thể phát tán vào môi trường không khí, dễ dàng đi vào cơ thể con người qua đường hô hấp nếu được tiếp xúc; từ đó đi vào phổi và máu đồng thời phát

\* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-912109555  
Email: duongnt\_minerals@vnu.edu.vn

xạ năng lượng phóng xạ ngay bên trong cơ thể người, tác động trực tiếp đến các mô và tế bào sống. Theo thống kê của Hiệp hội Hạt nhân Thế giới [1], ảnh hưởng của bức xạ phóng xạ radon là nguyên nhân chính gây ra các loại ung thư (phổi, máu và bạch huyết) và đứng hàng thứ 2 sau thuốc lá.

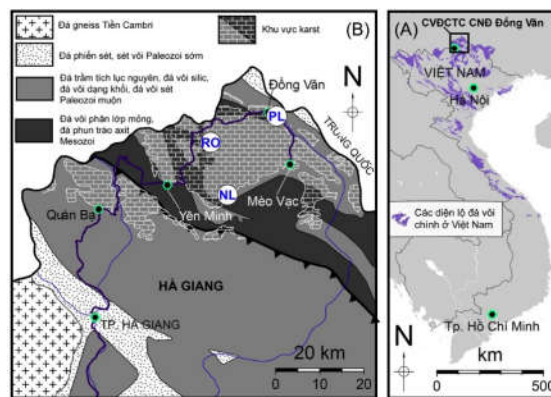
Radon có thể tồn tại trong nhiều vật liệu có thành phần và tính chất khác nhau, từ đó khuếch tán vào môi trường không khí, với nồng độ trung bình của  $^{222}\text{Rn}$  dao động từ  $1 \text{ Bq m}^{-3}$  đến  $100 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $^{220}\text{Rn} \sim 10 \text{ Bq m}^{-3}$  (đồng vị  $^{219}\text{Rn}$  thường không được xét đến trong môi trường không khí vì chu kỳ bán rã rất ngắn,  $\sim 4$  giây) [2]. Trong các không gian kín, không khí lưu thông kém, như hầm lò và hang động, radon có thể tập trung với nồng độ cao đến rất cao, có khả năng gây hại cho người tiếp xúc [3-9].

Hiện nay, nhiều nước trên Thế giới đã có hướng dẫn cảnh báo phơi nhiễm radon trong môi trường làm việc kín, tuy nhiên cho đến nay, ở Việt Nam chưa có nghiên cứu nào đề cập đến sự phát xạ cũng như cảnh báo về nguy cơ gây hại của khí radon đối với người lao động và khách du lịch trong các hang động karst. Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định nồng độ radon theo mùa của một số hang động karst đang được sử dụng cho mục đích lao động sản xuất của người dân địa phương và khai thác du lịch tại Cao nguyên đá Đồng Văn, nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến sự phân bố radon và đối sánh với tiêu chuẩn về an toàn bức xạ phóng xạ.

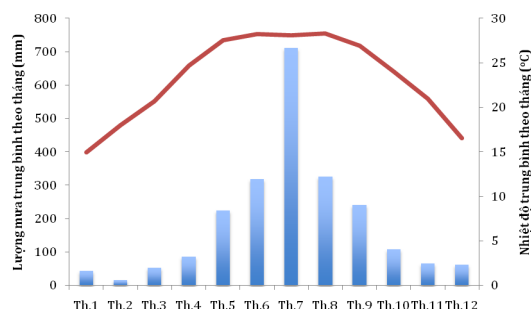
## 2. Các hang động karst khu vực cao nguyên đá Đồng Văn

Cao nguyên đá Đồng Văn là tên thường gọi của Công viên địa chất toàn cầu Cao nguyên đá Đồng Văn, gồm toàn bộ 4 huyện miền núi của tỉnh Hà Giang: Quản Bạ, Yên Minh, Đồng Văn và Mèo Vạc. Nơi đây nổi tiếng có địa hình karst hiểm trở, bị chia cắt mạnh với nhiều hệ thống hang động và thung lũng sâu. Trên diện tích với hơn 80% là đá vôi, Cao nguyên đá Đồng Văn được hình thành từ các thành tạo đá tuổi Paleozoi và Mesozoi. Trong đó, các thành tạo có tuổi

Paleozoi muộn chiếm ưu thế, hình thành nên phần lớn các hang động, như các đá vôi dạng khối, đá vôi trứng cá phân lớp dày đến trung bình, đá sét vôi thuộc hệ tầng Bắc Sơn (C-P<sub>2</sub> bs) [10; 11] (Hình 1).



Hình 1. (A) Sơ đồ phân bố các diện lộ đá vôi chủ yếu ở Việt Nam [11]; (B) Sơ đồ địa chất Cao nguyên đá Đồng Văn và vị trí các hang nghiên cứu nồng độ radon (RO: hang Rồng; PL: hang Pải Lũng; NL: hang Nà Luông).



Hình 2. Nhiệt độ và lượng mưa trung bình theo tháng của tỉnh Hà Giang giai đoạn 2010 - 2014 [12].

Cao nguyên đá Đồng Văn có điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa của miền núi cao, với nhiệt độ trung bình cả năm khoảng  $21,6 - 23,9^{\circ}\text{C}$ ; tổng lượng mưa bình quân hàng năm  $2300 - 2400 \text{ mm}$  (tập trung chính vào các tháng từ 5 đến 10) (Hình 2). Độ ẩm trung bình trong năm dao động không lớn, do vậy ranh giới giữa mùa khô và mùa mưa không rõ rệt, tuy nhiên độ ẩm không khí cao thường trùng vào các tháng có nhiệt độ cao, hay còn gọi là mùa “nóng”, cao nhất vào các tháng 6, 7 và 8; tương tự, độ ẩm không khí thấp hơn

thường ở các tháng có nhiệt độ thấp, mùa “lạnh”, thấp nhất vào các tháng 1, 2 và 3 [12].

