



Original Article

# Paleokarst in Phong Nha - Ke Bang - Hin Nam No and its Geomorphological and Geological Values

Mai Thanh Tan<sup>1,\*</sup>, Vu Thi Minh Nguyet<sup>1</sup>, Hoang Van Tha<sup>1</sup>,  
Bui Van Thom<sup>1</sup>, La The Phuc<sup>2</sup>, Luong Thi Tuat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geological Sciences (IGS), Vietnam Academy of Science and Technology (VAST),  
Lane 84, Chua Lang, Lang Thuong, Dong Da, Hanoi, Vietnam*

<sup>2</sup>*Applied Geological and Mineral Research Institute (AGMRI)  
No. 4, Lane 292, Nghi Tam, Yen Phu, Tay Ho, Hanoi, Vietnam*

Received 24 January 2024

Revised 24 July 2024; Accepted 8 August 2024

**Abstract:** Paleokarst, a karst landform developed in the geologic past and often buried by younger sedimentary rocks, has not received much attention in Vietnam. Field surveys and thin-section analyses have confirmed the presence of paleokarsts in the two adjacent national parks Phong Nha - Ke Bang (Vietnam) and Hin Nam No (Laos). They are mainly found in two types of buried karst surfaces (karren, polje) and filled karst fissures and caves, developed on the Middle Devonian (Givetian), Upper Devonian (Famennian), Lower Carboniferous and Carboniferous - Permian limestones. The karstification for the first time over whole unified territory of Phong Nha - Ke Bang - Hin Nam No (PNKB HNN) started in the Triassic and ended in the Middle Jurassic due to the unconformable coverage of Upper Jurassic - Cretaceous sediments. The paleokarst discoveries are additional evidences to shed light on the karst evolution from Triassic to Jurassic in the area. In addition, it also suggests a new direction in karst research in Vietnam, especially in dating karst landforms. Paleokarst evidences date Triassic to Jura for karstic landforms in PNKB HNN, much older than previous studies. Paleokarst with many significant sites found in PNKB HNN, deserves to be a new Outstanding Universal Value (OUV) for PNKB HNN.

**Keywords:** Paleokarst, buried karst, filled karst, Phong Nha – Ke Bang, Hin Nam No.

\* Corresponding author.

E-mail address: [maithanhtan@igsvn.vast.vn](mailto:maithanhtan@igsvn.vast.vn)

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.5065>

# Paleokarst khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng - Hin Nậm Nô và giá trị địa chất - địa mạo

Mai Thành Tân<sup>1,\*</sup>, Vũ Thị Minh Nguyệt<sup>1</sup>, Hoàng Văn Thà<sup>1</sup>,  
Bùi Văn Thơm<sup>1</sup>, La Thế Phúc<sup>2</sup>, Lương Thị Tuất<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam  
Ngõ 84, Chùa Láng, Láng Thượng, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam*

<sup>2</sup>*Viện Nghiên cứu Địa chất và Khoáng sản Ứng dụng  
Số 4, ngõ 292, Nghi Tàm, Yên Phụ, Tây Hồ, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 24 tháng 01 năm 2024,

Chỉnh sửa ngày 24 tháng 7 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 8 tháng 8 năm 2024

**Tóm tắt:** Paleokarst là một loại địa hình karst được hình thành trong quá khứ địa chất và bị chôn vùi bởi các đá trầm tích trẻ hơn. Loại hình này ở Việt Nam còn ít được quan tâm và ít được đề cập đến trong các nghiên cứu về địa chất - địa mạo karst. Khảo sát thực địa, phân tích quan hệ địa tầng và phân tích thạch học lát mỏng các đá carbonat và đá trầm tích vụn cơ học đã khẳng định có paleokarst ở cả hai Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng và Hin Nậm Nô (PNKB HNN). Paleokarst quan sát được chủ yếu dưới dạng bề mặt karst cổ (karren, polje) bị chôn vùi và các khe nứt, khe rãnh, hang hốc karst bị lấp nhét. Địa hình paleokarst phát triển trên các đá vôi Devon trung (bậc Givet), Devon thượng (bậc Famen), Carbon hạ và Carbon - Permi. Quá trình karst hóa lần đầu tiên thống nhất chung cho toàn bộ lãnh thổ PNKB HNN bắt đầu từ Trias và kết thúc vào Jura khi mà các paleokarst này bị phủ bất chỉnh hợp bởi các trầm tích Jura thượng - Creta. Phát hiện paleokarst là những minh chứng quan trọng làm sáng tỏ giai đoạn tiến hóa karst từ Trias đến Jura trong khu vực. Thêm vào đó, nó cũng gợi mở một hướng đi mới trong nghiên cứu karst ở Việt Nam, đặc biệt là xác định tuổi địa hình karst. Các bằng chứng paleokarst bổ sung thêm các dạng địa hình karst tuổi Trias - Jura, cổ hơn nhiều so với các nghiên cứu trước đây. Paleokarst với nhiều điểm phát hiện rất có ý nghĩa, xứng đáng là giá trị nổi bật toàn cầu mới cho khu vực PNKB HNN.

*Từ khóa:* Paleokarst, karst chôn vùi, karst lấp nhét, Phong Nha - Kẻ Bàng, Hin Nậm Nô.

## 1. Mở đầu

Karst là một kiểu địa hình được thành tạo do các quá trình rửa lũa hòa tan các đá có khả năng hòa tan và tích tụ các sản phẩm này. Khác với địa hình karst hiện đại, địa hình karst cổ (paleokarst) được hình thành trong quá khứ địa chất và vẫn đang được hiểu theo nhiều cách khác nhau. Jame và Choquette (1988) [1] định nghĩa

paleokarst là karst cổ bị chôn vùi bởi các đá hoặc trầm tích trẻ hơn, theo đó nó bao gồm cả paleokarst tàn dư (các địa hình có mặt trong bề mặt hiện tại song được hình thành trong quá khứ) và paleokarst bị chôn vùi (cảnh quan karst bị trầm tích vùi lấp). Bosák và nnk (1989) và Simms (2014) [2], coi paleokarst liên quan với karst phát triển hoàn toàn hoặc một phần trong các thời kỳ địa chất trong quá khứ bị chôn vùi

\* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: maithanhtan@igs.vn.vast.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5065>

bởi các đá trẻ hơn. Osborne (2013) [4] quan niệm paleokarst là những minh chứng về quá trình karst trong quá khứ hiện được lưu giữ trong đá; hay nói một cách khác, khi karst bị lấp nhét hay chôn vùi bởi trầm tích bị hóa đá mạnh thì cả phần nhét phủ và phần nền thể hiện một thực thể duy nhất gọi là paleokarst. Paleokarst theo định nghĩa này không nhất thiết phải lâu năm vì có những hang động được lấp nhét bởi vật liệu hóa đá nhanh, có thể chỉ khoảng 1000 năm tuổi, như ở các rạn san hô nổi ở Quần đảo Hawaii [4].

Karst phát triển trong quá khứ địa chất chủ yếu tập trung ở khu vực xích đạo cổ lên đến vĩ độ cổ 30° bắc và nam; các đặc điểm paleokarst vẫn còn tương đối phong phú ở đới 30-60° cổ song rất hiếm gặp nếu vượt quá lên phía bắc [2]. Ở Đông Nam Á, phân tích quan hệ địa tầng và mức độ tạo đá dựa trên tổng hợp các tài liệu, Mouret (1994) [5] đã chỉ ra 18 vị trí có paleokarst liên quan đến bất chỉnh hợp Permi muộn – Trias tại Thái Lan, Lào, Campuchia, Việt Nam và Nam Trung Quốc. Paleokarst này, trong đó có một số dạng địa hình xác định được như karst dạng tháp, thung lũng karst, karren, đồi, trũng, rãnh hang hốc,... được hình thành trong thời kỳ bóc mòn, gián đoạn trầm tích với khoảng thời gian thay đổi tùy theo địa phương, sau đó bị phủ bởi các đá trầm tích silic tuổi Mesozoi.

Ở Việt Nam, paleokarst khoảng tuổi cuối Permi – Jura đã được một số nhà nghiên cứu nước ngoài đề cập đến. Đáng kể như Bardossy (1989) [6], dựa trên tài liệu của Komlossy (1976) [7], đề cập bề mặt bị karst hóa “nhẹ” trên đá vôi Permi thượng ở khu vực Lạng Sơn và Cao Bằng mà trên đó đá chứa bauxite phủ lên một bề mặt gián đoạn trầm tích diễn ra sau một thời gian ngắn. Ở vùng núi Fansipan, Bardossy và nnk (1989) [8] dựa trên tài liệu của Glazek (1966) [8] cho rằng có bề mặt đá hoa bị karst hóa tại Quý Xa mà trên đó có phủ quặng sắt, sản phẩm của quá trình phong hóa, bóc mòn và tập trung tích tụ có thể bắt đầu vào Jura sớm và dựa theo tài liệu của Hoffet (1939) [10] cho rằng bề mặt này tồn tại dưới dạng hố sụt (sinkhole) sâu tới 40 m ở khu vực Làng Vinh. Paleokarst liên quan đến bất chỉnh hợp Permi muộn – Trias cũng đã được Mouret [5] chỉ ra ở khu vực Lạng Sơn, nơi các

trũng rãnh của karren cổ bị lấp nhét bởi cát kết tuổi Trias dựa theo tài liệu của Khang [11, 12] và ở Hạ Long dựa theo tài liệu của Deprat [13].

