



Original Article

Geological History of Caves and Conservation Values of the World Nature Heritage Phong Nha-Ke Bang National Park

Tran Nghi¹, Le Nam², Dao Bui Din², Dinh Xuan Thanh¹,
Ta Hoa Phuong¹, Dang Van Bao¹, Nguyen Thi Huyen Trang^{1,*}

¹VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

²Ministry of Natural Resources and Environment, 10, Ton That Thuyet, Hanoi, Vietnam

Received 05 August 2023

Revised 03 October 2023; Accepted 27 November 2023

Abstract: The long development history and geological diversity of the Phong Nha-Ke Bang area is shown by the rich and diverse lithological composition of the stratigraphic units ranging in age from Devonian to Present day: granite, terrigenous rock, thin-bedded limestone, and massive limestone. The geomorphology of the national park includes limestone mountain terrain alternating with terrigenous rock mountain terrain surrounding the karst valley system. The formation of the cave is an endogenous-exogenous geological process that occurs according to the cycle of global sea level change. The tectonic activity is the mother that gives birth to the caves of different heights and ages. The higher the cave, the older it is, and the oldest cave is 32 million year old-Khe Ry cave. The four fault systems of Northeast - Southwest (NE-SW), Northwest - Southeast (NW-SE), West - East (WE), and North - South (NS) create four cave systems that are deep faults with strong destructive intensity. Exogenous geological activities in the cave have created a uniquely beautiful landscape including three simultaneous processes: i) Chemical washing of driftwood, mechanical abrasion, polishing of the cave walls, and ceiling caused by travertine floods pouring into it from outside the cave; ii) Precipitation forming stalactites from the ceiling of the cave and precipitation forming stalagmites from the floor of the cave slowly over millions of years; and iii) Travertine sedimentation on the cave floor resulting in many unique sedimentary bodies, specifically filling the rough terrain of limestone blocks, covering the ancient stalactites falling from the cave ceiling, forming spiral mushroom island in the Son Doong cave, and creating gem pebbles located in fan-shaped sunken cells of the cave.

Keywords: Diversity, faults, endogenous-exogenous geology, stalactites, stalagmites, cave gems.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyentrang181@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.4971>

Lịch sử địa chất hang động và những giá trị di sản tiêu biểu của vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng

Trần Nghi¹, Lê Nam², Đào Bùi Din², Đinh Xuân Thành¹,
Tạ Hoà Phương¹, Đặng Văn Bào¹, Nguyễn Thị Huyền Trang^{1,*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,

334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Bộ Tài nguyên và Môi trường, 10 Tôn Thất Thuyết, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 05 tháng 8 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 03 tháng 10 năm 2023; Chấp nhận đăng ngày 27 tháng 11 năm 2023

Tóm tắt: Lịch sử phát triển lâu dài và tính đa dạng về địa chất của khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng được thể hiện bởi thành phần thạch học phong phú và đa dạng của hầu hết các phân vị tầng có tuổi từ Devon đến nay: đá magma granit, đá lục nguyên, đá vôi phân lớp mỏng và đá vôi dạng khối. Tính đa dạng của địa mạo thể hiện địa hình karst xen kẽ địa hình núi đá lục nguyên nằm bao quanh hệ thống thung lũng karst. Lịch sử tạo hang động là quá trình địa chất nội-ngoại sinh diễn ra theo chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu. Hoạt động kiến tạo là người mẹ khai sinh ra các hang động có độ cao khác nhau và tuổi khác nhau. Hang càng cao có tuổi càng cổ và hang cổ nhất là hang Khe Ry có tuổi 32 triệu năm. Bốn hệ thống đứt gãy Đông Bắc - Tây Nam (ĐB-TN), Tây Bắc - Đông Nam (TB-ĐN), Đông - Tây (ĐT) và Bắc - Nam (BN) tạo ra 4 hệ thống hang động là những đứt gãy sâu có cường độ phá huỷ mạnh. Hoạt động địa chất ngoại sinh trong hang động đã tạo nên phong cảnh đẹp độc đáo bao gồm 3 quá trình xảy ra đồng thời: i) Quá trình rửa lũa bằng phương thức hoá học và mài mòn đánh bóng cơ học vách hang và trần hang do các dòng lũ travertin từ ngoài hang đổ vào; ii) Quá trình kết tủa tạo thạch nhũ từ trần hang xuống và kết tủa tạo măng đá từ sàn hang lên từ qua hàng triệu năm đã tạo nên các tiên cảnh kỳ thú; và iii) Quá trình trầm tích travertin trên sàn hang đã tạo ra nhiều thể trầm tích độc đáo: lấp nhét địa hình gồ ghề của các khối tầng đá vôi; phủ trên các khối tầng thạch nhũ cổ rơi từ trần hang xuống; thành tạo đảo nấm hình xoáy ốc ở hang Sơn Đoòng; tạo các cuội ngọc động nằm trong các ô trũng hình rãnh quạt.

Từ khoá: Đa dạng, đứt gãy, địa chất nội – ngoại sinh, thạch nhũ, măng đá, ngọc động.

1. Mở đầu

Tháng 7 năm 2003 UNESCO công nhận di sản thiên nhiên thế giới vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng Quảng Bình Việt Nam. Đây là di sản thiên nhiên thế giới thứ 2 sau Vịnh Hạ Long. Để có được kết quả đáng tự hào đó không thể không nói đến những đóng góp của nhân dân địa

phương Quảng Bình về sự khám phá tìm tòi những bí mật nơi chôn rau cắt rốn. Có thể chia ra 2 giai đoạn nối tiếp nhau: i) Giai đoạn 1: là giai đoạn thám hiểm hang động bắt đầu từ năm 1991 đến năm 1995 phối hợp giữa Hội hang động Hoàng Gia Anh và nhóm cán bộ khoa học của Khoa Địa lý-Địa chất, Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội; và ii) Giai đoạn 2 là giai đoạn vừa tiếp

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyentrang181@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4971>

tục thám hiểm vừa nghiên cứu khoa học để xây dựng “Hồ sơ di sản thiên nhiên thế giới”.

Người Quảng Bình gọi động Phong Nha là “Chùa Hang” vì sự kì bí và linh thiêng của nó. Chùa hang đã được dân địa phương phát hiện từ lâu đời nhưng công cuộc thám hiểm của họ chỉ bằng đốt đuốc để soi sáng đường đi theo hang. Vì vậy thám hiểm này mang tính chất tò mò theo thị hiếu đơn giản nên không được ghi chép đo đạc và chụp ảnh có giá trị như các tư liệu, số liệu để lại cho con cháu đời sau. Sau đó Pháp lại tiếp tục thám hiểm và đến năm 1937 phòng du lịch của toà Khâm Sứ Pháp ở Huế đã xuất bản một tờ gấp nhỏ giới thiệu du lịch tỉnh Quảng Bình trong đó có động Phong Nha. Tuyến du lịch Phong Nha được Pháp xếp vào hạng thứ 2 ở Đông Dương.

Năm 1965 đoàn địa chất 20 thuộc Tổng Cục Địa chất Việt Nam đã thành lập “Bản đồ địa chất khu vực tỉnh Quảng Bình tỷ lệ 1/500.000” thuộc một phần bản đồ địa chất miền Bắc Việt Nam tỷ lệ 1/500.000 do Dovjicov (Liên Xô cũ) chủ biên [1].

Năm 1980 Nguyễn Quang Trung (chủ biên) đã thành lập “Bản đồ địa chất và khoáng sản tờ Maxay-Đông Hới tỷ lệ 1/200.000 [2].

Năm 1980, 1997 các công trình nghiên cứu về địa tầng Devon và ranh giới Frasni-Famen do Nguyễn Hữu Hùng, Tạ Hoà Phương và nnk thực hiện ở khu vực Quỷ Đạt và Phong Nha - Kẻ Bàng [3].

Các công trình nói trên đã có những đóng góp quan trọng giúp tác giả của hồ sơ hoàn thiện tính đa dạng địa chất, địa mạo và lịch sử phát triển lâu dài của vỏ Trái đất ở khu vực phong Nha -Kẻ Bàng: i) Bản đồ địa chất của Dovjicov chủ biên (1965) và bản đồ địa chất của Nguyễn Quang Trung chủ biên (1980) đã thể hiện 4 hệ thống đứt gãy có 4 phương trùng với 4 phương của hang động Phong Nha - Kẻ Bàng được tạo thành do các đứt gãy ngầm trong lòng các khối núi đá vôi; và ii) Công trình của Nguyễn Hữu Hùng và Tạ Hoà Phương (1980,1997) đã chính xác hoá ranh giới Frasni-Famen của địa tầng Devon khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng để làm tăng tính đa dạng địa chất và thang địa tầng có tính liên tục từ Ordovic-Silur đến trầm tích Đệ Tứ.