Hiện nay, Cao nguyên đá Đồng Văn có khoảng hơn 100 hang động karst đã được phát hiện và khảo sát, lập sơ đồ chi tiết [13, 14]. Trong số đó, bên cạnh các hang động được người dân địa phương sử dụng phục vụ cho sinh hoạt và sản xuất, nhiều hang động đã và đang được khai thác phát triển du lịch, tiêu biểu như Động Nguyện, hang Khố Mỹ, hang Lũng Khúy và hang Ong. Nghiên cứu lựa chọn 3 trong số các hang động đã được khai thác sử dụng theo mục đích kể trên, gồm hang Rông, hang Pải Lũng và hang Nà Luông với các đặc điểm như sau:

#### a. Hang Rông

Hang Rông, hay còn gọi là hang “giữ nước”, là nơi giữ nước để cung cấp nước sinh hoạt cho người dân địa phương xã Sảng Tủng, huyện Đồng Văn. Hang được hình thành trên các thành tạo đá vôi phân lớp mỏng, màu xám sáng hạt mịn của hệ tầng Hồng Ngòi ( $T_1 hn$ ) ở độ cao ~ 1440 m so với mực nước biển; có hình thái kéo dài phát triển theo phương  $170^\circ$  với chiều dài ~ 350m và chiều cao không gian trong hang 30 - 50 m (Hình 3(A)). Hang Rông là hang kín với một cửa vào nhỏ và các lối đi hẹp. Dọc theo chiều phát triển của hang tính từ cửa vào, quan sát thấy rõ hoạt động đứt gãy hiện đại thông qua các dấu vết trên mặt trượt đứt gãy bên trái lối đi, cách cửa hang ~ 150m, và hệ thống các khe nứt chạy song song. Nền hang được phủ một lớp trầm tích hạt mịn, chảy dẻo vào mùa “nóng” ẩm và khô nứt nẻ vào mùa “lạnh” khô. Phía cuối hang mở rộng thành một phòng hang rất rộng có diện tích ~ 350 m<sup>2</sup> với nền khá bằng phẳng; và phần trong cùng hang bị hạ thấp xuống hình thành một hồ chứa nước có diện tích ~ 150 m<sup>2</sup>. Nước trong hồ này được khai thác bằng máy bơm và cung cấp cho người dân địa phương sử dụng quanh năm, đặc biệt hữu ích vào thời gian khô hạn. Theo thông tin của Ủy ban Nhân dân xã Sảng Tủng, hiện nay có 4 người, chia thành 2 nhóm, lao động hàng ngày trong

hang để vận hành hệ thống bơm nước và bảo trì các thiết bị đi kèm.

#### b. Hang Pải Lũng

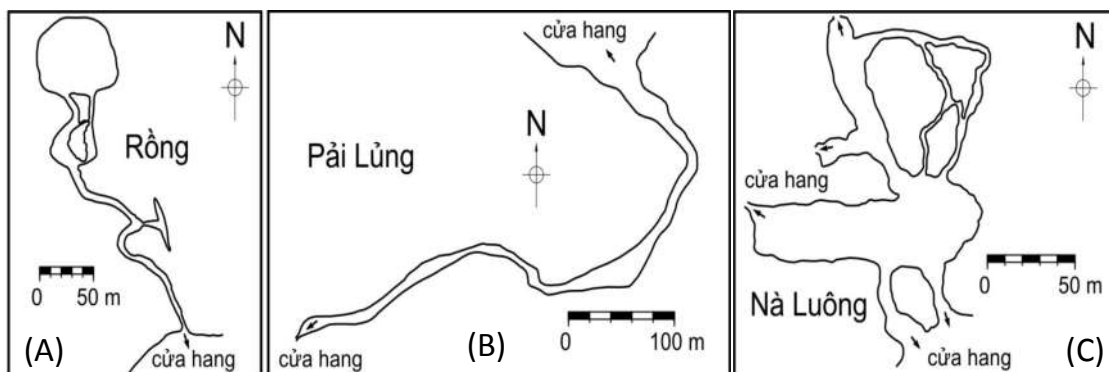
Hang Pải Lũng (hoặc hang Italia) là hang có nhiệm vụ “thu nước” vào các tháng mưa để cung cấp cho hoạt động sản xuất của người dân địa phương tại các thung lũng canh tác ở xã Pải Lũng, huyện Mèo Vạc. Hang được hình thành trên các đá vôi của hệ tầng Bắc Sơn ( $C-P_2 bs$ ), phân bố ở độ cao 1043 m so với mực nước biển, có chiều dài ~ 400m, chiều cao không gian trong hang ~ 5 - 50 m (Hình 3(B)). Theo hình dạng uốn lượn hẹp, hang có 1 cửa lớn và 1 cửa nhỏ kết nối với 1 dòng chảy ngầm karst ở khu vực. Nền hang cũng được phủ bởi lớp trầm tích tương đối dày, có nơi lên tới 0,5 m.

Khác với hang Rông, nước phục vụ sản xuất trong hang Pải Lũng chỉ xuất hiện vào mùa ‘nóng’ kèm theo mưa nhiều. Người dân địa phương tự do vào hang lấy nước ở cửa nhỏ kết nối với dòng chảy ngầm khi cần thiết và không có người làm việc cố định ở trong hang.

#### c. Hang Nà Luông

Hang Nà Luông là một trong các hang được khai thác du lịch đầu tiên ở huyện Yên Minh. Điểm đáng chú ý không chỉ ở hệ thống nhũ đá và măng đá độc đáo, mà trong lòng hang là nơi trú ngụ của hàng ngàn con dơi, sống thành bầy từ nhiều năm nay. Cửa chính của hang nằm ở độ cao 380m so với mực nước biển, trên sườn dốc 20-30°, được hình thành do hoạt động phá hủy của đứt gãy kiến tạo phương đông bắc - tây nam ( $230^\circ$ ), một trong các đứt gãy phân khối nội bộ cấu trúc, tạo khe hẻm dọc sông Nhiệm.

Nà Luông có không gian trong lòng hang tương đối rộng và cao, phần trung tâm có diện tích ~ 1000 m<sup>2</sup> và cao đến ~100m, gồm nhiều cửa vào và phân thành các nhánh đi vào trung tâm hang (Hình 3(C)). Hang Nà Luông nằm trong hệ thống hang động có các dòng nước karst ngầm của Cao nguyên đá Đồng Văn lưu thông và có điểm xuất lộ tại Nà Đé, Nà Luông, nơi được coi là thượng nguồn của sông Nhiệm.