Ở Lào, paleokarst liên quan đến bất chỉnh hợp Permi muộn – Trias cũng đã ghi nhận được ở khu vực Trung Lào nơi địa hình karst phát triển trên đá carbonat tuổi Carbon – Permi bị phủ chủ yếu bởi các lớp trầm tích lục địa màu đỏ thuộc loạt Khorat [5]. Các nghiên cứu gần đây của (William, 2018) [14] và Bolger (2019) [15] đã ghi nhận dấu tích paleokarst trong phạm vi Vườn Quốc gia Hin Nậm Nô (VQG HNN) ở núi Phou Chang và nhánh hang Bancony trong hang Xe Bang Fai. Mặc dù nằm liền kề VQG HNN và có điều kiện địa chất, địa mạo tương đồng nhưng trong phạm vi Vườn Quốc gia Phong Nha – Kẻ Bàng (VQG PNKB) paleokarst chưa được đề cập đến.

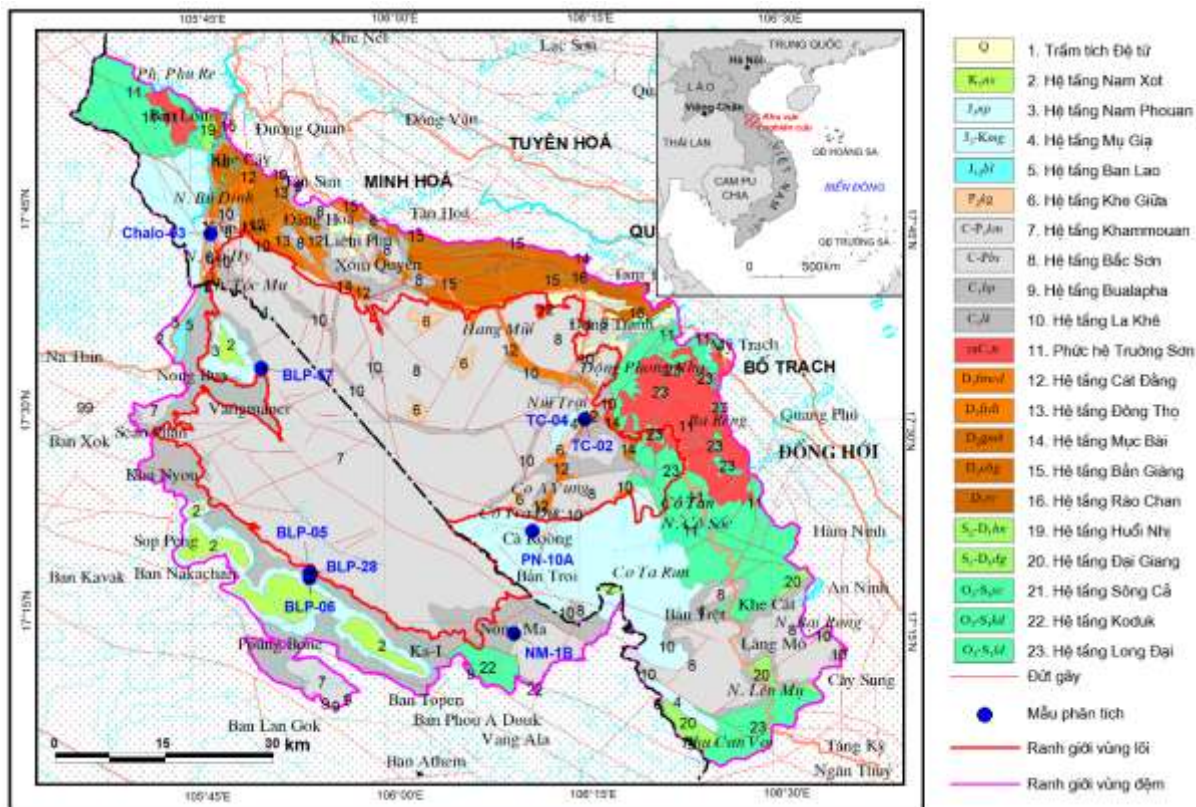
Các nghiên cứu đề cập trong bài báo này lần đầu tiên xác nhận dấu tích paleokarst ở ngoài thực địa và dưới lát mỏng thạch học tại khu vực VQG PNKB, đồng thời làm rõ hơn các dấu tích paleokarst trong phạm vi VQG HNN.

VQG PNKB (Quảng Bình – Việt Nam) đã được UNESCO hai lần công nhận là Di sản thiên nhiên thế giới (DSTNTG) vào năm 2003 theo Tiêu chí (viii) về địa chất, địa mạo và vào năm 2015 theo Tiêu chí (ix) về các quá trình sinh thái và sinh học trong tiến hoá và phát triển của các hệ sinh thái và Tiêu chí (x) về đa dạng sinh học. Ở VQG HNN (Khăm Muộn – Lào), các nghiên cứu gần đây bước đầu đã ghi nhận một số giá trị có ý nghĩa quốc tế tương tự VQG PNKB. Hai vườn quốc gia nêu trên tuy thuộc hai quốc gia khác nhau nhưng lại nằm liền kề nhau cùng trên một khối cao nguyên karst rộng lớn, một thể tự nhiên thống nhất không thể tách rời. Chính vì vậy chính phủ cả hai nước Việt Nam và Lào đều mong muốn Phong Nha – Kẻ Bàng và Hin Nậm Nô được liên hợp lại trở thành một DSTNTG xuyên biên giới chung cho cả hai quốc gia.

Các tài liệu đo vẽ địa chất tỷ lệ 1:200.000 (Nguyễn Xuân Dương, 1996; Trần Tính, 1996; Trần Văn Bạ, 2000) [16-18] cho thấy PNKB HNN có mặt 23 thành tạo địa chất tuổi từ Ordovic muộn đến nay với 23 thành tạo địa chất

chính (Hình 1). Các dấu ấn về phát triển địa chất trong Devon không có mặt ở Hin Nậm Nô nhưng

có thể bắt gặp ở các khu vực lân cận cả ở phía Lào và Việt Nam.



Hình 1. Địa chất khu vực PNKB HNN và các vị trí lấy mẫu nghiên cứu paleokarst. (Địa chất tổng hợp từ [16]).

Thời kỳ Ordovic muộn – Devon sớm có các đá: phiến thạch anh sericit, phiến sericit, phiến sét, cát kết, cát kết dạng quazit, cát bột kết, cát kết tuf, cuội kết đa khoáng, thấu kính andesit và phun trào axit thuộc các hệ tầng Long Đại (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>lđ), Sông Cả (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>sc) và Koduk (O<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>kd) tuổi Ordovic muộn – Silur sớm; phiến sericit xen bột kết, cát kết thuộc các hệ tầng Huổi Nhệ (S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub>hn) và Đại Giang (S<sub>2</sub>-D<sub>1</sub>đg) tuổi Silur muộn – Devon sớm.

Các thành tạo địa chất trong Devon bao gồm: cát kết, bột kết màu vàng đến nâu đỏ, đá phiến sét và đá vôi màu đen thuộc hệ tầng Rào Chan (D<sub>1</sub>rc) tuổi Devon sớm; cát kết dạng quazit, cát bột kết, đá phiến sét hệ tầng Bản Giàng (D<sub>2</sub>bg) tuổi Devon giữa – kỳ Eifel; đá vôi, sét vôi, đá phiến sét, cát kết thuộc hệ tầng Mục Bài (D<sub>2</sub>mb)

tuổi Devon giữa – kỳ Givet; cát kết, cát kết dạng quazit, cát bột kết, đá phiến silic thuộc hệ tầng Đông Thọ (D<sub>3</sub>fr đt) tuổi Devon muộn – kỳ Frasn; đá vôi màu xám, đá vôi vân đỏ, sét vôi, bột kết, kẹp các lớp mỏng mangan thuộc hệ tầng Cát Đằng (D<sub>3</sub>fr cđ) tuổi Devon muộn – kỳ Famen.

Vào Carbon – Permi khu vực có mặt các đá: granodiorit, granit hai mica thuộc phức hệ Trường Sơn (γC<sub>1</sub>ts) tuổi Carbon sớm; cuội sạn kết, dăm vôi, sét vôi, đá vôi silic, đá vôi thuộc hệ tầng La Khê (C<sub>1</sub>lk) và cát kết, bột kết, sét vôi xen ít thấu kính sét than thuộc hệ tầng Bualapha (C<sub>1</sub>bp) tuổi Carbon sớm; đá vôi, đá vôi trứng cá, đá vôi silic, vôi sét, sét vôi thuộc các hệ tầng Bắc Sơn (C-P<sub>1</sub>bs), Khammouan (C-P<sub>1</sub>km) và Khe Giữa (P<sub>2</sub>kg) tuổi Carbon – Permi.