Năm 1990 lần đầu tiên có sự hợp tác thám hiểm hang động giữa Khoa Địa lý-Địa chất,

Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội và Hội hang động Hoàng Gia Anh do Howard Limbert thám hiểm được 3 km ở động Phong Nha và Hang Vòm. Từ năm 1992 đến 1999 đã khảo sát được 23 km gồm các hang: Phong Nha (7729 m); hang Khe Ry (18902 m; hang Én (1642 m); hang Rục Cà Ròng (2800 m); hang Người Lùn 865 m; hang Vượt (3244 m); hang Hồ (1616 m); hang Đại Cáo (1607 m); hang Tiên (2481 m).

Từ 1991 đến 1996 các công trình nghiên cứu về địa chất Đệ Tứ các cồn cát và đồng bằng ven biển và biển nông ven bờ tỉnh Quảng Bình do Trần Nghi chủ trì đã có những phát hiện mới về địa tầng và lịch sử phát triển địa chất Đệ Tứ góp phần nâng cao chất lượng của hồ sơ di sản [4, 5].

Năm 2008 và năm 2010 một nhóm các nhà khoa học Việt Nam và thanh niên địa phương đã dẫn Howard Limbert và cộng sự vào thám hiểm hang Sơn Đoòng và đã đưa hang Sơn Đoòng vào danh sách một trong những hang đẹp và kỳ vĩ nhất thế giới.

Những kết quả thám hiểm hang động của Howard Libert là một trong các dữ liệu quan trọng đã giúp các nhà địa chất địa mạo tiếp tục nghiên cứu và chứng minh một cách thuyết phục các tiêu chí yêu cầu của UNESCO và đã xây dựng thành công hồ sơ di sản thiên nhiên thế giới vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng, Quảng Bình Việt Nam.

Lịch sử xây dựng hồ sơ di sản thiên nhiên thế giới vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng có thể tóm tắt như sau:

Năm 1986 khu động Phong Nha đã được Chính phủ nước Cộng hoà Xã hội Chủ nghĩa Việt Nam xếp hạng di sản quốc gia đặc biệt quan trọng theo quyết định số 194/CP của Thủ tướng Chính phủ;

Năm 1993 khu bảo tồn thiên nhiên Phong Nha được chính thức thành lập với diện tích 41132 ha.

Năm 1997 “Dự án xây dựng vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng giai đoạn 2000-2005 bao gồm toàn bộ vùng núi đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng và hệ thống hang động trong khu vực với tổng diện tích khoảng 147945 ha.

Năm 1999 theo yêu cầu của UNESCO cần nghiên cứu bổ sung hoàn chỉnh hồ sơ Di sản

thiên nhiên thế giới đối với vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên đã giao cho Giáo sư Trần Nghi chủ trì và 2 cộng sự là Giáo sư Tạ Hoà Phương chuyên gia nghiên cứu về Địa tầng và Phó giáo sư Đặng Văn Bào chuyên gia nghiên cứu về Địa mạo đã triển khai thực hiện từ 1999 đến 2001. Hồ sơ là một công trình nghiên cứu khoa học đã chứng minh đầy đủ 5 vấn đề quan trọng: i) Đa dạng địa chất-địa mạo và lịch sử phát triển vỏ Trái Đất lâu dài; ii) Chứng minh hang động có tuổi cổ và phân biệt tuổi của các thế hệ hang; iii) Tính độc đáo và cơ chế hình thành danh lam thắng cảnh của hang động; và iv) Đa dạng sinh học và những loài động thực vật đang có nguy cơ tuyệt chủng.

Năm 1999 hồ sơ “Di sản thiên nhiên thế giới vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng” bắt đầu nghiên cứu và xây dựng lại từ đầu bám sát 5 tiêu chí do UNESCO yêu cầu dưới sự chủ trì của GS Trần Nghi, bao gồm: i) *Tính đa dạng địa chất*; ii) *Lịch sử phát triển lâu dài của vỏ Trái Đất mạnh tính chất toàn cầu*; iii) *Tính đa dạng về địa hình-địa mạo*; iv) *Lịch sử địa chất hình thành hang động và các phong cảnh đa dạng và độc đáo*; và v) *Chứng minh được tuổi hang động phải cổ*. Đây là một nhiệm vụ hết sức quan trọng và cấp thiết tuy nhiên cũng là bài toán khó bởi những áp lực không nhỏ đối với nhóm tác giả trước đây đã có một nhóm nghiên cứu xây dựng hồ sơ di sản nhưng hội đồng di sản UNESCO bỏ phiếu không đạt. Điều đó đòi hỏi nhóm nghiên cứu sau phải hết sức cẩn trọng nghiên cứu kỹ các tiêu chí yêu cầu của UNESCO và lý do hồ sơ bị loại để bổ sung hoàn chỉnh hồ sơ. Như vậy muốn hoàn thành được hồ sơ theo yêu cầu của UNESCO tất yếu phải là các nhà địa chất đặc biệt phải có nhà địa chất Trầm tích thì mới nghiên cứu và làm sáng tỏ được cơ chế hình thành hang động không phải là do “nước chảy đá mòn” như một số nhà địa lý của thế giới quan niệm mà đó là một quá trình hoạt động địa chất nội sinh và ngoại sinh lâu dài bắt đầu từ 32 triệu năm. Tính đa dạng của địa chất được thể hiện không chỉ là đặc điểm cấu trúc địa chất và sự có mặt phong phú các loại đá từ khối granit Đông Hới đến các đá phiến của hệ tầng Khâm Đức, các đá trầm tích lục nguyên tuổi Ordovic-Silur, cuội sạn kết tuổi

Creta của hệ tầng Mụ Giạ, đá vôi dạng turbidit và đá vôi platform tuổi Carbon -Permi kỳ vĩ như một hoang mạc lớn nhất thế giới. Đến giai đoạn Kainozoi bối cảnh địa chất của khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng lại bị thay đổi và kiến lập nên sự đa dạng về địa hình - địa mạo và phong cảnh độc đáo đa dạng bên trong các hang động. Nhóm nghiên cứu đã chứng minh được hang động Phong Nha-Kẻ Bàng là cổ nhất Đông Nam Châu Á. Thế hệ hang đầu tiên có tuổi 32 triệu năm cùng tuổi với pha tách giãn đầu tiên của đáy Biển Đông.

Có một số công trình trích dẫn mang tính liệt kê, chưa có đánh giá. Các công trình nghiên cứu cần trình bày theo trật tự thời gian.

2. Phương pháp luận và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp luận

Nghiên cứu địa chất hang động phải tiếp cận theo quan điểm hệ thống, lịch sử, nhân-quả, tiến hoá chu kỳ và đối sánh.

Quan điểm hệ thống là tư tưởng xuyên suốt trong lịch sử hoạt động địa chất nội sinh và ngoại sinh. Mỗi quan hệ này chỉ nhìn thấy được qua hiện diện của các sản phẩm di chỉ địa chất nhìn thấy được trên bề mặt Trái Đất. Trong hang động thấy rõ các khối đá vôi có kích thước từ nửa mét đến hàng chục mét được phủ bởi các lớp trầm tích travertin phân lớp mỏng đó là kết quả của 2 quá trình nội sinh và ngoại sinh. Quá trình địa chất nội sinh được thể hiện bởi sự hiện diện của các khối tầng đá vôi. Chúng là sản phẩm của đứt gãy sâu phá huỷ các núi đá vôi theo 3 chiều: cao-sâu, rộng và dài. Đứt gãy sâu mới có không gian để tất cả các khối đá vôi bị phá huỷ rơi xuống và lấp kín vào khoảng trống phía dưới đồng thời tạo ra khoảng không phía trên đó chính là hang động. Travertin phủ trên các khối tầng đá vôi là sản phẩm của quá trình địa chất ngoại sinh. Chúng là vật liệu bùn cát lục nguyên tha sinh trộn với mảnh vụn đá vôi được gắn kết bởi carbonat calci kết tủa từ bicarbonat quá bão hoà luôn luôn tồn tại trong dòng bùn đá travertin.