Hình 3. Sơ đồ các hang karst nghiên cứu nồng độ radon.



Hình 4. Thiết bị di động hiện trường Sarad RTM<sup>®</sup> 2200 và Gaset DX-4030 FTIR.

### 3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trong 3 đợt thực địa từ tháng 5/2015 đến tháng 3/2016. Thời gian khảo sát cho mỗi đợt từ 8 - 12 ngày, với các thiết bị hiện trường từ trường Đại học Indiana (Hoa Kỳ).

#### a. Phương pháp xác định nồng độ radon

Nồng độ khí phóng xạ, khí đi kèm ( $\text{CO}_2$ ) và một số thông số môi trường (nhiệt độ, áp suất và độ ẩm,...) được xác định bằng thiết bị di động hiện trường quang phổ - alpha Sarad RTM<sup>®</sup> 2200 (CHLB Đức) (Hình 4). Khí phóng xạ radon được xác định bằng thiết bị gồm đồng vị  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$ , trong đó nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  được xác định dựa vào hàm lượng các sản phẩm phân rã con gồm có  $^{218}\text{Po}$  và  $^{214}\text{Po}$ ; còn nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  được xác định dựa vào hàm lượng  $^{216}\text{Po}$  và  $^{212}\text{Bi}/^{212}\text{Po}$ . Các điểm đo đều ở độ cao cách mặt đất  $\sim 1\text{m}$ , và được đo lặp lại tối thiểu 3 lần cho mỗi chu kỳ đo.

Khí  $\text{CO}_2$  được kiểm tra chéo bằng thiết bị di động hiện trường Gaset DX - 4030 FTIR (Phân Lan) (Hình 4) với độ chính xác là  $\pm 30 \text{ ppmv}$ .

#### b. Phương pháp xác định các yếu tố ảnh hưởng

Có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến nồng độ khí radon trong hang động, như nguồn phát xạ khí radon [4, 15], đặc điểm địa chất hang động (đất, đá cấu tạo hang, nền địa chất của hang, hệ thống đứt gãy, khe nứt) [16, 17, 18] và đặc điểm môi trường hang động (nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, sự lưu thông không khí) [17, 19, 20, 21, 22]. Trong nghiên cứu này, độ ẩm và nhiệt độ trong quá trình khảo sát các hang động được xác định tích hợp trong thiết bị Sarad RTM<sup>®</sup> 2200, đồng thời được đối chiếu với nhiệt kế môi trường. Sự lưu thông không khí trong hang động được biểu diễn bằng tốc độ gió, được xác định bằng máy đo gió điện tử (khi tốc độ gió  $> 0,1 \text{ m s}^{-1}$ ) hoặc bóng bay cân bằng được bơm đầy khí  $\text{H}_2$ , từ phản ứng kim loại calcium (Ca) tác dụng với nước ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Trầm tích phủ trong các hang được xác định thành phần

khoáng vật bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD - 5005) và thành phần hóa học bằng phương pháp huỳnh quang tia X (XRF - 1800 Shimadzu). Hàm lượng các khoáng vật trong trầm tích được tính toán theo số liệu của phương pháp XRD và XRF bằng phần mềm BGMN-Rievelde [23].

#### 4. Kết quả và thảo luận

##### a. Nồng độ radon trong các hang

Nồng độ radon ( $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$ ) được xác định trong các hang Ròng, Pải Lũng và Nà Luông trong khoảng thời gian từ tháng 5/2015 đến tháng 3/2016 được thể hiện trên Bảng 1. K.g ược xác định trong cả  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$  đã ợc xác định trong các hang Ròng, độ và độ ẩm không khí trong hang. Thời gian đo tháng 5 tương ứng với “mùa nóng”, còn tháng 12 và 3 tương c hang R“mùa l th” ùa l tháng 12 và 3 tương c hang RònVào “mùa nóng”, nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  trung bình trong không khí các hang đều cao hơn  $500 \text{ Bq m}^{-3}$ , trong đó hang Ròng có giá trị  $\sim 6000 \text{ Bq m}^{-3}$ , hang Pải Lũng có giá trị  $\sim 1900 \text{ Bq m}^{-3}$ , hang Nà Luông có giá trị  $\sim 570 \text{ Bq m}^{-3}$ . Nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  trung bình đều có giá trị cao hơn  $400 \text{ Bq m}^{-3}$ , trong đó hang Ròng có giá trị  $\sim 500 \text{ Bq m}^{-3}$ , hang Pải Lũng có giá trị  $\sim 470 \text{ Bq m}^{-3}$  và hang Nà Luông có giá trị  $\sim 450 \text{ Bq m}^{-3}$ . Vào mùa lạnh, nồng độ radon có sự phân dị phụ thuộc vào độ ẩm không khí trong hang, nồng độ radon cao với độ ẩm lớn và ngược lại (Hình 5). Sự chênh lệch về độ ẩm không khí trong và ngoài

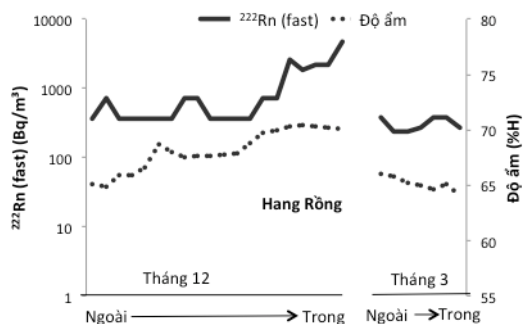
hang vào đầu và cuối mùa “lạnh” có sự khác nhau rõ rệt. Trong hang Ròng, trung bình độ ẩm không khí trong hang là 69%H, ngoài hang là 62%H vào tháng 12 (đầu mùa “lạnh”); tuy nhiên, đến cuối mùa “lạnh” (tháng 3), trung bình độ ẩm không khí trong hang là 65%H, còn ngoài hang hạ xuống 40%H. Sự chênh lệch này làm cho nồng độ radon trong hang Ròng cao vào tháng 12, với  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$  có giá trị trung bình là  $873 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $546 \text{ Bq m}^{-3}$ , và xuống thấp vào tháng 3, với  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$  có giá trị trung bình là  $206 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $74 \text{ Bq m}^{-3}$ . Như vậy, có thể thấy nhiệt độ và độ ẩm không khí đã ảnh hưởng đến nồng độ radon trong môi trường hang động.