Các thành tạo Mesozoi trong khu vực nghiên cứu chỉ nằm trong khoảng tuổi Jura – Creta, bao gồm: cuội kết, cát kết, cát bột kết, sét kết, sét vôi, thấu kính vôi thuộc hệ tầng Ban Lao ( $J_{1-2} bl$ ) tuổi Jura sớm – giữa; cuội kết, cát kết arkose hạt nhỏ, màu lục, phân lớp trung bình, cát bột kết màu nâu đỏ, phân lớp mỏng, xen kẹp cát kết màu xám, phân lớp dày thuộc hệ tầng Nam Phouan ( $J_3 np$ ) tuổi Jura muộn; cát bột kết, sét kết màu tím gụ, cuội, sạn kết thạch anh chuyển lên cát kết đơn khoáng hạt thô, cát bột kết màu tím, sét vôi màu tím sẫm thuộc hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K mg$ ) trước đây được xếp tuổi Creta [16, 17], song hiện nay theo tài liệu mới được xếp tuổi Jura muộn – Creta (Tổng Duy Thanh và *nnk*, 2005) [19] sạn kết, cát kết hạt thô sáng màu, phân lớp trung bình, cát kết, bột kết màu nâu đỏ thuộc hệ tầng Nam Xot ( $K_1 nx$ ) tuổi Creta sớm.

Các trầm tích Đệ tứ bao gồm cuội, sạn, cát, bột và sét bờ rời có mặt ở khu vực PNKB HNN không nhiều, chủ yếu ở các trũng giữa núi và dọc theo các sông suối lớn.

Địa hình karst ở PNKB HNN chủ yếu liên quan tới các đá carbonat (đá vôi, sét vôi và vôi sét) chủ yếu thuộc các hệ tầng: Mụ Bài ( $D_2g mb$ ), Cát Đằng ( $D_3fm cđ$ ), La Khê ( $C_1 lk$ ), Bắc Sơn ( $C-P bs$ ), Khammouan ( $C-P_1 km$ ) và Khe Giữa ( $P_2 kg$ ) (Hình 2). Paleokarst được hình thành khi các đá carbonat được nâng cao thoát khỏi mặt nước, chịu quá trình karst hóa, sau đó bị “hóa thạch” khi bị lún chìm và bị che phủ bởi các đá trầm tích trẻ hơn. Do vậy, paleokarst nếu có thì sẽ xuất hiện tại nơi có bất chỉnh hợp hay gián đoạn địa tầng. Các đặc điểm địa chất và phân bố của các hệ tầng chứa carbonat và các hệ tầng trẻ hơn phủ bất chỉnh hợp bên trên chúng là cơ sở để tìm kiếm, phân tích đối sánh xác định paleokarst ở khu vực PNKB HNN.

## 2. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu

Do đặc điểm địa chất khu vực như trên, nghiên cứu paleokarst ở PNKB HNN được định hướng theo khảo sát thực địa và phân tích trong phòng. Paleokarst được xác định thường liên

quan đến các đới dập vỡ kiến tạo liên quan đến các hoạt động đứt gãy cổ và cấu trúc kiến tạo cổ khu vực phân bố đá carbonat (Urban, 2007; Zhang và *nnk*, 2021) [20, 21] hoặc ranh giới tiếp xúc giữa đá carbonat và đá trầm tích trẻ hơn. Để khẳng định sự tồn tại của paleokarst, việc khảo sát thực địa khu vực nghiên cứu với các tuyến, điểm được xác định trên cơ sở phân tích tổng hợp các tài liệu địa chất, bản đồ, tư liệu viễn thám và sau đó đã được thực hiện theo 4 đợt trong hai năm 2021 và 2022. Khảo sát thực địa chủ yếu tập trung vào các khu vực thể hiện ranh giới bất chỉnh hợp giữa đá carbonat và các trầm tích trẻ hơn, mô tả hình thái karst và đánh giá quá trình karst và dạng địa hình liên quan, thu thập mẫu đá carbonat và trầm tích vụn cơ học để phân tích trong phòng thí nghiệm.

Các mẫu địa chất phục vụ nghiên cứu paleokarst được lấy ở khu vực có ranh giới bất chỉnh hợp bao gồm: mẫu đá vôi dưới bất chỉnh hợp và mẫu đá trầm tích trẻ nằm bên trên, hoặc mẫu ngay tại ranh giới bất chỉnh hợp có mặt cả hai loại đá này. Hơn nữa, một số mẫu ở khu vực lân cận các bất chỉnh hợp, nơi tuổi địa chất đã được xác định, cũng được lấy mẫu để phân tích đối sánh với các đá tại bất chỉnh hợp nhằm làm sáng tỏ thêm tuổi của đá và tuổi của paleokarst. Trong số 81 mẫu đá carbonat và đá trầm tích vụn cơ học thu thập trong khu vực nghiên cứu, đã lựa chọn 9 mẫu đại diện phân tích lát mỏng thạch học, làm cơ sở đánh giá và xác định paleokarst (Hình 1, Bảng 1)

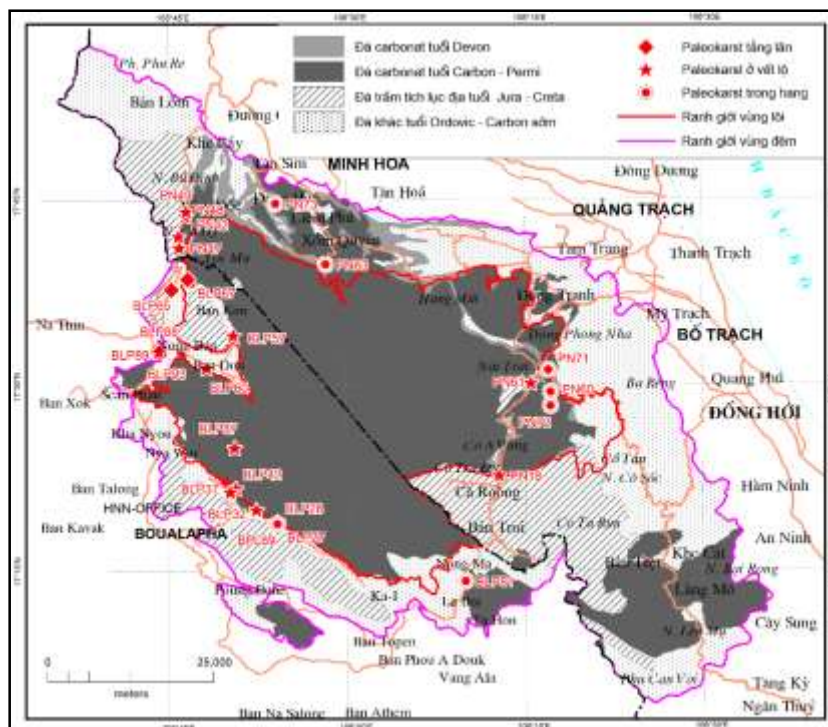
Phân tích lát mỏng của đá được thực hiện bằng kính hiển vi phân cực *Zeiss Axio Scope. A1* đã được kết nối với phần mềm trên máy tính tại Viện Địa chất. Các dữ liệu thu thập bao gồm: thành phần hạt vụn và matrix + xi măng được định lượng; kích thước và hình thái hạt vụn; kiến trúc của đá,... Khi nghiên cứu đặc điểm đá liên quan đến paleokarst còn phải xác định các loại lỗ rỗng, khe nứt, các hiện tượng hòa tan của đá carbonat trong các đới phá hủy kiến tạo cổ. Đá cát kết được phân loại bằng biểu đồ tam giác ba hợp phần thạch anh (Q), feldspar (F), và mảnh đá (R) (McBride, 1963; Dott, 1964; Folk và *nnk*, 1970; Pettijohn và *nnk*, 1972; Williams và *nnk*, 1982; Boggs, 2009) [22-27]. Đá carbonat được

xác định thành phần đá theo phân loại của Dunham (1962) [28], còn đá lấp nhét được

gọi theo dạng phân loại đơn giản của Tucker (2001) [29].

Bảng 1. Mẫu phân tích lát mỏng tại các khu vực phát triển paleokarst ở PNKB HNN

TT	Mẫu	Kinh độ	Vĩ độ	Tên đá và đặc điểm
1	BLP-28	105°54'11"	17°18'47"	Bột kết đỏ nâu bám vào tường hang đá vôi tại hang Thập Lao. Khu vực paleokarst (HNN).
2	BLP-57	105°50'31"	17°34'03"	Cát kết màu đỏ nâu lấp nhét trong khe nứt đá vôi cửa hang Pắc Thăm. Khu vực paleokarst (HNN).
3	NM-1B	106°10'00"	17°14'09"	Cát kết hạt mịn màu xám, lấp nhét trong khe hốc ở hang Bộ Đội (Noong Ma). Khu vực paleokarst (HNN).
4	Chalo-03	105°46'36"	17°44'03"	Bột kết màu nâu đỏ, hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K mg$ ) gần vị trí paleokarst Cha Lo (Km 133+350 QL12, PNKB).
5	TC-02	106°15'34"	17°30'06"	Bột kết xám phớt vàng phủ trên đá vôi gần hang Tám Cô. Khu vực paleokarst? (PNKB).
6	TC-04	106°15'34"	17°30'06"	Bột sét kết xám vàng phủ trên đá vôi gần hang Tám Cô. Khu vực paleokarst? (PNKB).
7	BLP-05	105°54'11"	17°18'35"	Đá vôi màu xám đen, hệ tầng Khammuoan ( $C-P_1 km$ ). Sử dụng đối sánh với đá vôi BLP-28.
8	BLP-06	105°54'10"	17°18'23"	Bột kết đỏ nâu, hệ tầng Nam Phouan ( $J_3 np$ ), Sử dụng đối sánh với bột kết BLP-28.
9	PN-10A	106°11'28"	17°21'47"	Cát kết hạt trung, xám sáng thuộc hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K mg$ ), tại Cà Roòng (PNKB). Sử dụng so sánh với các đá lấp nhét hoặc phủ ở paleokarst NM-1B, TC-02 và TC-04.