Tiếp cận lịch sử là khi quan sát một hang động nào đó phải nhìn thấy chúng là một bức

tranh sinh động ghi lại các quá trình lịch sử địa chất nội sinh và ngoại sinh từ khi bắt đầu các hoạt động đứt gãy tạo hang đến các chu kỳ gia công chế tác và tô điểm của địa chất ngoại sinh trong mối quan hệ với các chu kỳ biến tiến và biến thoái. Đây là tiêu chí về tuổi của hang động mà UNESCO yêu cầu. Khi thám hiểm hay quá trình nghiên cứu khảo sát rất dễ dàng phát hiện được các thể hệ hang treo, hang khô nằm trên lưng chừng núi hoặc các hang ngầm dưới mặt đất. Để trả lời câu hỏi tại sao lại như vậy? và chúng được sinh ra từ lúc nào? thì không đơn giản. Đó chính là một trong những bí quyết mà nhóm xây dựng hồ sơ di sản thiên nhiên thế giới vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng Quảng Bình Việt Nam đã giải mã thành công.

Tiếp cận nhân quả và tiến hoá là tư duy triết học đó là quy luật biện chứng. Quá trình tiến hoá của vỏ Trái Đất được biểu đạt ra các đối tượng địa chất khác nhau. Hang động là một đối tượng địa chất độc đáo. Quá trình địa chất hang động diễn ra theo quy luật nhân-quả và tiến hoá trong mối quan hệ với 5 chu kỳ kiến tạo trong Đệ Tam và 8 chu kỳ biến đổi khí hậu và thay đổi mực nước biển trong Pliocen-Đệ Tứ liên quan đến chu kỳ băng hà/gian băng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp nghiên cứu địa chất karst hang động là chìa khoá thành công của hồ sơ di sản thiên nhiên thế giới Phong Nha-Kẻ Bàng bao gồm:

2.2.1. Phương pháp phân tích đứt gãy

- Đối sánh phương đứt gãy và phương chạy của hang: khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng có 4 hệ thống hang chạy theo 4 phương đứt gãy: i) Phương ĐB-TN: sông Sơn, sông Chày, hang Vòm, hang Khe Ry; ii) Phương TB-ĐN: hang Đại Cáo, hang Pygmy, hang Lạnh; iii) Phương BN: hang Phong Nha, hang Sơn Đoòng; và iv) Phương ĐT: hang Thung, hang Va (Hình 11).

- Những bằng chứng hang là kết quả ủa đứt gãy: i) Trần hang phát triển thạch nhũ chạy theo tuyến song song với hang; ii) Trần hang có Hình 2 mái nhà khép lại tựa như nóc mái nhà chạy dọc theo hang cùng với hệ thống khe nứt chạy song

song với khe nứt nóc hang; và iii) Sàn hang ngổn ngang khối tảng đá vôi cùng thành phần với núi đá vôi Carbon-Permi dạng khối là bằng chứng của đứt gãy phá huỷ sâu.

2.2.2. Phương pháp phân tích thạch học

Phương pháp nghiên cứu thạch học ngoài trời và thạch học lát mỏng trong phòng thí nghiệm đã chứng minh cho tính đa dạng của địa chất trong khu vực vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng. Các loại đá khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng đã được xác định, bao gồm: i) Đá cát kết, bột kết, đá phiến sét tuổi Ocdovic muộn-Silua sớm hệ tầng Long Đại (O_3-S_{1ld}); ii) Đá vôi chứa silic dạng ô tuổi Devon sớm hệ tầng Rào Chan (D_{1rc}); iii) Đá vôi phân lớp mỏng xen silic tuổi Devon muộn-Carbon sớm hệ tầng Phong Nha (D_3-C_{1pn}); iv) Đá vôi dạng khối tinh khiết hệ tầng Bắc Sơn (C-Pbs); v) Đá lục nguyên hệ tầng Khe Giữa (P_2kg); vi) Cuội kết, sạn kết và cát bột kết tuổi Creta hệ tầng Mụ Giạ (K_{mg}); và vii) Cát bột kết tuổi Neogen hệ tầng Đồng Hới (N_{dh}) và 5 hệ tầng trầm tích Đệ Tứ bỏ rời (Q) phân bố trên các thềm, bãi bồi sông miền núi, đồng bằng sông-lagoon ven biển và các cồn cát thạch anh ven biển.

2.2.3. Phương pháp nghiên cứu địa mạo nguồn gốc và địa mạo lịch sử

Phương pháp nghiên cứu địa mạo nguồn gốc đã chứng minh được tính đa dạng về địa hình và địa mạo khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng. Phương pháp này chủ yếu nghiên cứu ngoài thực địa và giải đoán ảnh viễn thám bao gồm 2 bước: i) Bước 1: nghiên cứu thực địa: quan sát địa hình và thành phần thạch học liên quan, đo độ dốc mỗi kiểu địa hình, mạng lưới thủy văn và chụp ảnh địa hình; và ii) Bước 2: nghiên cứu trong phòng: giải đoán ảnh viễn thám để chính xác hoá phân loại địa hình địa mạo theo quan điểm địa mạo nguồn gốc và địa mạo lịch sử.

2.2.4. Phương pháp xác định tuổi của hệ thống hang động

Tuổi của hệ thống hang động Phong Nha - Kẻ Bàng được xác định dựa trên 3 bước: i) Xác định độ cao, độ sâu của tất cả các hang và ngắn biển so với mực nước biển hiện đại; và ii) Phân

tích tuổi tuyệt đối của sò ốc tại ngân biển cao 5 m ở hang Chày bằng phương pháp phân tích ¹⁴C cho kết quả là 5,5 ka BP tương ứng với pha biển tiến cực đại Holocen giữa. Kết quả này hết sức quan trọng xác định tuổi của ngân biển sẽ giúp xác định được tuổi của các hang và ngân biển cao hơn và thấp hơn ngân biển này theo tuổi các chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu.

3. Cơ sở khoa học chứng minh cho các tiêu chí di sản thiên nhiên thế giới

3.1. Tính đa dạng địa chất và lịch sử phát triển lâu dài của vỏ Trái Đất khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng

Vỏ Trái Đất khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng có một lịch sử phát triển lâu dài và liên tục từ 450 triệu năm đến nay trải qua các giai đoạn Cambri (540-410 Ma); Devon (410-355 Ma); Carbon-Permi (355-250 Ma); Mezozoi (250-65 Ma) và Kainozoi (65 Ma đến nay) (Hình 1, 2) [6].


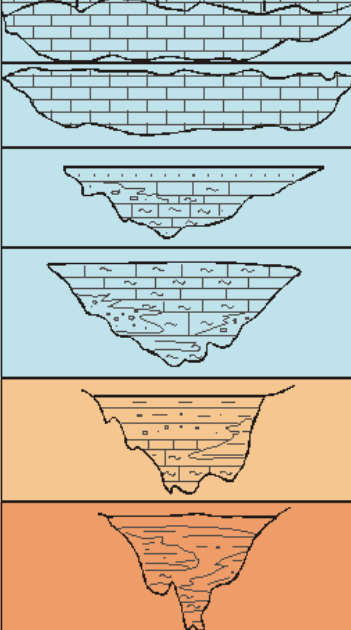
Lịch sử phát triển vỏ Trái Đất đã hình thành ra các bề trầm tích phát triển có tính kế thừa. Vì vậy, chúng có hình dạng khác nhau và được lấp đầy bởi các vật liệu trầm tích cũng khác nhau theo quy luật tiến hoá.

Trong thời kỳ Ordovic-Silur (O-S) bề trầm tích có dạng tuyến hẹp được lấp đầy bởi trầm tích lục nguyên - silic có cấu tạo turbidit (hệ tầng Long Đại và Đại Giang).

Đến thời kỳ Devon bề trầm tích có dạng tuyến mở rộng phát triển trầm tích vôi-silic cấu tạo dạng phân lớp mỏng và turbidit. Thành phần đá vôi khá phức tạp bao gồm hàm lượng calcit chiếm dưới 70%, silic khoảng 20%, sét 15%. Đá luôn luôn chứa hàm lượng dolomit khoảng 10% điều đó chứng tỏ bề trầm tích dạng vũng vịnh nửa kín và sâu, chế độ khử yếu và kiềm mạnh (pH > 9) thống trị (Hình 3). Phần trên của bề trầm tích chuyển sang lục nguyên mịn chủ yếu là đá sét chứa bitum môi trường vũng vịnh kín môi trường khử thống trị (Hình 4).