Nồng độ radon trong không khí các hang còn tỷ lệ với nồng độ carbon dioxid ( $\text{CO}_2$ ) theo mùa với đặc điểm cùng cao vào mùa “nóng” và hạ xuống thấp vào mùa “lạnh” (Hình 6). Kết quả này tương ứng với các nghiên cứu đã được thực hiện ở một số hang động trên Thế giới, như ở Texas (Mỹ) [24], Austria [25], Anh [26], Ba Lan [27], Nhật Bản [28], và Hungary [29]. Tương ứng với sự biến thiên nồng độ radon theo mùa, nồng độ  $\text{CO}_2$  trong hang Ròng biến thiên từ  $1090 \text{ ppmv}$  đến  $1437 \text{ ppmv}$ , hang Pải Lũng từ  $497 \text{ ppmv}$  đến  $1060 \text{ ppmv}$ , và hang Nà Luông từ  $616 \text{ ppmv}$  đến  $735 \text{ ppmv}$  vào mùa “nóng” Đến mùa “lạnh” nhiệt độ trong hang Ròng không có sự thay đổi lớn ( $17 - 18^\circ\text{C}$ ), nồng độ  $\text{CO}_2$  giảm từ đầu mùa “lạnh” với giá trị trung bình  $964 \text{ ppmv}$ , đến cuối mùa “lạnh” xuống còn  $376 \text{ ppmv}$  (giá trị trung bình).

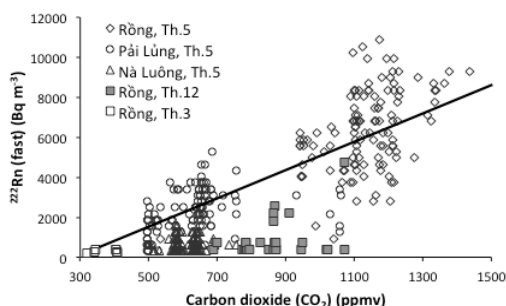
Bảng 1. Nồng độ radon ( $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$ ) và carbon dioxid ( $\text{CO}_2$ ); và các thông số tương ứng (tốc độ gió, nhiệt độ, độ ẩm) trong không khí các hang và môi trường bên ngoài

Hang	Thời gian đo	Tốc độ gió* ( $\text{m s}^{-1}$ )	Nhiệt độ ( $^\circ\text{C}$ )		Độ ẩm (%H)		$^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq/m}^3$ ) (min-max); TB	$^{220}\text{Rn}$ ( $\text{Bq/m}^3$ ) (min-max); TB	$\text{CO}_2$ (ppmv) (min-max); TB
			In; out	In; out	In; out	In; out			
Ròng	5/2015	0,01	21; 30	65; 59	(2870-8006); 5956	(388-1163); 492	(1090-1437); 1203		
Ròng	12/2015	0,032	18; 24	69; 62	(178-11767); 2237	(455-3185); 1081	(794-2655); 1178		
Ròng	3/2016	0,02	17; 23	65; 40	(144-288); 206	(37-111); 74	(320-409); 376		
Pải Lũng	5/2015	0,02	22; 30	65; 69	(604-3172); 1873	(388-1163); 465	(497-1060); 659		
Nà Luông	5/2015	0,03	22; 31	63; 57	(151-1208); 569	(388-775); 452	(616-735); 640		

\* Tốc độ gió ( $m s^{-1}$ ): tốc độ gió trong hang, xác định cho độ lưu thông không khí trong hang  
 In; out: thông số tương ứng trong hang và ngoài hang  
 (min-max); TB: giá trị nhỏ nhất - giá trị lớn nhất; giá trị trung bình



Hình 5. Tương quan giữa nồng độ radon và độ ẩm không khí trong hang Rong vào “mùa lạnh”.



Hình 6. Tương quan thuận giữa nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  và  $\text{CO}_2$  trong không khí các hang theo mùa.

Trong các đồng vị của radon, chỉ có đồng vị  $^{222}\text{Rn}$ , có chu kỳ bán rã dài nhất  $\sim 3,8$  ngày, có thể di chuyển từ dưới sâu và khuếch tán nhanh vào không khí nếu xuất hiện các khí đi kèm (hay còn gọi là các khí vận chuyển) như methan ( $\text{CH}_4$ ) và/hoặc carbon dioxit ( $\text{CO}_2$ ) trước khi quá trình phân rã xảy ra. Các khí này thường có nguồn gốc từ các đá dưới sâu đóng vai trò như khí vận chuyển, giúp cho radon di chuyển dễ dàng hơn lên bề mặt Trái đất theo các khe nứt hoặc đứt gãy [16; 18]. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra nồng độ radon tỷ lệ thuận với nồng độ  $\text{CO}_2$  trong hang động, như vậy radon có thể xuất phát từ những thành tạo địa

chất dưới sâu, ví dụ như từ hệ tầng Hồng Ngài với thành phần chủ yếu gồm các đá sét vôi, được đưa lên và phân tán vào môi trường không khí hang cùng với khí  $\text{CO}_2$  qua các khe nứt hoặc đứt gãy.

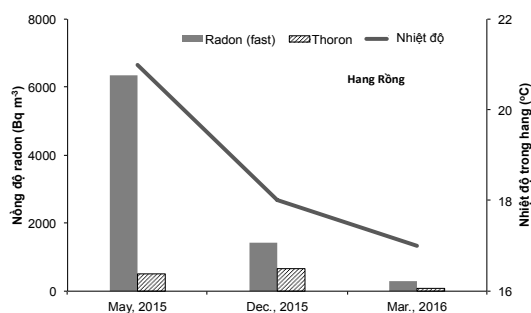
b. Mối quan hệ giữa nồng độ radon và các tham số môi trường

Theo nhiều nghiên cứu được công bố, trong các môi trường kín, nồng độ radon thường bị chi phối bởi các tham số môi trường, như sự biến thiên nhiệt độ, sự lưu thông không khí và sự chênh lệch áp suất không khí [17, 19, 21, 22].