Hình 2. Sơ đồ vị trí bắt gặp paleokarst ở khu vực PNKB HNN.

### 3. Kết quả nghiên cứu

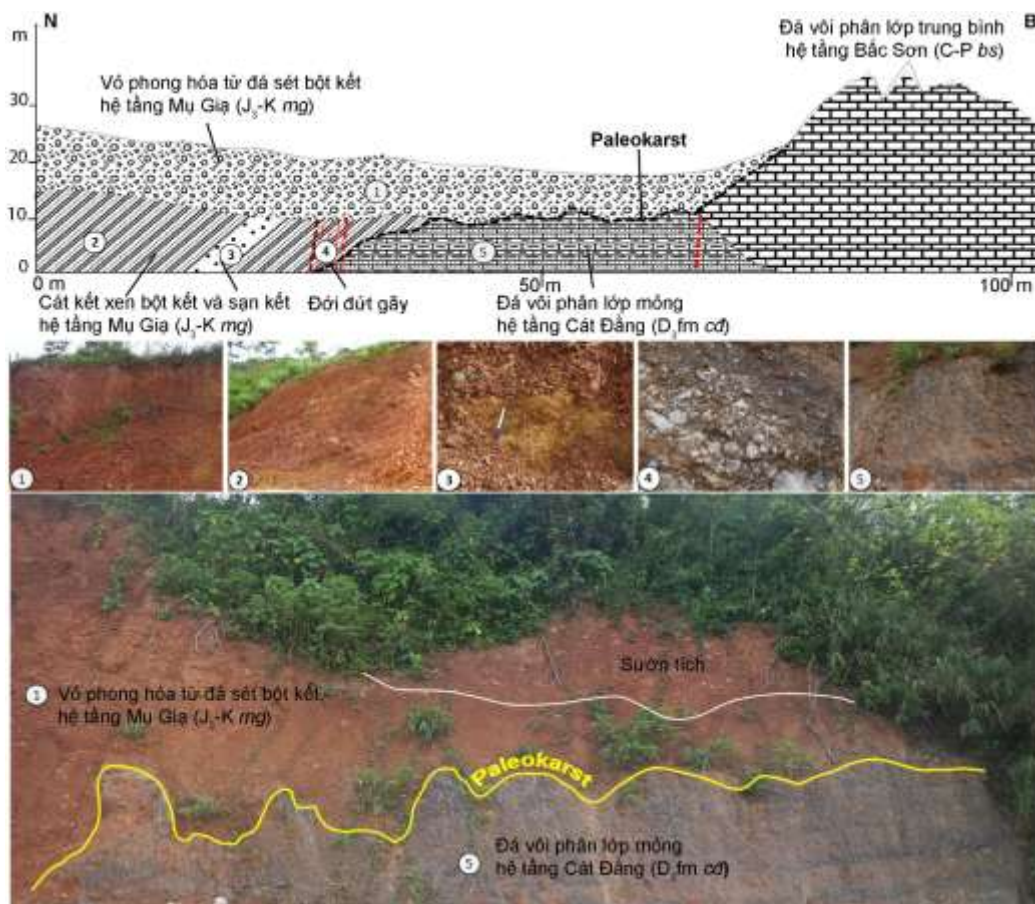
#### 3.1. Dấu tích paleokarst ngoài thực địa

Trong phạm vi VQG PNKB và HNN đã bắt gặp paleokarst tại 27 địa điểm (Hình 2). Phần lớn trong số này nằm ở ven rìa vùng lõi của các VQG PNKB và HNN, nơi có tiếp xúc của khối đá vôi PNKB HNN tuổi Carbon – Permi với các đá khác, nhưng cũng có điểm nằm trong vùng lõi, ngay trên khối đá vôi này hoặc ở đá vôi tuổi Devon. Paleokarst thường quan sát thấy ở các dạng *tầng lẩn* và *các vết lộ*. Paleokarst trong tầng lẩn chủ yếu ở phần phía bắc của VQG HNN, chỉ là những dấu hiệu xác nhận sự có mặt paleokarst trong khu vực và là tiền đề để tìm kiếm vị trí paleokarst gốc sau này. Paleokarst dạng vết lộ phân bố ở nhiều nơi, bao gồm các paleokarst trên vách taluy, ven suối và trong các hang động

karst. Theo quan hệ địa tầng, paleokarst trong khu vực có thể được phân biệt thành hai dạng: chôn vùi (buried karst) và lấp nhét (filled karst).

##### 3.1.1. Paleokarst dạng bị chôn vùi

Paleokarst dạng bị chôn vùi hiện quan sát thấy ở các vết lộ rìa phía bắc và rìa phía nam VQG PNKB (Hình 3). Ở khu vực phía bắc của Phong Nha - Kẻ Bàng, paleokarst bị chôn vùi có thể quan sát thấy ở dọc tuyến đường quốc lộ 12, đoạn gần khu vực biên giới Việt – Lào, điển hình nhất là vết lộ trên ta luy đường tại vị trí Km 133+350 QL12, cách cửa khẩu Cha Lo khoảng 8,5 km (PN49 - Hình 2). Mặt cắt thực tế ở đây lộ ranh giới bất chỉnh hợp kiến tạo giữa đá vôi hệ tầng Cát Đằng ( $D_3fm$  *cd*) và trầm tích màu đỏ hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K$  *mg*) bị bán phong hóa đến phong hóa hoàn toàn (Hình 3).



Hình 3. Mặt cắt khu vực Cha Lo, Km 133+350 QL12.

Kết quả phân tích chi tiết tại mặt cắt (Hình 3 – Dưới cùng) đã xác định đặc điểm thạch học, cấu trúc đá như sau:

- Phần dưới cùng của vết lộ là đá carbonat hệ tầng Cát Đằng có thể chia thành hai phần: phần bên dưới là đá vôi màu xám sáng, dạng khối; phần trên là đá vôi silic màu đen phân lớp với góc dốc thoải (gần như nằm ngang) cắm về phía bắc tây bắc ( $330^\circ$ ). Đá có nhiều khe nứt, các mạch thạch anh xuyên cắt.

- Phần trên là sét bột kết màu đỏ cấu tạo khối rất dễ vỡ vụn, chứa các lớp mỏng vật liệu màu đen một phần phủ bất chính hợp lên bề mặt đá vôi, đá bị phong hóa hoàn toàn. Lớp vỏ phong hóa này có thể bị phủ bởi sườn tích chủ yếu bột sét nâu đỏ lẫn dăm sạn.

Xa hơn vị trí mô tả nêu trên một chút về phía nam, bên dưới lớp vỏ phong hóa từ sét bột kết là các đá bột kết, cát kết, thậm chí cả sạn kết rắn chắc phân lớp dày 1-1,5 ở khu vực Công Trôi, thuộc hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K\ mg$ ). Ở nơi tiếp giáp với đá vôi qua đới đập vỡ kiến tạo, bột kết bị bán phong hóa nhưng vẫn còn giữ nguyên cấu tạo phân lớp mỏng bị vỡ nhàu, uốn nếp. Kết quả phân tích thạch học lát mỏng ở đây (mẫu Chal-03) cho thấy đá có kiến trúc bột – sét, cấu tạo khối đồng nhất. Thành phần mảnh vụn bao gồm thạch anh dạng hạt (30,10%), feldspar (0%), mảnh đá (ít), và các thành phần khác bao gồm các hạt mica bị biến đổi mạnh và vật chất hữu cơ (5,7%). Xi măng sét – oxit sắt và oxit sắt chiếm 62,40%. Phần đá này có màu sắc và thành phần tương tự như bột kết màu đỏ thuộc phụ hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K\ mg$ ) ở khu vực xung quanh.

Địa hình karst cổ ở đây là bề mặt ranh giới bất chính hợp giữa  $D_3fm\ cđ/J_3-K\ mg$  thể hiện dạng karren tàn với các luống đỉnh tròn xen kẽ các rãnh nông, chênh cao không lớn, khoảng 10 – 20 cm. Hình thái tương đối trơn tru như vậy cho thấy thời gian karst hóa tương đối dài, địa hình karst phát triển lâu đến giai đoạn cuối, ít còn sắc nét. Bất chính hợp địa tầng cho thấy ở khu vực này vắng mặt trầm tích Carbon – Jura trung. Như vậy quá trình karst hóa đã xảy ra và kết thúc vào Jura giữa. Xét về tổng thể, toàn bộ khu vực Phong Nha – Kẻ Bàng có gián đoạn trầm tích

trong Trias – Jura giữa và có thể đây chính là khoảng tuổi của paleokarst ở khu vực này.