CỘT ĐỊA TẦNG QUỐC TẾ			HỆ TẦNG
GIỚI	HỆ	Tuổi (Tr. n)	
KAINOZOI	ĐỆ TỬ	1.75	- Các thành tạo bờ rời
	NEOGEN	23.5	- HT Đồng Hới (N ₁ -N ₂ , đh)
	PALEOGEN		
MESOZOI	CRETA	65	- HT Mụ Giạ (Kmg)
	JURA	135	
	TRIAS	203	- HT Khe Giữa (P ₂ kg)
	PECMI	250	- HT Bắc Sơn (C-Pbs)
PALEOZOI	PECMI	295	- HT Phong Nha (D ₃ -C ₁ ,pn)
	CARBON	355	- HT Cát Đàng (D ₃ cđ)
	DEVON		- HT Động Thờ (D ₂ g-D ₃ frđđ)
	SILUA	410	- HT Mục Bãi (D ₂ gmb)
	OCDOVIC		- HT Bản Giàng (D ₁ -D ₂ ebg)
CAMBRI	540	- HT Rào Chan (D ₁ rc)	
			- HT Long Đại (O ₃ -S ₁ ,lđ)
			- HT A Vương (C-Oav ₂)

Hình 1. Thang địa tầng trầm tích khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng và lân cận (Tạ Hoà Phương, 1999) [6].

Các GD phát triển	Tuổi địa chất		Đặc điểm thạch học	Tiến hóa các bồn trầm tích
	Hệ tầng	Tr.n		
KAINOZOI	N ₂ -Q	↑ 5		Phát triển kiến tạo hang động
	N	↑ 65		Tạo thêm hang, Carst hóa và tạo thạch nhũ, Travetin
MESOZOI	- Mụ Giã (Kmg)	↑ 250		Bồn lục nguyên ven rìa phát triển trên nền hoang mạc đá vôi
CARBON-PECMI	- Khe Giữa (P ₂ kg)	↑ 272		Bồn dạng đẳng thước đá vôi platform
	- Bắc Sơn (C-P bs)	↑ 295		Bồn nông lục nguyên - vôi
	- Hệ tầng La Khê (C, lk)	↑ 320		Bồn dạng tuyến sâu đá vôi - silic
DEVON	- Phong Nha D ₂ -C ₁ pn	↑ 355	Bồn dạng tuyến lục nguyên	
	- Rào Chan (D ₁ rc)	↑ 410	Bồn dạng tuyến lục nguyên	
	- Bản Giàng (D ₁ -D ₂ e bg)	↑		
	- Mụ Bãi (D ₂ g mb)	↑		
O-S	- Động Thờ (D ₂ g-D ₂ fr đđ)	↑		
	- Cát Đằng (D ₂ cđ)	↑		
	- Đại giang (S ₂ -D ₁ đg)	↑		
	- Long Đại (O ₂ -S ₁ lđ)	↑ 450		

Hình 2. Các giai đoạn phát triển bề trầm tích khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng (Trần Nghi, 1999) [6].



Hình 3. Đá vôi-silic tuổi Devon cấu tạo phân lớp mỏng chứa nhiều ô và thấu kính silica lộ ra bên bờ sông Chày (Ảnh Trần Nghi, 1999) [6].



Hình 4. Đá phiến sét chứa bitum màu xám đen tuổi Devon, hệ tầng Rào Chan (D₁rc) bị phong hoá thành màu vàng đỏ (Ảnh Tạ Hoà Phương; Trần Nghi, 1999) [6].



Hình 5. Đá vôi dạng khối (platform) tuổi Carbon-Permi (C-P) với vách trượt thẳng đứng do đứt gãy (Ảnh Trần Nghi, 1999; khu vực Phong Nha) [6].

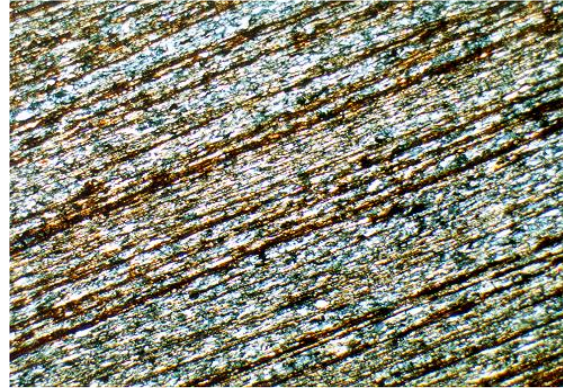
Trong thời kỳ Carbon-Permi (C-P) bề trầm tích có dạng hình ovan đến đẳng thước, trầm tích vôi khá tinh khiết dạng khối (platform). Hàm lượng calcit chiếm trên 80%, silic dưới 5%, sét khoảng 5% và vắng mặt dolomit (Hình 5); điều đó chứng tỏ môi trường biển vũng vịnh nông và rộng, chế độ kiềm ổn định giàu bicarbonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Đá vôi dạng khối tuổi Carbon-Permi chiếm khối lượng và diện tích rộng lớn ở khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng là điều kiện cần để hình thành các hang sông kéo dài, quy mô lớn, thạch nhũ đẹp tinh khiết, hang có tuổi cổ và nhiều thể hệ thạch nhũ chồng phủ lên nhau.



Hình 6. Cuội tầng kết tương proluvi hệ tầng Mụ Giạ (Kmg). Thành phần thạch anh nhiệt dịch chứa cuội tầng mài tròn tốt, chọn lọc kém (Ảnh Trần Nghi, 1999) [6].

Giai đoạn Mesozoi trong khu vực nghiên cứu lộ ra các loại đá lục nguyên từ rất thô đến rất mịn

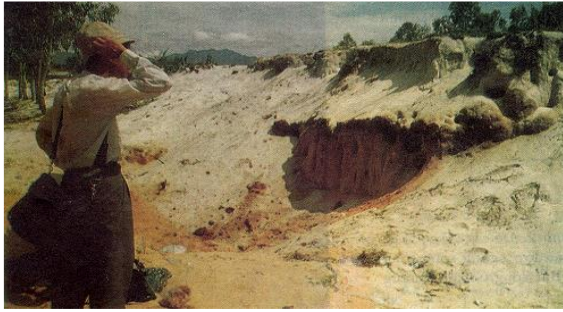
phản ánh một pha biến tiến mạnh mẽ: phần dưới là cuội kết phân trên là bột kết xen sét kết hệ tầng Mụ Giạ tuổi Kreta (Kmg) (Hình 6, 7).



Hình 7. Sét kết phân lớp ngang song song mịn, môi trường vũng vịnh nông, tuổi Kreta, hệ tầng Mụ Giạ (Kmg).

Trong Kainozoi bắt đầu từ 32 triệu năm đáy Biển Đông bắt đầu tách giãn theo 3 chu kỳ: 32-26 Ma, 26-21 Ma, 21-16 Ma. Đến 16 triệu năm thì quá trình tách giãn bị dừng lại. Tiếp đến là các chu kỳ sụt lún và nâng trồi của các bề trầm tích Kainozoi trên thêm lục địa Việt Nam: 16-11 Ma; 11-5 Ma và 5 Ma đến nay. Khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng bị biến cải mạnh mẽ bởi hoạt động kiến tạo-địa động lực: đứt gãy kiến tạo theo 4 hướng ĐB-TN, TB-ĐN, TĐ và BN đã khai sinh ra dòng sông Son, sông Chày, các hang khô, hang treo và các hang động thấp có sông chạy dọc theo hang như hang Phong Nha. Chuyển động sụt lún và nâng trồi khối tầng ngược chiều đã tạo ra vô số các vách trượt màu trắng bạc vĩnh cửu thẳng đứng của các khối đá vôi Carbon-Permi. Chính chuyển động nâng trồi và sụt lún ngược chiều này đã tạo nên sự đối lập về vị trí cao sâu giữa các hang treo và hang ngầm. Quy luật này hết sức quan trọng vì không ít các nhà nghiên cứu đã nhầm lẫn cho rằng các hang động ở dưới lòng là do quá trình rửa lũa của các dòng nước ngầm đối với các khối đá vôi dưới sâu. Thực chất đây là những hang được thành tạo trên mặt đất như những hang đang hiện diện trên bề mặt hiện tại nhưng bị nhấn chìm do các pha sụt lún kiến tạo.