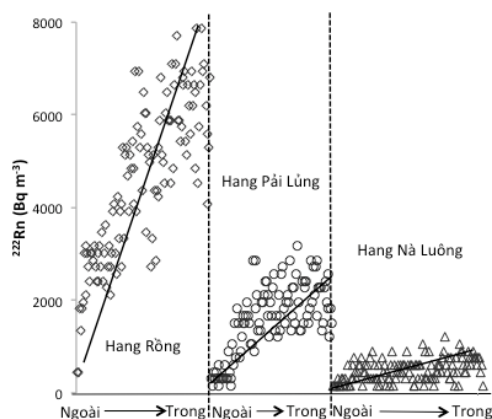
Kết quả khảo sát cho thấy, nhiệt độ môi trường không khí trong hang thường thấp hơn nhiệt độ không khí bên ngoài và có biên độ dao động nhiệt vào mùa “nóng” cao hơn mùa “lạnh”. Vào mùa “nóng”, nhiệt độ trong các hang là 21-22°C và ngoài hang là 30-31°C với biên độ nhiệt  $\sim 9^\circ\text{C}$ ; trong khi vào mùa “lạnh”, nhiệt độ trong hang là 17-18°C, ngoài hang là 23-24°C và biên độ dao động nhiệt  $\sim 6^\circ\text{C}$  (Bảng 1). Trong hang Rong, nồng độ radon biến thiên rõ rệt theo nhiệt độ, nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  có giá trị  $5956 \text{ Bq m}^{-3}$  ở nhiệt độ 21°C vào tháng 5 giảm xuống còn  $2237 \text{ Bq m}^{-3}$  ở nhiệt độ 18°C vào tháng 12 và  $206 \text{ Bq m}^{-3}$  ở nhiệt độ 17°C vào tháng 3 (Hình 7). Như vậy, có thể thấy nồng độ radon trong hang Rong có xu hướng cao vào mùa “nóng” và thấp vào mùa “lạnh”, tương tự quy luật biến thiên nồng độ radon trong các nghiên cứu của [22] và [4].

Theo hướng từ cửa hang vào trong, nồng độ radon có xu hướng tăng dần (Hình 8), điều này phụ thuộc vào độ lưu thông không khí trong các hang. Hang Rong gần như là hang kín, chỉ có một cửa nhỏ ra vào; hang Pải Lũng cũng là hang hẹp, dài, mỗi đầu có một cửa nhỏ; hang Nà Luông có nhiều ngách dẫn, và có nhiều cửa thông, độ lưu thông không khí tương đối tốt hơn. Đối với những hang kín, càng vào sâu phía trong, độ lưu thông không khí giảm càng mạnh, có thể dẫn đến trạng thái “ứ đọng” không khí (stagnant). Điều kiện này thuận lợi cho sự tập trung cao của khí radon. Hang Rong có tốc độ gió thấp ( $0,01 \text{ m s}^{-1}$ ), nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  và  $^{220}\text{Rn}$  tương ứng có giá trị rất cao,  $5956 \text{ Bq m}^{-3}$  và  $492 \text{ Bq m}^{-3}$ , trong khi đó hang Pải Lũng và Nà Luông có tốc độ gió cao hơn và có độ lưu thông không khí tốt hơn, thuận lợi cho radon có thể khuếch tán ra môi trường ngoài, giảm mức

độ tập trung trong không khí hang. Hang Pải Lũng có tốc độ gió  $0,02 m s^{-1}$ , nồng độ radon trung bình ( $1873 Bq m^{-3}$  đối với  $^{222}Rn$  và  $465 Bq m^{-3}$  đối với  $^{220}Rn$ ) thấp hơn trong hang Ròng nhưng cao hơn trong hang Nà Luông ( $569 Bq m^{-3}$  đối với  $^{222}Rn$  và  $452 Bq m^{-3}$  đối với  $^{220}Rn$ ) có tốc độ gió  $0,03 m s^{-1}$ .



Hình 7. Nồng độ radon biến thiên theo nhiệt độ trong hang Ròng.



Hình 8. Tương quan giữa nồng độ radon và sự lưu thông không khí các hang.

Bên cạnh đặc điểm về lưu thông không khí kém, bên trong hang Ròng còn có 1 đứt gãy và hệ thống khe nứt dọc theo đứt gãy ở trong hang. Tại những vị trí này, nồng độ radon có giá trị rất cao, lên tới  $15000 Bq m^{-3}$  đối với  $^{222}Rn$  và  $3000 Bq m^{-3}$  đối với  $^{220}Rn$  vào tháng 12. Kết quả này chứng tỏ đứt gãy và hệ thống các khe nứt có nhiều khả năng đóng vai trò là đường dẫn cho khí phóng xạ như radon có thể di chuyển từ dưới sâu đi lên và khuếch tán vào môi trường không khí [30].

Tuy nhiên, hệ thống các khe nứt và lỗ hổng trong hang có thể bị vật liệu trầm tích tại chỗ hoặc

được mang đến theo các dòng lũ vào mùa mưa lấp đầy. Hang Ròng và Pải Lũng là các hang đang được người dân sử dụng để thu nước và giữ nước cho sinh hoạt và sản xuất. Trên nền hang luôn có lớp trầm tích che phủ. Các lớp trầm tích này có thành phần ~ 50% khoáng vật sét (Hình 9), những khoáng vật có cấu trúc lớp, tính thấm kém và có thể làm giảm khả năng khuếch tán khí radon [4]. Khi độ ẩm không khí trong hang và bên ngoài đều cao, và không có sự khác biệt nhiều, lớp trầm tích có tỷ lệ các khoáng vật sét cao ở nền hang sẽ tiến tới trạng thái bão hòa nước và dễ dàng lấp kín những khe nứt, lỗ hổng, đồng thời làm giảm sự trao đổi khí giữa môi trường trong hang và bên ngoài [17]. Ngược lại, khi độ ẩm trong hang và bên ngoài chênh lệch lớn, như 65%H trong hang Ròng và 40%H bên ngoài vào tháng 3, lớp trầm tích ở nền hang sẽ có xu hướng mất nước, giảm thể tích, tăng độ thấm và tạo điều kiện cho các khí có thể trao đổi qua các khe nứt, kết quả là nồng độ radon trong hang giảm [20].