Ở phần phía nam VQG PNKB, paleokarst bị chôn vùi cũng bắt gặp ở các vết lộ dọc theo tuyến đường 20, đi thị trấn Phong Nha đến cửa khẩu Cà Roòng rồi nối với hệ thống đường nam Hin Nậm Nô của Lào. Điểm paleokarst tiêu biểu nhất (PN61- Hình 2) tại Km 16+350, cách hang Tám Cô khoảng 150 m với mặt cắt chung thể hiện (Hình 4).

- Tập dưới là đá vôi màu xám, cấu tạo khối xen kẹp đá bột kết vôi, bột kết màu nâu, xám nâu, đá sét than màu xám đen, thuộc hệ tầng La Khê ( $C_1\ lk$ ). Đáng chú ý là sạt đới đập vỡ gặp đá vôi travertine dạng ổ phân lớp dạng vân, lượn sóng, bề mặt ráp và thô. Bề mặt đá vôi của hệ tầng này không chỉ là bề mặt địa hình karst cổ lõi, lõm mà còn có dạng hang, hốc karst.

- Tập trên phủ lên trên bề mặt địa hình karst cổ, theo bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000, là cuội kết, sỏi kết xen thấu kính cát, bột kết màu đỏ của hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K\ mg$ ). Tuy nhiên, ngay tại mặt cắt đá bị phủ bởi lớp mỏng vỏ phong hóa và lớp phủ thực vật dày nên không quan sát được tập đá này, nhưng dịch về hai phía đông bắc hoặc tây nam, theo tuyến đường này, lộ khá rõ đá cuội kết, sỏi kết thuộc hệ tầng Mụ Giạ.

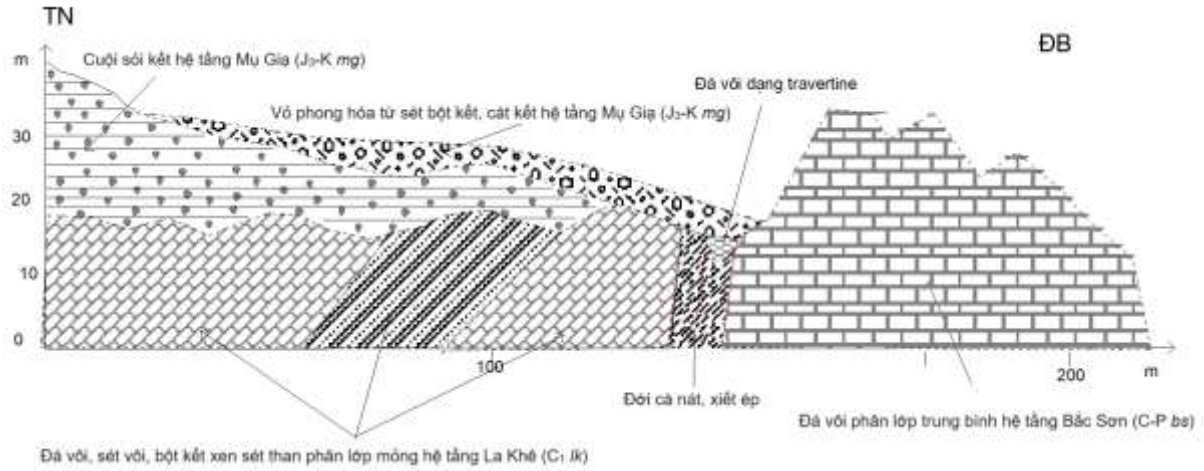
Địa hình karst cổ ở đây là bề mặt ranh giới bất chính hợp giữa  $C_1\ lk/J_3-K\ mg$ . Tuổi của paleokarst có thể là Trias – Jura giữa, thời kỳ gián đoạn trầm tích do đá vôi được nâng cao thoát khỏi mực nước, chịu các quá trình karst hóa để hình thành địa hình liên quan. Bề mặt cổ địa hình tương đối lõi lõm cho thấy hoạt động karst tương đối mạnh.

Tương tự, dọc tuyến đường 20, Phong Nha đi Cà Roòng, paleokarst được dự đoán có mặt tại các vị trí Km 43+900 ( $17^\circ 22' 41''N$ ;  $106^\circ 12' 53''E$ ). Vết lộ cao khoảng 10 m, dài khoảng vài chục mét dọc theo tuyến đường hướng TB-ĐN ( $135^\circ$ ), bắt gặp sự chuyển tiếp từ đá vôi xám đen phân lớp cắm về phía bắc với thể nằm  $10 < 45$  thuộc hệ tầng Mụ Bài ( $D_2g\ mb$ ) sang đới dăm kết có nhiều tầng lẫn rộng 4 – 5 m cắm về phía tây tây bắc ( $315^\circ$ ) liên quan đến hệ thống đứt gãy phương tây bắc – đông nam đến bột kết nâu đỏ có thể nằm không ổn định thuộc



phần hệ tầng dưới của hệ tầng Mụ Gia ( $J_3-K$  mg). Như vậy, paleokarst có thể nằm trong khu

vực này, tuy nhiên vết lộ chưa được dọn sạch, quan sát còn hạn chế.



Hình 4. Mặt cắt khu vực gần hang Tám Cô, Km 16+350 đường 20.



Hình 5. Paleokarst dạng lấp nhét trong khe nứt tại: A) ở Pak Thảm; B) Bản Dou; C) Pà Không; D) ở Sam Nang.

### 3.1.2. Paleokarst dạng lấp nhét

Paleokarst dạng lấp nhét bắt gặp phổ biến nhất ở PNKB HNN dưới dạng đá vôi bị dập vỡ, nứt nẻ, hoặc có hang hốc được lấp đầy bởi các trầm tích trẻ hơn. Các nghiên cứu trước đây đã xác nhận có sự lấp nhét dăm kết với xi măng màu đỏ hoặc bột sét kết màu trong các khe nứt ở tường hang và ở các vết lộ đá vôi ở phần phía bắc của Hin Nậm Nô [14, 15]. Thực tế khảo sát thực địa sau này cho thấy paleokarst dạng này không những có mặt ở phía bắc mà còn có ở khu vực

phần giữa và phần phía nam của VQG HNN. Tại nhiều vết lộ có quan sát thấy đá vôi dập vỡ nứt nẻ được lấp nhét bởi cát bột sét kết màu đỏ, ví dụ như ở gần hang Pak Thẳm (BLP57 - Hình 2; Hình 5A), Ban Dou (BLP60 - Hình 2; Hình 5B), cửa hang Pà Không (BLP89 - Hình 2; Hình 5C) ở tây bắc VQG HNN, khu vực Thập Lao (BLP69 - Hình 2) thuộc vùng đệm đoạn giữa của VQG HNN, thậm chí ở Sam Nang (BLP87 - Hình 2, Hình 5D) nơi có địa hình karst trọc trong vùng lõi của Hin Nậm Nô.



Hình 6. Paleokarst dạng hang động bị lấp nhét bởi bột sét kết màu nâu đỏ và vàng nhạt loang lổ tại hang Thập Lao.

Trong một số hang ở Hin Nậm Nô cũng bắt gặp khá nhiều paleokarst dạng lấp nhét các khe nứt đá vôi tuổi Carbon – Permi thuộc hệ tầng Khammouan (C-P<sub>1</sub> km) trên trần, tường, nền hang và điều đáng chú ý hơn cả là một số hang còn có dạng lấp nhét hang hốc như ở hang Thập Lao (BLP28 - Hình 2), hang Bộ Đội ở Noong Ma (BLP81 - Hình 2). Ở hang Thập Lao hiện vẫn còn quan sát được các trầm tích bột sét kết màu nâu đỏ hay vàng nhạt loang lổ hoặc dăm vôi kết có xi măng màu đỏ vẫn còn bám vào trần hang (Hình 6). Điều này có nghĩa là hang karst đã được hình thành từ trước sau đó bị các trầm tích sau này lắng đọng lấp nhét làm ngừng hoạt động vào giai đoạn sau. Mẫu phân tích thạch học lát mỏng lấy tại hang Thập Lao có mặt cả sét bột kết vôi và đá vôi tiếp xúc có ranh giới rõ ràng (mẫu BLP-28). Phần sét bột kết vôi có cấu tạo khối, thành phần mảnh vụn có thạch anh đơn tinh thể

(0,72%), vắng mặt feldspar, canxit và dolomit có dạng hạt bị biến đổi dần dần từ các mảnh đá carbonat (40,10%), mảnh đá carbonat (ít), các hạt vụn khác (5,90%); thành phần nền và xi măng chiếm khoảng 53,17%, đá được gắn kết bởi xi măng carbonat và sét - oxit sắt, oxit sắt. Mẫu bột kết màu đỏ nâu, cấu tạo khối, có các tập hợp sét vôi màu xám trắng phớt vàng, dạng kết hạch được lấy từ hệ tầng Nam Phouan (J<sub>3</sub> np) ở gần khu vực hang Thập Lao (mẫu BLP-06, Hình 9B) được phân tích thạch học lát mỏng cho kết quả: thành phần mảnh vụn có thạch anh (33,10%), feldspar (ít), mảnh đá sét bột kết carbonat (6,37%), các thành phần hạt vụn khác (8,11%) trong đó khá phổ biến sericit dạng cám màu vàng, hồng sặc sỡ dưới 2 Nikon (5,05%); xi măng gắn kết là oxit sắt và sét - oxit sắt. Đặc điểm thạch học cả hai mẫu trên tuy hơi khác nhau, có thể quan đến nguồn và điều kiện môi

trường lắng đọng song ít nhiều có thể coi là tương đồng và do đó có thể coi trầm tích sét bột kết nâu đỏ lấp nhét trong hang Thạch Lao có tuổi Jura muộn thuộc hệ tầng Nam Phouan ( $J_3 np$ ). Mẫu đá vôi lấy ở hang Thạch Lao (BLP28) có thể đối sánh được với mẫu đá vôi tuổi Carbon – Permian hệ tầng Khammuoan được lấy gần đó (mẫu BLP-05). Như vậy, tuổi đá vôi Carbon – Permian và tuổi của trầm tích lấp nhét Jura muộn, cho phép xác định thời kỳ karst hóa, tạo hang là vào Trias – Jura. Hệ thống hang này được tái hoạt động vào giai đoạn tân kiến tạo sau này với sự có mặt của dòng chảy bóc mòn các trầm tích cổ trong hang, lắng đọng trầm tích sông (cát, bột, cuội và sỏi) và các trầm tích hóa học (travertin) tuổi Đệ tứ.