Trong giai đoạn Đệ Tứ có 3 thành tạo tiêu biểu: i) Các thềm sông và đồng bằng thung lũng hẹp; ii) Các đồng bằng sông-lagoon có tuổi từ Pleistocen sớm đến Holocen ($Q_1^1, Q_1^{2a}, Q_1^{2b}, Q_1^{3a}, Q_1^{3b}-Q_2$); và iii) Các đê cát ven bờ và cồn cát ven biển có tuổi từ Pleistocen sớm đến Holocen (Hình 8) [7].



Hình 8. Cát đụn do gió màu xám trắng cấu tạo khối tuổi Holocen muộn (Q_2^3) phủ trên cát vàng Pleistocen muộn, phần muộn (Q_1^{3a}). Cát vàng có cấu trúc 2 lớp: i) Lớp dưới là đê cát ven bờ do sóng tạo ra, màu vàng trắng loang lổ, cấu tạo thành từng lớp nằm ngang không hoàn chỉnh; và ii) Lớp trên là cát đụn do gió màu vàng đồng nhất cấu tạo khối (Ảnh Trần Nghi, 1999) [6].

3.2. Tính đa dạng về địa hình-địa mạo

Tính đa dạng về địa hình-địa mạo được thể hiện trên toàn khu vực vườn quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng. Đó là kết quả của quá trình địa chất nội sinh và ngoại sinh đã hoạt động đồng thời từ đầu Kainozoi đến nay [6]. Có thể phân loại các dạng địa hình-địa mạo trong khu vực nghiên cứu như sau: i) Địa hình đá vôi dạng tháp đỉnh tròn bề mặt carur với vách trượt thẳng đứng nhẵn bóng màu trắng bạc; ii) Địa hình đá vôi dạng tháp đỉnh tròn (Hình 5) và đỉnh nhọn (Hình 9) xen kẽ với các thung lũng karst và các dòng sông nhánh (Hình 9); iii) Địa hình núi đất đỉnh tròn xen kẽ với địa hình Karst bị phủ bởi trầm tích deluvi lục nguyên dày phát triển rừng rậm nguyên sinh (Hình 10); iv) Các bậc thềm sông và thềm biển có độ cao tương đương với độ cao các thể hệ hang động cổ (Hình 10); và v) Mạng lưới thủy văn và thung lũng karst dày đặc bắt nguồn từ các khu vực có vỏ phong hoá terarossa mang phù sa đỏ về khi mưa lũ dài ngày biến sông Son

trong xanh trong mùa khô thành con sông đỏ vào ngày lũ, vì vạt sông có tên là sông Son.



Hình 9. Các núi đá vôi hình tháp đỉnh nhọn, vách trượt nhẵn màu trắng bạc (ảnh Đặng Văn Bào, 1999) [6].



Hình 10. Cảnh quan các đơn vị địa hình-địa mạo từ gần đến xa: i) Bãi bồi hẹp và cao của thung lũng sông Son (sông miền núi) đang bị xói lở tạo nên vách thẳng đứng cao 15 m, bãi sông ở chân dốc rất hẹp; ii) Phía sau bãi bồi sông miền núi là địa hình núi thấp đỉnh tròn do bào mòn và phong hoá trên núi đá lục nguyên; và iii) Dãy núi phía sau là rừng già nguyên sinh (Ảnh: Đặng Văn Bào và Trần Nghi, 1999; khu vực Khe Gát Bó Trạch) [6].

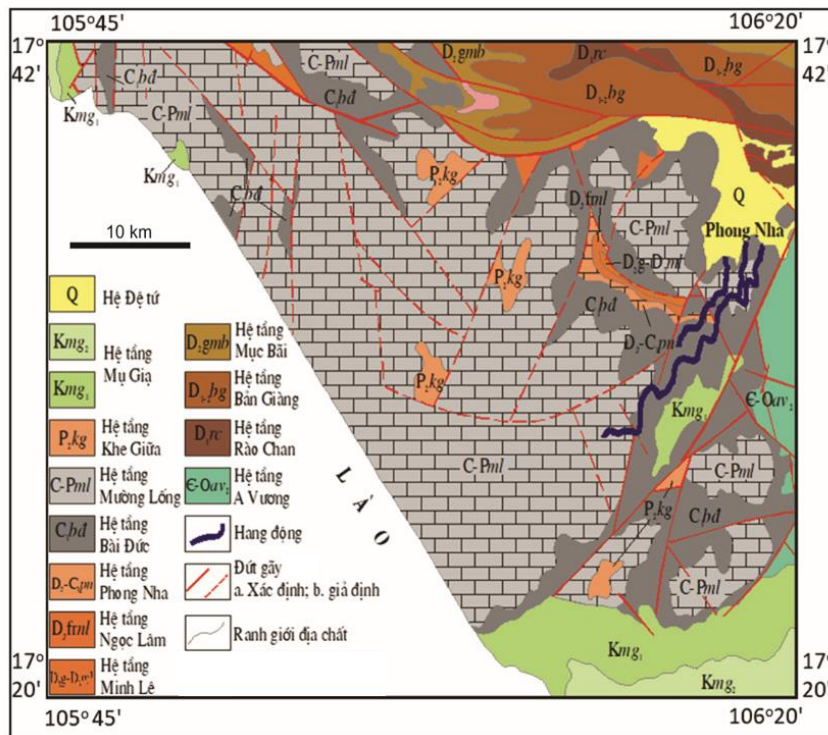
3.3. Địa chất hang động và phong cảnh đẹp độc đáo

3.3.1. Quá trình địa chất nội sinh

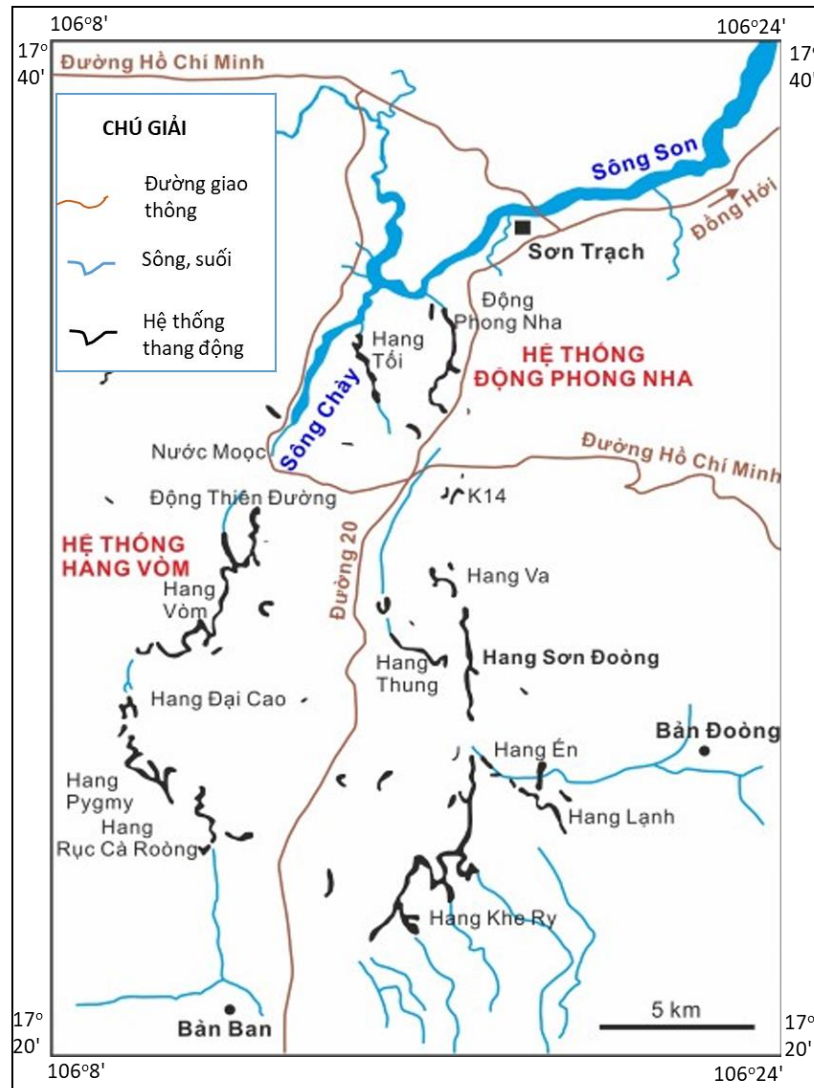
Đứt gãy kiến tạo phá huỷ là người mẹ khai sinh ra dòng sông Son và hệ thống hang động