Thực nghiệm [15] về việc xác định nồng độ radon phát ra từ thành phần sét và đá vôi trong hang Baradle (Hungary) đã chỉ ra rằng nồng độ radon khuếch tán từ thành phần sét có thể tạo ra lượng bức xạ phóng xạ đáng kể trong môi trường hang động [15]. Nếu so sánh nồng độ radon có thể thoát ra từ sét và đá vôi trong điều kiện tương đương, có đến 44% hàm lượng radon có thể thoát ra từ thành phần phóng xạ trong sét, nhưng chỉ có 2,5% hàm lượng radon có thể thoát ra từ đá vôi [4]. Như vậy, có thể coi thành phần sét trong lớp trầm tích cũng là một nguồn phát xạ radon tự nhiên vào môi trường hang động.

*c. Ảnh hưởng của nồng độ radon đến người lao động và khách du lịch trong các hang động*

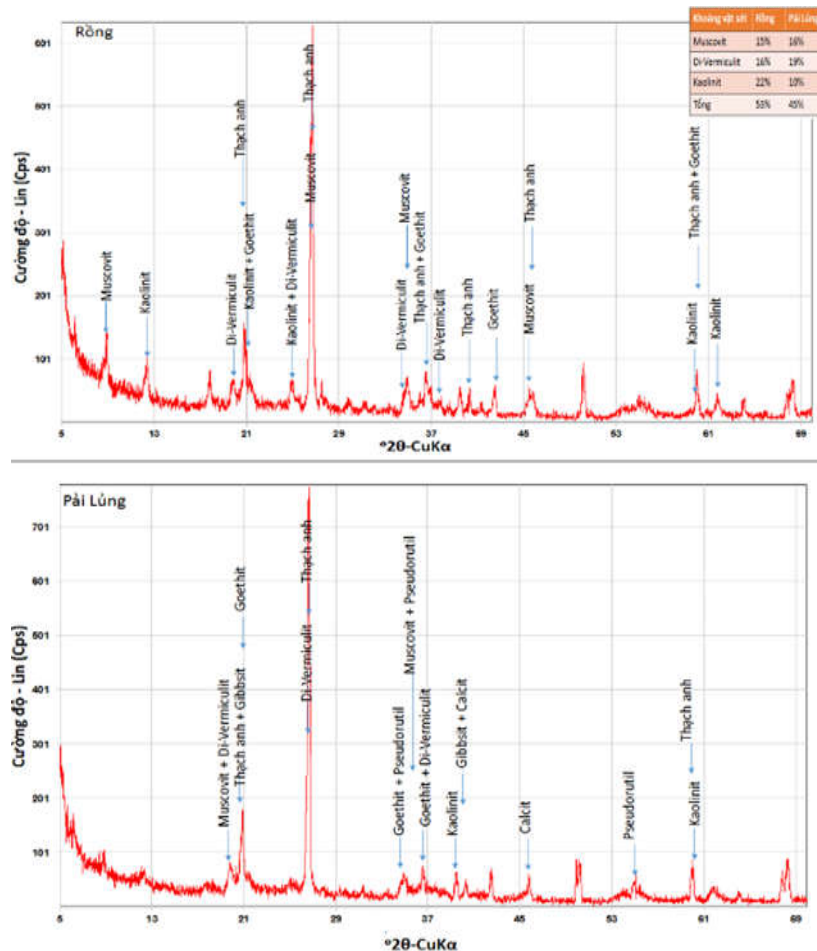
Hiện nay, các hang Ròng, Pải Lũng và Nà Luông ở Cao nguyên đá Đồng Văn đều được người dân địa phương sử dụng với nhiều mục đích, như phục vụ sinh hoạt, sản xuất và khai thác du lịch. Theo tiêu chuẩn Việt Nam về an toàn phóng xạ [31] cho môi trường làm việc trong nhà (môi trường hang động là môi trường kín tương đương với môi trường làm việc trong nhà), mức khuyến cáo tương đương với nồng độ  $^{222}Rn \sim 200 Bq m^{-3}$  và mức hành động tương đương với nồng độ  $^{222}Rn > 300 Bq m^{-3}$ . Tiêu chuẩn an toàn bức xạ

phóng xạ đối với đồng vị  $^{220}\text{Rn}$  chưa được các tổ chức trên Thế giới và ở Việt Nam công bố chính thức, nhưng trung bình nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  trong không khí được UNSCEAR (1993) [32] công bố là  $\sim 10 \text{ Bq m}^{-3}$ .

Kết quả nghiên cứu cho thấy, trung bình nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  ở các hang vào mùa ‘nóng’ cao hơn mức hành động ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ) của tiêu chuẩn Việt Nam 6 - 20 lần, và trung bình nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  cao hơn mức trung bình không khí 45 - 50 lần. Vào mùa ‘lạnh’ với độ ẩm không khí thấp, nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  ở hang Ròng chỉ tương đương với mức khuyến cáo [31], còn nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  vẫn cao hơn 7 lần mức trung bình không khí. So với năng lượng bức xạ giải phóng từ đồng vị  $^{222}\text{Rn}$  ( $5,49 \text{ MeV}$  với thời gian phân rã  $\sim 3,8$  ngày),  $^{220}\text{Rn}$  có năng lượng

bức xạ ( $6,29 \text{ MeV}$ ) cao hơn trong khoảng thời gian rất ngắn hơn ( $55,6$  giây). Có thể thấy năng lượng bức xạ phóng xạ từ  $^{220}\text{Rn}$  cần phải được quan tâm nghiên cứu và cảnh báo rủi ro về an toàn.

Đối với các hang động có hàm lượng phóng xạ cao, cần khuyến cáo tới du khách thời điểm thích hợp thăm quan trong năm cũng như khoảng thời gian tối đa mỗi lượt du khách được lưu lại trong hang. Trong tương lai, việc khai thác các hang động karst vào mục đích du lịch, cần tính toán đến phương án thiết kế hệ thống thông gió đáp ứng yêu cầu của việc lưu thông không khí, đặc biệt vào mùa “nóng” để giảm thiểu rủi ro về mất an toàn bức xạ cho du khách và các đối tượng liên quan.