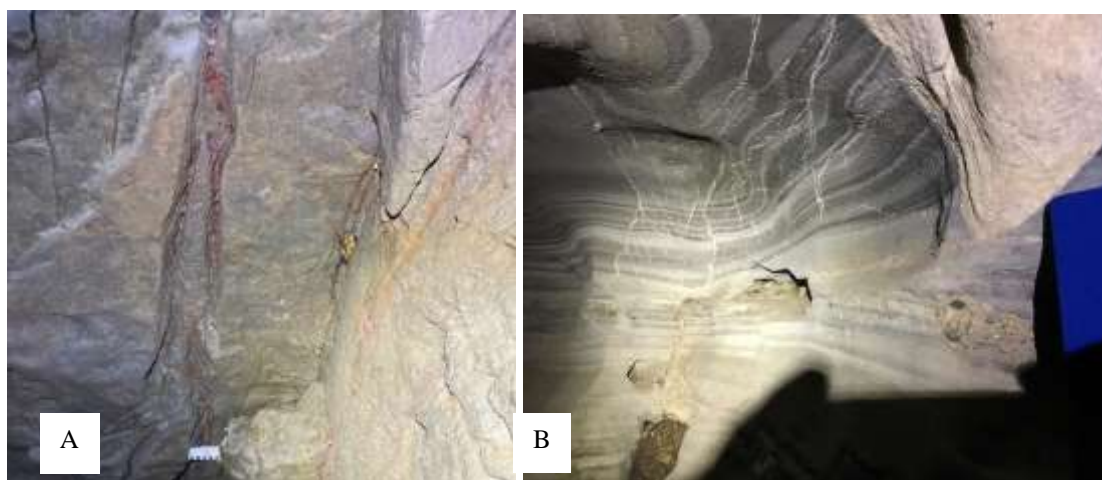


Hình 7. Paleokarst dạng hang động lấp nhét bởi bột sét kết màu xám xanh, xám vàng cấu tạo phân dải tại hang Bộ Đội.

Ở khu vực Phong Nha – Kẻ Bàng, paleokarst dạng lấp nhét các khe nứt ở trần, tường và nền hang cũng quan sát thấy trong một số hang có đá vôi tuổi Devon (hệ tầng Cát Đằng -  $D_3 fm cđ$ ) như Cà Rừng (PN63), Rục Mòn (PN73) hay đá vôi tuổi Carbon – Permian (hệ tầng Bắc Sơn – C-P  $bs$ ) như Sơn Đoòng (PN72), Nước Nứt (PN60), Nước Lạnh (PN71) (Hình 2, Hình 8). Ở các hang Sơn Đoòng, Nước Nứt, Cà Rừng, vật liệu lấp nhét là các trầm tích bột sét kết màu đỏ tuổi Jura muộn - Creta chứng tỏ ở đây có thể đã hình thành paleokarst ít nhất là trong giai đoạn Trias – Jura. Các quá trình sau này làm karst tái hoạt động rửa lũa bóc mòn chỉ còn sót lại rất ít dấu vết của paleokarst. Ở hang So Đũa – Nước Lạnh, đá trầm

Ở hang Bộ Đội, trầm tích lấp nhét trong các khe hốc và hang là cát kết hạt mịn và bột sét kết cấu tạo phân dải màu xám (Hình 7). Mẫu lấy tại đây (NM-1B) là cát kết vôi hạt mịn, cấu tạo khối, có nguồn cấp gần khu vực tích tụ và được vận chuyển từ các dòng chảy tạm thời. Mẫu này có thể đối sánh với mẫu cát kết hạt trung – mịn màu xám cấu tạo khối có chứa khoáng vật canxit (PN-10A) thuộc hệ tầng Mụ Giạ ( $J_3-K mg$ ) lấy tại Cà Rừng. Như vậy có thể thấy ở đây là đá vôi tuổi Carbon – Permian và trầm tích lấp nhét có tuổi Jura muộn – Creta. Quá trình karst tạo hang hốc có thể hình thành vào Trias – Jura tương tự như đối với hang Thạch Lao.

tích lấp nhét lại là các cuội sỏi sạn kết màu xám vàng, khác hẳn với các trầm tích lấp nhét màu đỏ nêu trên, do vậy cần có những nghiên cứu thêm mới có thể xác định tuổi của paleokarst. Một số hang khác có mặt các trầm tích lấp nhét cả bột sét kết màu nâu đỏ lẫn cuội, sỏi, sạn kết màu xám vàng như ở hang Rục Mòn (Hình 8B). Như vậy ở đây có thể đã có hai thời kỳ hình thành paleokarst trong đó có một thời kỳ vào Trias – Jura. Những phát hiện mới về paleokarst là những đóng góp bổ sung thêm cho các giá trị nổi bật đã đạt được xác lập đối với một số hang như Sơn Đoòng – động karst lớn nhất thế giới, động đẹp lộng lẫy và tinh tế với nhiều kỷ lục cảnh quan đi kèm.



Hình 8. Paleokarst dạng lấp nhét bởi: bột sét kết màu đỏ nâu ở hang Nước Nút (A); sét bột kết màu nâu đỏ và cuội sỏi sạn kết màu xám vàng ở hang Rục Mòn (B).

### 3.2. Dấu tích paleokarst dưới thạch học lát mỏng

#### 3.2.1. Xác định thành phần thạch học

Phân tích lát mỏng thạch học xác định các đá hạt vụn cơ học cát kết thạch anh - litic (sublitharenite - PN-10A) và bột kết đá khoáng; nhóm đá carbonat wack-packstone chứa nhiều hóa thạch biển (BLP-05 *bioclastic wack-packstone*), đá carbonat vi tinh (BLP-28); nhóm các đá lấp nhét khe nứt đá carbonat gồm cát kết dạng calcarenit (BLP-57; NM-1B;) và bột kết dạng calcilutit (BLP-28) (Hình 9).