Phong Nha-Kẻ Bàng. Trong các pha nâng trời tạo núi Kainozoi, bắt đầu từ 32 triệu năm đã xuất hiện 4 hệ thống đứt gãy phá huỷ chạy theo 4 phương: ĐB-TN, TB-ĐN, TĐ và BN (Hình 11) đã tạo ra hoang mạc đá vôi với vô số các khối núi hình tháp đỉnh nhọn với những vách trượt nhẵn màu bạc trắng vĩnh cửu (Hình 9). Song song với các phương đứt gãy này trong lòng của hoang mạc đá vôi có hàng loạt các hang động. Đã có tác giả người nước ngoài cho rằng quá trình thành tạo hang động là bắt đầu từ việc mở rộng các khe nứt rộng từ vài milimet nghĩa là theo phương thức “nước chảy đá mòn”. Có lẽ họ không phải là các nhà địa chất nên giải thích các hiện tượng địa chất mang tính chất tương tượng không dựa trên cơ sở khoa học. Điều kiện thành tạo các hang dài và sâu là phụ thuộc vào quy mô và cường độ đứt gãy mạnh hay yếu. Hệ thống hang động Phong Nha - Kẻ Bàng có quy mô lớn, hang dài, sâu và rộng do 4 tuyến đứt gãy kéo dài xuyên không gian, mặt đứt gãy thẳng đứng liên quan đến quá trình tạo núi ép trời với lực ép 2 phía cân

bằng. Những đứt gãy này có 2 kiểu khác nhau: i) Đứt gãy phá huỷ có biên độ dịch chuyển lớn tạo nên sông Son và các nhánh sông Son (Hình 11, 12); và ii) “Đứt gãy âm” tạo nên sự phá huỷ sụp đổ khối tảng theo tuyến kéo dài trong lòng các khối đá vôi. Hai cánh đứt gãy khép kín ở trần hang và một phía liên thông với mặt đất để tiếp nhận các dòng lũ travertin vào mùa mưa. Hình dạng của hang thường có 2 vách trần đối xứng khép lại nhưng vẫn còn khe hở tựa như 2 mái nhà có nóc bị dột. Các khối đá vôi bị phá huỷ rơi xuống đáy sâu để lại một khoang rộng kéo dài theo phương đứt gãy. Con sông chảy theo hang Phong Nha nối liền với sông Son là do đứt gãy này cắt đứt gãy lớn tạo nên sông Son. Hang nào có kích thước lớn cả 3 chiều chứng tỏ cường độ hoạt động đứt gãy phá huỷ rất mạnh mẽ. Hang có phong cảnh đẹp độc đáo và đa dạng là phụ thuộc vào hệ thống khe nứt trên trần hang cũng hết sức đa dạng. Dọc theo tuyến hang thỉnh thoảng có các động cao và rộng đó là vị trí 2 tuyến đứt gãy cắt nhau.



Hình 11. Sơ đồ địa chất biểu diễn sự phân bố các hệ tầng và đứt gãy (Trần Nghi, Tạ Hoà Phương biên hội, 1999) [6].



Hình 12. Sơ đồ phân bố hệ thống hang động theo 4 phương cơ bản trùng với 4 phương đứt gãy (xem Hình 11) [6].

Phương ĐB-TN: Sông Sơn, sông Chày; hang Khe Ry, hang Vòm;

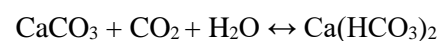
Phương TB-ĐN: hang Pygmy, hang Tỏi, hang Lạnh;

Phương BN: hang Phong Nha, hang Sơn c, hang Ớn

Phương TĐ: hang Thung, hang Rục-Cà Ròng.

3.3.2. Quá trình địa chất ngoại sinh

Sau khi thành tạo các hang thô quá trình gia công trau chuốt đánh bóng và trang điểm đã liên tục xảy ra làm thay đổi căn bản bộ mặt và phong cảnh trong hang nhờ các quá trình hoà tan và kết tủa CaCO_3 theo phương trình phản ứng thuận nghịch sau đây:



i) Quá trình tạo thạch nhũ, măng đá

Thạch nhũ là sản phẩm của quá trình kết tủa CaCO_3 từ trên trần hang xuống, còn măng đá là kết tủa các giọt nước “thừa” rơi từ trần hang xuống đúng vị trí tạo thạch nhũ trên trần. Đến một lúc nào đó măng đá và thạch nhũ sẽ gặp nhau và trở thành một cột đá phủ ngàn sao lấp lánh do

các tinh thể calcit được tái kết tinh thành hạt lớn tự hình (Hình 13, 14);

Khi khối thạch nhũ quá nặng sẽ bị rơi xuống sàn hang và quá trình tạo măng đá xảy ra trên một diện rộng phát triển phủ trên khối thạch nhũ của thể hệ trước tạo nên phong cảnh kỳ vĩ huyền thoại vừa giống các đàn voi, sư tử, các cụ rùa vừa giống các địa phủ với các tượng phật, la hán, ông tiên, ông bụt và các nàng tiên giáng trần. Phong cảnh muôn màu muôn vẻ đã hấp dẫn du khách không chỉ vì cái đẹp huyền thoại mà cả sự linh thiêng toát ra do mỗi người cảm nhận. Nhiều khối thạch nhũ cổ bị rơi nhưng vẫn chưa phát triển thêm các lớp măng đá mới (Hình 15);

ii) Quá trình trầm tích của Travectin

Travectin là trầm tích trong hang động có màu xám đen và xám xanh được vận chuyển và lắng đọng trong mùa mưa lũ xuất hiện các dòng chảy lũ bùn đá bắt nguồn từ ngoài hang rồi chảy cuộn cuộn vào trong hang. Chúng vừa bào mòn cơ học trần hang, vách hang và lắng đọng trầm tích bùn cát có thành phần hỗn hợp: cát, sạn và bùn sét lục nguyên, mảnh dăm đá vôi vụn và bùn vôi. Travectin có cấu tạo phân lớp ngang, phân lớp xiên chéo đồng hướng. Thành phần carbonat calci được kết tủa từ bicarbonat quá bão hoà trong thời kỳ lắng đọng trầm tích và kết tủa sau khi đã kết thúc lắng đọng trầm tích. Hình dạng của các thể trầm tích travectin hết sức đa dạng và phân bố khắp mọi nơi trong hang theo địa hình khác nhau và nhiều giai đoạn địa chất khác nhau phụ thuộc vào nguồn cung cấp vật liệu từ ngoài hang vào do các dòng lũ và phụ thuộc vào mực nước dâng cao và hạ thấp của cơn lũ. Trong hang Phong Nha có địa hình đơn nghiêng travectin tạo thành các lớp trầm tích trên nền hang nghiêng về phía dòng sông đồng hướng với hướng dòng nước lũ mùa mưa. Travectin còn tạo ra một nấm hình xoáy ốc khổng lồ trong hang Sơn Đòng. Đây là sản phẩm của quá trình tích tụ trầm tích theo dòng lũ bùn đá travectin khi gặp một khối đá chặn dòng thì chúng vừa chuyển động xoay tròn theo khối đá vừa tích tụ cơ học vừa kết tủa CaCO_3 tạo ra hình xoáy ốc theo từng chu kỳ của các cơn lũ. Trên đỉnh có bề mặt bằng phẳng là đánh dấu đỉnh lũ cao nhất tại đó tựa như một bậc thềm sông hoặc thềm biển (Hình 16);



Hình 13. Thạch nhũ và măng đá gặp nhau nổi thành cột, các vết khía tạo dáng là do nước chảy thành dòng tạo khía vào mùa mưa (Ảnh H. Limbert, 1995).



Hình 14. Măng đá hình chuông, chân cột đá bị lõm sâu vào do gặm mòn của mực nước lũ hàng năm; các rãnh khía thẳng đứng được tạo ra do quá trình mài mòn của vô số các dòng chảy nước mưa mùa lũ từ trần xuống. (Ảnh H. Limbert, 1995).