Hình 9. Giải đồ XRD trầm tích phủ trong hang Ròng và Pải Lũng.



## 5. Kết luận

Nồng độ radon trong 3 hang karst (Rồng, Pải Lũng, Nà Luông) xác định được trong khoảng thời gian từ tháng 5/2015 đến tháng 3/2016 có sự biến thiên theo mùa và các thông số môi trường trong hang. Nồng độ radon biến thiên tỷ lệ thuận với nhiệt độ và độ ẩm không khí trong hang (cao nhất vào mùa “nóng” độ ẩm cao và thấp nhất vào mùa “lạnh” (độ ẩm thấp), đồng thời tỷ lệ nghịch với sự lưu thông không khí thể hiện bằng tốc độ gió. Một số yếu tố địa chất như các thành tạo liên quan đến sự hình thành hang động, các đứt gãy, hệ thống khe nứt, thành phần vật chất lớp trầm tích xuất hiện trong các hang cũng là những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến nồng độ radon. Trong đó, radon thường có nồng độ cao cùng với khí carbon dioxide ở vị trí các đứt gãy hoặc hệ thống khe nứt, nơi diễn ra quá trình trao đổi từ dưới sâu đi lên hoặc với môi trường ngoài hang động, lên tới  $15 \text{ kBq m}^{-3}$  đối với  $^{222}\text{Rn}$  và  $3 \text{ kBq m}^{-3}$  đối với  $^{220}\text{Rn}$  tại khe nứt dọc đứt gãy ở hang Rồng. Hàm lượng khoáng vật sét cao (~ 50%) trong lớp trầm tích phủ ở nền hang đóng vai trò như “cánh cửa” cho sự trao đổi không khí giữa bên trong và bên ngoài hang, đồng thời cũng có thể coi là một nguồn phát khí radon cao hơn so với thành phần đá vôi hình thành hang động, tạo điều kiện cho khả năng tích tụ khí radon với nồng độ cao trong các môi trường kín như hang động.

Đối sánh với tiêu chuẩn an toàn phóng xạ Việt Nam [31], nồng độ  $^{222}\text{Rn}$  trong các hang karst được khảo sát có giá trị cao hơn mức hành động 6 - 20 lần trong hơn nửa thời gian trong năm, và tương đương mức khuyến cáo khi độ ẩm không khí hạ thấp; tương tự nồng độ  $^{220}\text{Rn}$  cao hơn nồng độ trung bình trong không khí 7 - 50 lần, thậm trí có điểm tới 300 lần. Với các giá trị này, các hang động karst và môi trường sống của người dân địa phương trên Cao nguyên đá Đồng Văn cần được quan tâm nghiên cứu và cảnh báo rủi ro về an toàn phóng xạ.

## Lời cảm ơn

Công tác thực địa và đo đạc hiện trường tại khu vực nghiên cứu hoàn thành dưới hỗ trợ nhiệt

tình của Ban Quản lý Công viên Địa chất Toàn cầu, Cao nguyên đá Đồng Văn và bà Minh Schimmelmänn. Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn.

## Tài liệu tham khảo

- [1] World nuclear association, Nuclear radiation and health effects, <http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/nuclear-radiation-and-health-effects.aspx>, 2016.
- [2] UNSCEAR, The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR Report. In: Sources, vol. I. United Nations, New York, 2000.
- [3] Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R., Gilbertson D.D., Radon in the Creswell Crags Permian limestone caves. *J Environ Radioactiv* 62 165 (2002).
- [4] Cigna A.A., Radon in caves. *Int J Speleol* 34 (1-2) 1-18 (2005).
- [5] Lario J., Sanchez-Moral S., Cuezva S., Taborda M., Soler V., High  $^{222}\text{Rn}$  levels in a show cave (Castanar de Ibor, Spain): proposal and application of management measures to minimize the effects on guides and visitors. *Atmos Environ* 40: 7395-7400 (2006).
- [6] Field M.S., Risks to cavers and cave workers from exposures to low-level ionizing a radiation from  $^{222}\text{Rn}$  decay in caves. *J Cave Karst Stud* 69(1):207-228 (2007)
- [7] Nagy H.E., Szabo Z., Jordan G., Szabo C., Horvath A., Kiss A., Time variations of  $^{222}\text{Rn}$  concentration and air exchange rates in a Hungarian cave. *Isot Environ Health Stud* 48(3):64-472 (2012).
- [8] Dumitru O.A., Onac B.P., Fornos J.J., Cosma C., Radon concentration and effective dose assessment in Coves de Campanet (Mallorca Island, Spain). *J Radioanal Nucl Chem* 303: 885-890 (2015).
- [9] Dumitru O.A., Onac B.P., Fornos J.J., Cosma C., Gines A., Gines J., Merino A., Radon survey in caves from Mallorca Island, Spain. *Sci Total Environ* 526:196-203 (2015).
- [10] Tổng Dzuy Thanh và Vũ Khúc (Chủ biên), Các phân vị địa tầng Việt Nam. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội, 519 trang, 2005.