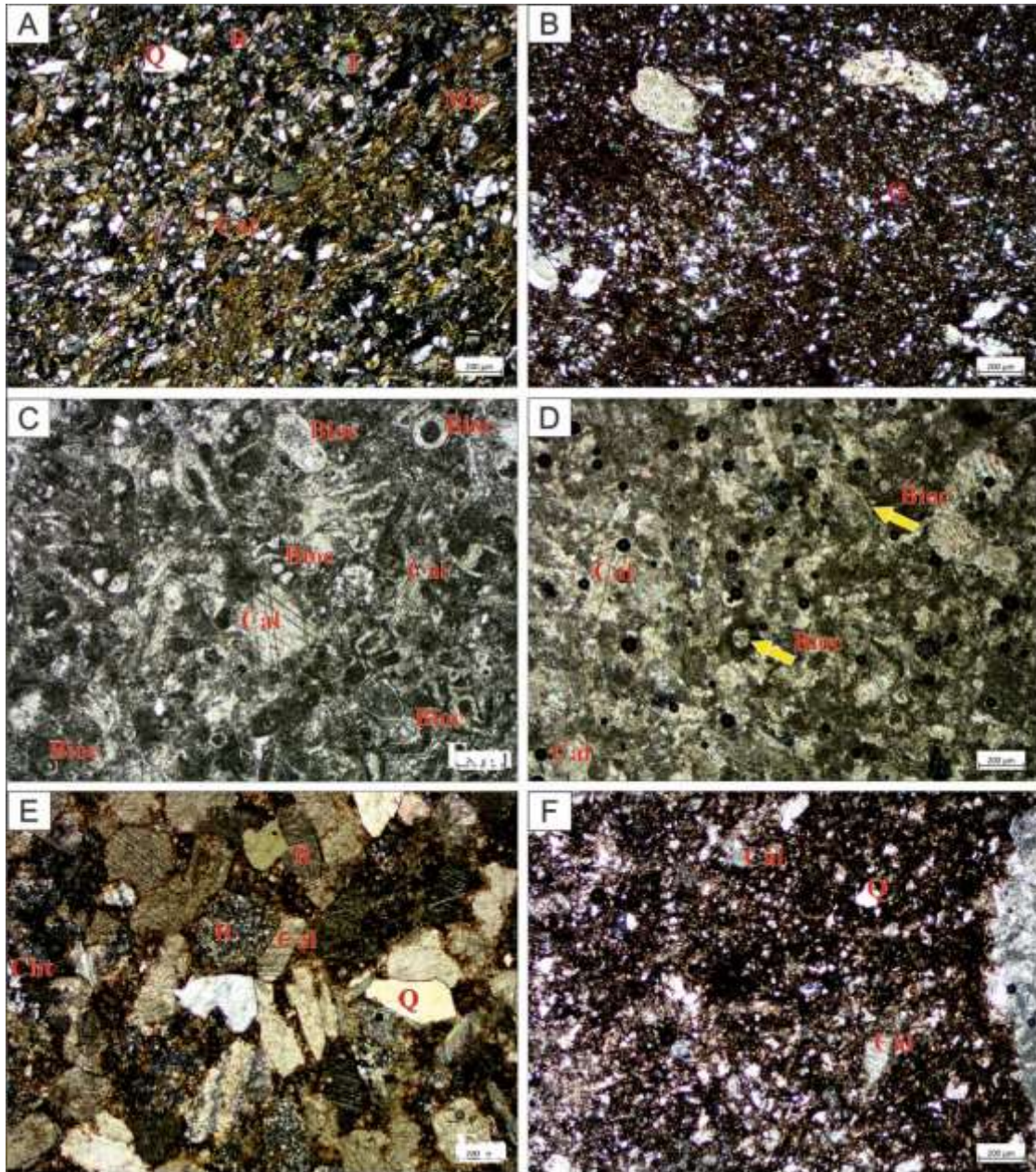
*Cát kết thạch anh - litic* (PN-10A) có thành phần hạt vụn phong phú bao gồm thạch anh, plagiocla, feldspars bị sét hóa và sericit hóa, mica bị sericit và chlorit hóa mạnh, canxit, zircon,... và các mảnh đá bột kết, carbonat, chứa mảnh vụn thực vật (77,23%), matrix và xi măng sét và sét - oxit sắt (22,77%) (Hình 9A). Bột kết thành phần đa khoáng, thạch anh (10,09–43,81%), mica, canxit, mảnh đá carbonat, mảnh vụn vật chất hữu cơ, được gắn kết bởi đa dạng loại xi-măng oxit sắt, sét, sét – oxit sắt, carbonat - sét (hình 2B). Thành phần bột kết phụ thuộc vào vị trí tích tụ và lắng đọng trầm tích, được phân biệt bởi thành phần chủ yếu sericit và mảnh đá carbonat (TC-02), kết hạch carbonat (Chalo-03), nhưng có điểm chung giàu loại xi măng oxit sắt và sét – oxit sắt.

Đá carbonat wack-packstone chứa hóa thạch sinh vật (BLP-05, BLP-57) có màu xám sáng đến xám sẫm, cấu tạo dạng khối, bị các mạch canxit xuyên cắt. Thành phần giàu các mảnh xương động vật bao gồm San hô, Trùng thoi, đốt thân Huệ biển,... các hạt kết vón (pellet), các cầu calci (calcispheres), đôi hạt dạng trứng cá (ooid), silic, ngoài ra, đôi chỗ còn có các tập hợp tinh thể pirit, chiếm khoảng 20,46–31,88% (Hình 9C). Xi măng canxit dạng sợi, dạng tấm, canxit kiến trúc khảm (poikilitic texture), và canxit vi tinh (micrit) phát triển viền theo các xương động vật. Các hạt và mảnh xương động vật bị vỡ, các dạng mạch đường khâu (stylolite) được lấp đầy bởi sét, silica. Đá carbonat vi tinh (BLP-28,) có thành phần hạt vụn < 5%, bioclast rất ít, xi măng canxit dạng tấm, dạng sợi, dạng chùm và vi tinh, trong đá chứa rất nhiều các mạch tinh thể canxit tự hình và bán tự hình.

Các đá cát kết màu đỏ (NM-1B; BLP-57) lấp đầy các khe nứt đá carbonat xác định chủ yếu loại hạt vụn canxit (14,88–27,49%), thạch anh (2,10–4,93%), mảnh đá carbonat, bột kết, và silic (47,18–38,17%), được gắn kết bởi xi măng carbonat và sét – oxit sắt (17,86–15,47%), được gọi là *cát kết dạng calcarenit* (Hình 9E, BLP-57) (Hình 9D & E). Bột kết màu đỏ có thành phần chủ yếu canxit (40,10%), vài hạt thạch anh (0,72%), mica, chứa ít vật chất hữu cơ, và mảnh

đá carbonat được gắn kết bởi xi măng oxit sắt, sét – oxit sắt và carbonat, là *bột kết dạng calcilitit* (Hình 9F, BLP-28). Nhóm đá này được đặc trưng bởi thành phần đa khoáng, giàu khoáng

vật canxit kiến trúc khảm (poikilitic texture), silic, mảnh đá carbonat thường có độ cầu tốt, và các mảnh vật chất hữu cơ.



Hình 9. Hình ảnh phân tích thạch học lát mỏng các đá trầm tích: A- Cát kết thạch anh - litic hệ tầng Mụ Giạ (PN-10A); B- Bột kết argilit hệ tầng Nam Phouan (PLB-06); C- Đá carbonat wack-packstone chứa nhiều hóa thạch sinh vật (BLP-05); D- Đá carbonat vi tinh (BLP-28); E- Cát kết vôi dạng calcarenit (BLP-57);

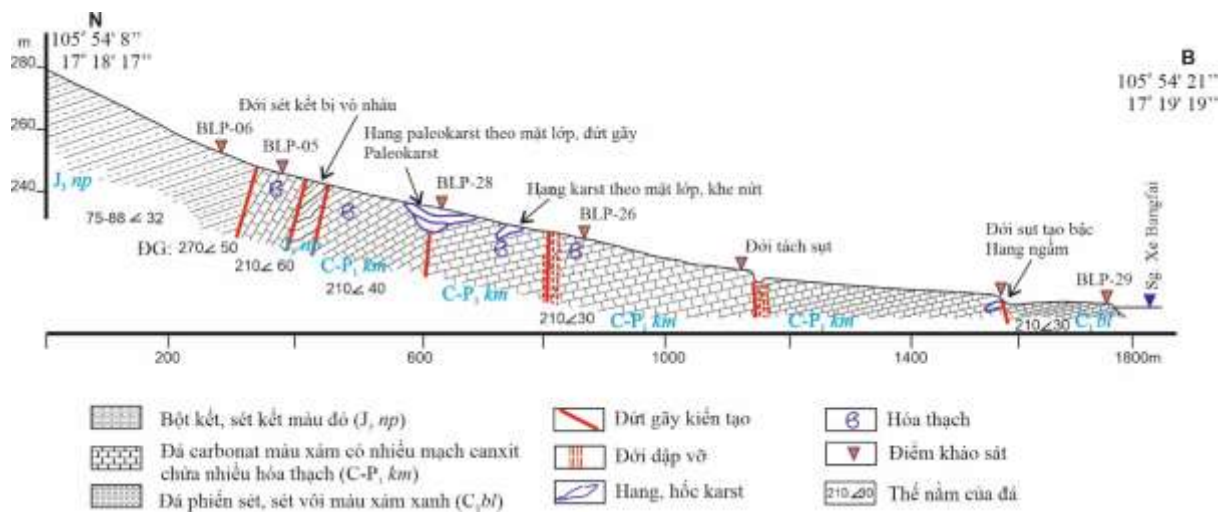
F- Bột kết dạng calcilitit, Q- Thạch anh; F- Feldspars; R- Mảnh đá; Cal- Canxit; Mic- Mica; Cht- Vụn silic; Bioc- Vụn sinh vật.

3.2.2. Luận giải

Khu vực PNKB HNN hoàn toàn vắng mặt các trầm tích Trias, chỉ phát triển các trầm tích lục địa cuối kết, cát kết arkose, bột kết màu nâu đỏ Nam Phouan ( $J_3 np$ ) và sạn kết, cát kết hạt thô, bột kết màu nâu đỏ Nam Xot ( $K_1 nx$ ) ở Hin Nậm Nô [18]; phát triển các trầm tích lục địa cuối kết, sạn kết đa khoáng, cát kết, bột kết, sét kết màu tím gụ đến nâu đỏ xen kẹp sét vôi phân lớp mỏng Mụ Giạ ( $J_3-K mg$ ) ở Phong Nha – Kẻ Bàng [16, 17]. Như vậy, một giai đoạn gián đoạn trầm tích rất dài diễn ra trong Trias – Jura giữa, toàn bộ vùng PNKB HNN bị nâng lên chuyển thành chế độ hoạt động địa chất lục địa. Các hoạt động địa chất là sông, hồ, nước ngầm, quá trình phong hóa, bóc mòn, hòa tan rửa lữa đá gốc trên bề mặt địa hình cổ trong Trias – Jura giữa rất mạnh mẽ.