Hình 15. Một khối thạch nhũ cổ rơi từ trần hang xuống trong động Phong Nha bị quá trình mài mòn thay đổi hình dáng liên tục do các dòng lũ hàng năm tác động (Ảnh H. Limbert, 1995).

Một dạng trầm tích travectin độc đáo khác là hình thành “ruộng bậc thang rẽ quạt” thu nhỏ

(Hình 17). Các khay hình quạt dạng bậc được hình thành theo 2 giai đoạn: 1) Giai đoạn 1 lắng đọng một tầng dày bùn cát travertin phủ trên một sườn dốc dạng bậc thang; và 2) Giai đoạn 2: dòng lũ xoáy đã chia cắt lớp bùn travertin thành ô trũng liên tiếp theo sườn dốc. Các “bờ” ngăn giữa các ô trũng hình ruộng bậc thang rẽ quạt này có thành phần trầm tích là travertin và giống với thành phần các quả cuội hình cầu nằm trong khay. Điều đó chứng tỏ các quả cuội travertin và các vách bờ ngăn là cùng có một nguồn gốc;



Hình 16. Nấm xoáy trong động Sơn Đoòng. Nấm xoáy được thành tạo do có một khối tầng lớn đá vôi chặn giữa dòng lũ bùn đá travertin. Hàng năm vào mùa lũ trầm tích bùn đá travertin được bồi đắp xung quanh khối tầng đá vôi theo hình xoáy ốc từ thấp đến cao và từ trong ra ngoài. Đỉnh nấm xoáy bằng phẳng là đánh dấu mực nước lũ hang cao nhất tựa như một bậc thềm (Ảnh Tạ Hoà Phương, 2019).

iii) Cuội travertin và ngọc động

Ngọc động là thuật ngữ do các nhà nghiên cứu hang động đặt ra để chỉ các hạt cuội tròn và bầu dục có kích thước khác nhau nằm rải rác hoặc phân bố tập trung được tạo ra do dòng nước chảy rôi trong mỗi hốc travertin. Bài báo này sẽ chính xác hoá lại khái niệm ngọc động nói trên gồm 2 loại có nguồn gốc và cơ chế thành tạo khác nhau là cuội travertin và ngọc động: 1) Cuội travertin có hình dạng như những hòn cuội đá vôi mài tròn tốt (Hình 17) hoặc giống như những quả na (Hình 17A). Thực chất đây là những mảnh bùn đặc travertin được vo tròn giống như những hòn cuội mặt ngoài nhẵn nhưng bên trong là vật liệu travertin đồng nhất hoặc gồm các hạt kết vón

của bùn vôi và mảnh vụn đá vôi được gắn kết với nhau bởi keo bicarbonat. Thành phần các hòn cuội quả na và thành phần của các vách ngăn (Hình 17) đều là vật liệu trầm tích travertin. Dưới tác động của dòng lũ xoáy bùn đặc travertin vừa tạo ra các vách ngăn vừa tạo ra các hòn cuội do bùn đặc travertin bị chia cắt thành từng mảnh và bị vo tròn thành từng viên giống như những quả na hoặc quả cam bị giữ lại trong hóc có vách ngăn hình rẽ quạt; và 2) Cuội ngọc động cấu tạo đồng tâm (Hình 17B) là sản phẩm của quá trình kết tủa CaCO_3 xung quanh một vật thể nào đó trong trạng thái chuyển động theo các dòng nước rôi trong hang vào mùa lũ. Nhân kết tủa có thể là mảnh vụn đá vôi hoặc một kết vón travertin có trước nằm trên đáy các hóc travertin đã cứng chắc. Các lớp carbonat calci kết tủa từ dung dịch bicarbonat quá bão hoà ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Chúng có cấu tạo đồng tâm tựa như vòng tăng trưởng của một thân cây (Hình 17B). Các vòng đồng tâm có màu đỏ, vàng, trắng xen kẽ nhau chứng tỏ mỗi một giai đoạn kết tủa dung dịch bicarbonat chứa một loại tạp chất mang màu khác nhau. Các vòng đồng tâm này được kết tủa trong trạng thái hòn cuội luôn luôn chuyển động xoay tròn theo dòng nước xoáy.



Hình 17. Ngọc động xếp đầy trên các ngăn ô tựa “ruộng bậc thang” thu nhỏ. Các ngăn ô này được hình thành trên một sườn dốc dạng bậc thang. Dòng bùn travertin kiến lập nên các gờ bao do vô số các dòng lũ hang đổ xuống tựa như các dòng thác thu nhỏ dồn bùn travertin ra tạo thành gờ bao. Các viên cuội hình cầu và hình bầu dục là sản phẩm của bùn đặc travertin được hình thành do các dòng chảy xoáy tròn trong từng ô bậc thang (Ảnh: Tạ Hoà Phương).

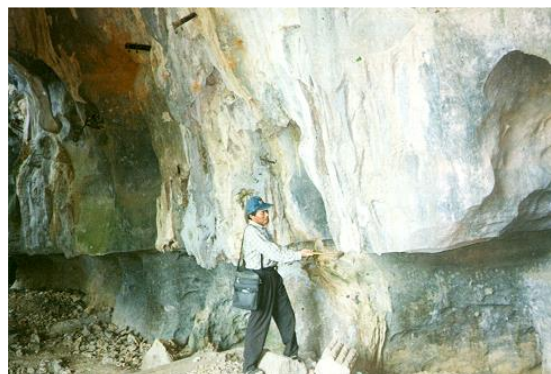


Hình 17. Cuội “ngọc động” ở hang Phong Nha gồm 2 kiểu: (A) Dạng quả na được thành tạo do bùn đặc travertin chứa nhiều vật liệu vụn cơ học được chia sẻ và vo tròn do các dòng nước chảy xoáy tròn trong từng ô “ruộng bậc thang” (Hình 15); Lát cắt một “quả na” thấy rõ các hạt riêng lẻ được gắn kết lại do bùn travertin kết tủa; (B) Dạng trong suốt như viên ngọc được thành tạo do quá trình kết tủa dung dịch bicarbonat quá bão hoà xung quanh một mảnh vụn cơ học trong quá trình nước chuyển động rồi trong các ô bậc thang (Ảnh: Tạ Hoà Phương, 2019).

3.4. Tuổi của hang động

Tuổi của hang động Phong Nha-Kẻ Bàng được xác định bằng phương pháp ^{14}C và phương pháp đối sánh. Độ cao các hang hiện tại là bằng chứng tin cậy cho việc xác định tuổi tương đối của hang theo quy luật tuổi của thềm sông và thềm biển là: hang càng cao thì có tuổi càng cổ. Vị trí độ cao của hang do 2 yếu tố quyết định: i) Sự thay đổi mực nước biển cổ do biển tiến và biển thoái; và ii) Chuyển động nâng kiến tạo sau khi hang động đã hình thành. Hang Xà Phòng có độ cao 5m trùng với ngấn biển 5,5 ka BP là một minh chứng đáng tin cậy để thực hiện các phép so sánh tuổi và độ cao của tất cả các hang còn lại (Hình 18). Hang nào có độ cao khoảng 5 m cùng độ cao với ngấn biển 5 m như hang Xà Phòng thì có tuổi từ 6 đến 5 ngàn năm cách ngày nay (tuổi theo ^{14}C). Tuổi cổ nhất của hang Phong Nha-Kẻ Bàng là cùng tuổi với hệ thống đứt gãy 32 triệu năm khi đáy Biển Đông bắt đầu tách giãn (32-26 Ma) có độ cao trên 1500 m tương ứng với bề mặt san bằng tuổi Oligocen ở các khu vực khác của Việt Nam. Lúc đó hoang mạc đá vôi Phong Nha-Kẻ Bàng bị các hệ thống đứt gãy phá huỷ, đồng thời tạo thành các tuyến đứt gãy phá huỷ chạy song song với 4 phương đứt gãy nhưng lại bị

khép kín trong lòng các khối đá vôi dạng khối (platform) với chiều dài của hang đến nay chưa được khám phá hết.



Hình 18. Ngấn biển hang Xà Phòng cao 5 m có tuổi 5,5 ka BP (ảnh Trần Nghi, 1999) [6].