- [11] Trần Tân Văn (chủ biên), Phát triển bền vững các vùng đá vôi ở Việt Nam, Báo cáo Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 2005.
- [12] Niên giám thống kê tỉnh Hà Giang, 2014.
- [13] Masschelein J., Coessens V., Lagrou D., Duser M., Tran T.V. (Eds.), Northern Vietnam 1993 - 2006 (Belgian-Vietnamese Speleological Projects in the Provinces of Bac Kan, Ha Giang, Hoa Binh, Lai Chau and Son La). Berliner Höhlenkundliche Berichte 22, 1-212, 2007.
- [14] Đỗ Thị Yên Ngọc (chủ biên), Báo cáo kết quả khoa học của dự án “Điều tra khảo sát, khoan vùng ranh giới di sản công viên Địa chất toàn cầu Cao nguyên đá Đồng Văn, Hà Giang”. Ban quản lý Công viên Địa chất Cao nguyên đá Đồng Văn, 2014.
- [15] Deszö Z., Hakl J., Molnár L., Radon exhalation of limestone bedrock and cave deposits. ATOMKI Annual Report, Inst. Nucl. Res. of the Hungarian Acad. of Sciences, Debrecen: 46 (2002).
- [16] Etiope G., Martinelli G., Migration of carrier and trace gases in the geosphere: An overview. Physics of the Earth and Planetary Interiors 129 (3-4), 185-204 (2002).
- [17] Whittlestone S., James J., and Barnes C., The relationship between local climate and radon concentrations in the Temple of Baal, Jenolan Caves, Australia, Helictite, 38(2), pages 39-44 (2003).
- [18] Walia V., Lin S.J., Fu C.C., Yang T.F., Hong W.L., Wen K.L., Chen C.H., Soil-gas monitoring: A tool for fault delineation studies along Hsinhua Fault (Tainan), Southern Taiwan. Applied Geochemistry 25 (4), 602-607 (2010).
- [19] Wilkening M.H., Watkins D.E., Air exchange and  $^{222}\text{Rn}$  concentrations in the Carlsbad Caverns. Health Phys. 31, 139-145 (1976).
- [20] Cuezva S., Fernandez-Cortes A., Benavente D., Serrano-Ortiz P., Kowalski A.S., Sanchez-Moral S., Short-term  $\text{CO}_2(\text{g})$  exchange between a shallow karstic cavity and the external atmosphere during summer: role of the surface soil layer. Atmospheric Environment 45, 1418-1427 (2011).
- [21] Oh Y.H. and Kim G., Factors controlling the air ventilation of a limestone cave revealed by  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  tracers. Geosciences Journal. Vol. 15, No. 1, p. 115 - 119, March 2011.
- [22] Gregoric A., Vaupotic J., and Sebela S., The role of cave ventilation in overning cave air temperature and radon levels (Postojna Cave, Slovenia). Int. J. Climatol. 34: 1488-1500 (2014).
- [23] Bergmann J., Friedel P., Kleeberg R., BGMN - a new fundamental parameters based Rietveld program for laboratory X-ray sources, it's use in quantitative analysis and structure investigations. Commission of Powder Diffraction, International Union of Crystallography CPD Newslett 20, 5-8 (1998).
- [24] Banner J.L., Guilfoyle A., James E.W., Stern L.A., Musgrove M., Seasonal variations in modern speleothem calcite growth in Central Texas, USA. J. Sed. Res. 77, 615-622 (2007).
- [25] Spotöf C., Fairchild I.J., Tooth A.F., Cave air control on dripwater geochemistry, Obir Caves (Austria): Implications for speleothem deposition in dynamically ventilated caves. Geochim. Cosmochim. Acta 69 (10), 2451-2468 (2005).
- [26] Baldini J.U.L., McDermott F., Hoffmann D.L., Richards D.A., Clipson N., Very high-frequency and seasonal cave atmosphere  $\text{P}_{\text{CO}_2}$  variability: implications for stalagmite growth and oxygen isotope-based paleoclimate records. Earth Planet. Sci. Lett. 272, 118-129 (2008).
- [27] Przylibski T.A., Radon concentration changes in the air of two caves in Poland. J. Environ. Radioactiv. 45, 81-94 (1999).
- [28] Tanahara A., Taira H., Takemura M., Radon distribution and the ventilation of a limestone cave on Okinawa. Geochim. J. 31, 49-56 (1997).
- [29] Hakl J., Hunyadi I., Csige I., Géczy G., Lénárt L., Várhegyi A., Radon transport phenomena studied in karst caves - international experiences on radon levels and exposures. Radiat. Meas. 28 (1-6), 675 (1997).
- [30] Haerudin N., Wahyudi Munadi S., and Suryanto W., A soil gas radon survey to determine fault at southern Part of Rajabasa Geothermal Field, Lampung Indonesia. International Journal of Engineering & Technology IJET- IJENS. 13: 75 - 81 (2013).
- [31] Tiêu chuẩn Quốc gia (Việt Nam), TCVN 9413:2012, Điều tra, đánh giá Địa chất Môi trường - An toàn phóng xạ. Bộ khoa học và công nghệ, 2012.
- [32] UNSCEAR, The United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR 1993 Report. In: Sources, vol. I. United Nations, New York, 1993.

## Radon Concentrations in Karst Caves in Dong Van Karst Plateau

Nguyen Thuy Duong<sup>1</sup>, Nguyen Van Huong<sup>1</sup>, Arndt Schimmelmann<sup>2</sup>,  
Nguyen Anh Nguyet<sup>1</sup>, Dang Phuong Thao<sup>1</sup>, Ta Hoa Phuong<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Geology, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Indiana University, USA

**Abstract:** Radon concentrations ( $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$ ) in the air of three karst caves in Dong Van karst plateau, including (i) Rong cave holding a local freshwater reservoir, (ii) Pai Lung cave seasonally storing water for agriculture, and (iii) Na Luong cave being developed for touristical purposes, were measured via  $\alpha$ -spectroscopy (SARAD<sup>®</sup> RTM 2200, SARAD<sup>®</sup> GmbH, Germany) during the time from May 2015 to March 2016. The survey included “warm season” and “cold season” field works based on environmental temperature differences. Rong cave featured  $5956 \text{ Bq m}^{-3}$  and  $1081 \text{ Bq m}^{-3}$  of  $\alpha$ -radiation from  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$ , respectively, during the “warm season”, but reached only  $206 \text{ Bq m}^{-3}$  and  $74 \text{ Bq m}^{-3}$  during the “cold season”. Due to their enhanced ventilation of cave air, Pai Lung and Na Luong caves had lower values of both  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{220}\text{Rn}$  abundances than those in Rong cave during the “warm season”. The observed  $^{222}\text{Rn}$  levels in Rong and Pai Lung caves during the “warm season” were 6 to 20 times higher than Vietnam’s recommended threshold Action Level for enclosed workplaces ( $300 \text{ Bq m}^{-3}$ ). No officially recommended threshold action level for  $^{220}\text{Rn}$  has been established so far, but the observed  $^{220}\text{Rn}$  concentrations in the studied caves are much higher than permissible abundances in outdoor environments (UNSCEAR, 1993). Workers in Rong and Pai Lung caves as well as visitors in Na Luong Cave may be seasonally exposed to a significant radiation geohazard.

*Keywords:* Radon, thoron, concentration, karst cave, radiation, Dong Van.