Nếu tính từ thấp đến cao tức từ trẻ đến cổ ta có các thế hệ hang sau đây:

- Hang Khe Ry: cao 1500-1600 m, có tuổi Oligocen sớm (E_3^1) (32 triệu năm BP), chạy theo phương ĐB-TN;
- Hang Én: cao 360 m, có tuổi Pliocen sớm (N_2^1) (4 triệu năm BP) chạy theo hướng TB-ĐN, tương ứng với pha gian băng B-C (5,1-4,0 triệu năm);
- Hang Vòm: cao 300 m, có tuổi Pliocen giữa (N_2^2) (2,8 triệu năm BP), chạy theo phương ĐB-TN, tương ứng với gian băng C-Donau (3,7-2,8 triệu năm);
- Hang Thung: cao 133 m có tuổi Pliocen muộn (N_2^3) (1,9 triệu năm BP); chạy theo phương TB-ĐN, tương ứng với pha gian băng Donau-Gunz (2,3-1,9 triệu năm);
- Hang Phong Nha: cao 83 m có tuổi Pleistocen sớm (Q_1^1) (800 ka BP), chạy theo phương bắc nam, tương ứng với pha gian băng Gunz-Mindel (1,4-0,8 triệu năm);
- Hang Tối: cao 80 m, có tuổi Pleistocen giữa phần sớm (Q_1^{2a}) (191 ka BP), chạy theo phương TB-ĐN, tương ứng với pha gian băng Mindel-Riss (402-191 ka BP);
- Hang Én: cao 49 m, có tuổi Pleistocen giữa phần muộn (Q_1^{2b}) (83 ka BP); chạy theo hướng TB-ĐN, tương ứng với pha gian băng Riss-Wurm1 (130-83 ka BP);

- Hang Thiên Đường: cao 51 m, có tuổi Pleistocen giữa phần muộn (Q_1^{2b}) (83 ka BP); chạy theo hướng ĐB-TN, tương ứng với pha gian băng Riss-Wurm1 (130-83 ka BP);

- Hang Phong Nha khô, hang Dơi cao 25 m, Hang Chén Chuột, hang Minh Cầm cao 15 m có tuổi Pleistocen muộn phần sớm (Q_1^{3a}) (40 ka BP), tương ứng với pha gian băng Wurm1-Wurm2 (50-40 ka BP);

- Hang Xà Phòng có tuổi Holocen giữa (Q_2^2) (5,5 ka BP) (Hình 10). Tương ứng với pha biển tiến Flandrian.

4. Kết luận

i) Tính đa dạng của địa chất khu vực Phong Nha-Kẻ Bàng gắn liền với lịch sử phát triển địa chất lâu dài và thành phần thạch học đa dạng từ 435 triệu năm (Ordovic muộn) đến nay. Sự hiện diện trên bề mặt địa hình hiện tại 7 hệ tầng trầm tích trước Đệ Tứ và 5 hệ tầng trầm tích Đệ Tứ là bức tranh sinh động nhất để chứng minh điều đó. Bảy hệ tầng trước Đệ Tứ bao gồm: trầm tích lục nguyên hệ tầng Long Đại (O_3-S_1ld); đá vôi phân lớp mỏng xen các ô silic hệ tầng Rào Chan ($D1rc$); đá vôi dạng khối chứa dolomit xen đá vôi silic phân lớp mỏng hệ tầng Phong Nha (D_3-C_1pn); đá vôi dạng khối tinh khiết hệ tầng Bắc Sơn ($C-Pbs$); trầm tích lục nguyên hệ tầng Khe Giữa (P_2kg); trầm tích lục nguyên hệ tầng Mụ Giạ (Kmg); trầm tích lục nguyên hệ tầng Đồng Hới (N_1dh). 5 hệ tầng trầm tích Đệ Tứ bao gồm hệ tầng Pleistocen sớm (Q_1^1); hệ tầng Pleistocen giữa phần sớm (Q_1^{2a}); hệ tầng Pleistocen giữa phần muộn (Q_1^{2b}); hệ tầng Pleistocen muộn phần sớm (Q_1^{3a}); và hệ tầng Pleistocen muộn phần muộn-Holocen ($Q_1^{3b}-Q_2$);

ii) Đa dạng địa mạo được thể hiện qua tính đa dạng địa hình và thành phần thạch học: 1) Địa hình dạng tháp đỉnh tròn và dạng tháp đỉnh nhọn của các núi đá vôi; và 2) Địa hình đỉnh tròn của các núi đá lục nguyên. Hai địa hình này nằm xen kẽ nhau và bao quanh các đồng bằng karst, thung lũng karst và 2 bên bờ các dòng sông nhánh và sông Son.

iii) Quá trình hình thành hang động và phong cảnh đẹp độc đáo trong hang là một quá trình hoạt động địa chất nội sinh và ngoại sinh lâu dài:

1) *Quá trình địa chất nội sinh* là hoạt động đứt gãy sâu phá huỷ xảy ra trong lòng các núi đá vôi liên khối kéo dài từ huyện Bố Trạch sang đến lãnh thổ của Lào. Các đứt gãy này tạo nên một hệ thống hang động chạy theo 4 phương song song với 4 tuyến đứt gãy lớn tạo nên sông Son, sông Chày và các thung lũng karst:

- Phương ĐB-TN: sông Son, sông Chày; hang Khe Ry, hang Vòm;

- Phương TB-ĐN: hang Pygmy, hang Tỏi, hang Lạnh;

- Phương BN: hang Phong Nha, hang Sơn Đoòng, hang Én;

- Phương TĐ: hang Thung, hang Rục-Cả Ròng.

2) *Quá trình địa chất ngoại sinh* xảy ra đồng thời với quá trình đứt gãy tạo hang, được biểu hiện bởi quá trình sau: bào mòn cơ học và hoà tan ăn mòn bằng phương thức hoá học các vách đá vôi trong hang động, lắng đọng trầm tích travertin trên sàn hang, kết tủa thạch nhũ từ trần hang xuống theo khe nứt và kết tủa tạo nên các măng đá và cột đá hình thành những phong cảnh kỳ vĩ và độc đáo. Đó là kết quả của thể hệ hoạt động kế thừa nhau vừa xây dựng cái mới vừa phá huỷ và biến cải cái cũ;

iv) Hang động Phong Nha-Kẻ Bàng có tuổi cổ nhất Đông Nam Châu Á, gắn liền với tuổi của các pha tách giãn đáy Biển Đông, tuổi của các bề mặt san bằng và tuổi của các pha biển tiến trong Pliocen và Đệ Tứ. Tuổi cổ nhất là hang Khe Ry 32 triệu năm cao 1600 m và trẻ nhất là hang Dơi và hang Phong Nha khô 40 ngàn năm nằm ở độ cao 15-25 m.

Tài liệu tham khảo

- [1] A. E. Dovjicov, Geology of Northern Vietnam, Science and Technology Presss, Hanoi, 1971, 580pp (in Vietnamese).
- [2] N. T. Trung, Map of Geology and Minerals of Mahaxay-Dong Hoi, General Department of Geology and Mineral Resource, Hanoi, 1996.

- [3] N. H. Hung, P. K. Ngan, N. D. Hong, N. D. Khoa. D. N. Truong, Discover of Frasnian-Famennian Limestone (Upper Devon) in Quy Dat, Binh Tri Thien Area, *Journal of Earth Sciences*, Vol. 4, No. 2, 1996, pp. 27-28 (in Vietnamese).
- [4] T. Nghi et al., Quaternary Sedimentation of the Principal Deltas of Vietnam, *Journal of SE Asian Sciences*, Vol. 6, No. 2, 1991, pp. 103-110.
- [5] T. Nghi, H. T. So, Sedimentary Characteristics and Evolutionary History of Coastal Sand Formations in Quang Binh, *VNU Journal of Science*, TXIII, No. 3, 1997, pp. 39-47 (in Vietnamese).
- [6] T. Nghi et al., World Natural Heritage – Phong Nha - Ke Bang, Quang Binh, Vietnam, General Department of Geology and Mineral Resource, Hanoi, 2003 (in Vietnamese).
- [7] T. Nghi et al., Sedimentary Geology of Vietnam, Vietnam National University Press, Hanoi, 2018, 510pp (in Vietnamese).
- [8] T. Nghi et al., Sediments Atlas of Vietnam, Vietnam National University Press, Hanoi, 2021, 1000pp (in Vietnamese).