Các đá trầm tích bột kết màu đỏ, cát kết thường có thể nằm cấm về hướng đông đông bắc, trong khi các đá carbonat trong các mặt cắt có hướng cấm về phía nam tây nam. Ở mặt cắt Thập Lao đã chỉ ra trật tự địa tầng từ dưới lên trên, từ các đá lục nguyên Boualapha ( $C_1 bp$ ) chuyển tiếp lên đá carbonat Khammouan ( $C-P km$ ) và bị phủ

bất chỉnh hợp bởi bột kết, cát kết màu đỏ Nam Phouan ( $J_3 np$ ) (Hình 10). Các mẫu nghiên cứu nằm trong đới phá hủy kiến tạo cổ, đá carbonat bị đập vỡ mạnh tạo thành các thể cataclisit với thành phần các mảnh dăm đá carbonat được gắn kết bởi xi măng carbonat và oxit sắt. Trong đá carbonat đều có hai hệ thống các mạch canxit chính cắt nhau, các mạch phương á kinh tuyến ( $300^\circ$ ) cắt rồi làm dịch trượt các mạch phương tây bắc – đông nam ( $36^\circ$ ). Ở mặt cắt ở khu vực Km 133+ 350 QL12 gần cửa khẩu Cha Lo (Chalo-03) và ở Km 16+350 đường 12, gần hang Tám Cô (TC-02), đá bột kết nằm phủ trực tiếp trên bề mặt đá carbonat bị phong hóa, hòa tan (Hình 3). Các phá hủy kiến tạo đá carbonat tạo ra những đập vỡ, khe nứt, đứt gãy là tiền đề thúc đẩy quá trình karst hóa mạnh mẽ không chỉ ở trên bề mặt địa hình mà còn ở dưới sâu trong lớp vỏ trái đất. Các nghiên cứu về paleokarst ở Trung Quốc, Ba Lan, Brasil,... đều chỉ rõ mối quan hệ nhân – quả giữa quá trình paleokarst và hoạt động kiến tạo [20, 21, 30]. Do đó, các đới phá hủy kiến tạo cổ trong đá carbonat được xem như một trong những chỉ thị xác định sự phát triển của paleokarst trong quá khứ địa chất.



Hình 10. Mặt cắt địa chất khu vực Thập Lao: quan hệ bất chỉnh hợp giữa đá carbonat Khammouan ( $C-P km$ ) và đá trầm tích màu đỏ Nam Phouan ( $J_3 np$ ).

Về mặt khoáng vật – thạch học, các đá hạt vụn chiếm khá nhiều mảnh vụn đá carbonat, đơn khoáng vật canxit, đặc trưng bởi xi măng oxit sắt,

sét – oxit sắt thường phát triển trong các đới khí hậu khô nóng trong Jura – Creta (Hình 9E & F). Đá carbonat phát triển các lỗ rỗng khe nứt do



Các mạch dạng kênh dẫn, mạch được lấp đầy các trầm tích màu đỏ bao gồm bột kết dạng calcilitit (BLP-28; Hình 9F & Hình 11E & F) và cát kết dạng calcarenit (BLP-57) màu đỏ nâu, cấu tạo khối (Hình 9E). Thành vách kênh dẫn quan sát thấy rõ dấu vết hòa tan đá carbonat, khoáng vật canxit được kết tinh trong quá trình thành đá trước đó. Các khe nứt thường cắt ngang rồi làm dịch chuyển các mạch canxit và mảnh bioclast (Hình 11B & D). Dưới điều kiện thủy văn lục địa, khe nứt bị hòa tan, mài mòn bởi dòng nước chảy, dần dần được mở rộng tạo ra không gian kênh dẫn và tích tụ vật liệu trầm tích màu nâu đỏ. Thành phần hạt vụn lấp đầy kênh dẫn phong phú hơn đá carbonat bao gồm canxit hạt vụn, silic, thạch anh, mica, các mảnh vụn vật chất hữu cơ (thực vật?), mảnh đá carbonat,... Các mảnh đá carbonat thường có độ cầu tốt, nhưng bề mặt hạt vụn bị nhám, được giải thích chúng bị mài tròn bởi dòng nước chảy, sau đó bị hoàn tan bề mặt không đều trong điều kiện thủy văn lục địa. Đặc điểm khoáng vật học đá carbonat và các đá lấp đầy khe nứt thường thể hiện rõ các khoáng vật hạt vụn canxit nằm rải rác trong nhân của khoáng vật canxit, được gọi là kiến trúc khảm (poikilitic texture; Hình 9E, F & Hình 11E, F) được mô tả trật tự kết tinh khoáng vật trước sau [21, 32]. Các mảnh vụn canxit, thạch anh, silic từ đá gốc bị hòa tan, được vận chuyển và lấp đầy các khe nứt, khi bị chôn vùi đã tạo trụ kết tinh cho khoáng vật canxit trong quá trình thành đá tiếp theo. Loại kiến trúc khảm rất phổ biến trong cát kết màu đỏ lấp đầy các khe nứt dạng kênh dẫn trong đá vôi. Một số tinh thể kết tinh chưa hoàn thiện, không có ranh giới rõ ràng với xi măng xung quanh. Như vậy, các kênh dẫn được lấp đầy bởi vật liệu trầm tích cát, bột màu đỏ, rồi tiếp tục bị chôn vùi, thành đá ở một giai đoạn hoàn toàn khác với các mạch canxit trong đá carbonat.

Các đặc điểm thạch học, khoáng vật, địa chất đã khẳng định sự tồn tại paleokarst trong khu vực PNKB HNN. Paleokarst phát triển trong tập đá carbonat màu xám sáng, chứa nhiều hoá thạch Trùng thoi, Huệ biển, San hô, Trùng lỗ (BLP-57) và đá carbonat màu xám sẫm (BLP-28). Trong các hang động khu vực Phong Nha – Kẻ Bàng

(hang Nước Nứt, hang Va, hang Sơn Đoòng, hang Rục Mòn) đều có các biểu hiện đá paleokarst ở dạng lấp đầy các khe nứt, thậm chí là các thể cuội kết lòng sông ngầm, tuy nhiên loại paleokarst này cần được nghiên cứu kỹ hơn khi xác định chi tiết đặc điểm thạch học hạt vụn của cuội kết.

### 3.3. Giá trị địa chất - địa mạo của paleokarst

Paleokarst trước đây thường được nghiên cứu nhằm mục đích tìm kiếm thăm dò và khai thác tài nguyên khoáng sản. Liên quan đến paleokarst trên thế giới hiện có nhiều khoáng sản như chì, kẽm, sắt, nhôm, mangan, thiếc, nickel, thủy ngân, wolfram, đất hiếm, đá quý, fluorit, barite, apatite, kaolin, dầu khí, than, nước khoáng nóng,... [2]. Bên cạnh hướng ứng dụng này, hiện nay paleokarst còn được nghiên cứu nhằm tìm hiểu cổ địa lý, cổ khí hậu [33, 34], địa chất môi trường, địa chất công trình [35-37]. Paleokarst hoạt động như một cái bẫy lưu giữ bồi cảnh môi trường trong quá khứ vì vậy nó là nguồn dữ liệu quan trọng để: i) Tái dựng cổ địa lý; ii) Nghiên cứu cổ khí hậu; iii) Nghiên cứu lịch sử cổ môi trường cả phi sinh học lẫn sinh học bao gồm phát sinh loài và cổ sinh thái của các nhóm hóa thạch động vật khác nhau; iv) Địa chất khu vực và địa tầng; và v) Khảo cổ học và cổ nhân học,... [38]. Dưới góc độ địa di sản, paleokarst là một nội dung đáng để xem xét đánh giá về ý nghĩa quốc tế, giá trị nổi bật toàn cầu. Tính đến 2023, trên thế giới có 1199 di sản thế giới, trong đó 96 di sản đăng ký theo Tiêu chí (viii) với các giá trị địa chất, địa mạo là giá trị nổi bật toàn cầu; các di sản thế giới liên quan đến hệ karst và hang động hiện có khoảng 30 di sản đại diện tương đối tốt so với các di sản địa chất địa mạo khác trong danh sách di sản thế giới. Do vậy việc đề cử một di sản theo hướng chủ đề hệ karst và hang động vào danh sách Di sản thế giới là rất khó được chấp nhận nếu như không có những giá trị đại diện tiêu biểu lấp những khoảng trống trong chủ đề này. Các di sản paleokarst chứa đựng những thông tin quan trọng về điều kiện quá khứ của Trái đất chưa có đại diện một cách rõ ràng trong danh sách di sản thế giới dù rằng đã có một số di sản thế giới liên quan đến hang động karst có ghi



nhận rất tốt về cổ khí hậu [39]. Như vậy một di sản có đặc điểm paleokarst quan trọng rất có nhiều khả năng trở thành di sản thế giới.

Ở Việt Nam cũng như ở Lào, paleokarst vẫn còn ít được các nhà khoa học trong nước quan tâm nghiên cứu. Sự phát hiện paleokarst Trias có mặt nhiều nơi ở cả Phong Nha - Kẻ Bàng lẫn Hin Nặm Nô là phát hiện mới rất có ý nghĩa khoa học. Đây là những minh chứng làm sáng tỏ thêm tiến hóa cảnh quan karst ở khu vực PNKB HNN này. Các tài liệu trước đây mới chỉ đề cập tiến hóa cảnh quan karst cũng như lịch sử phát triển địa hình ở Phong Nha - Kẻ Bàng trong giai đoạn Kainozoi dựa trên cơ sở phân tích xác định tuổi các mực địa hình [40, 41] Ở Hin Nặm Nô tiến hóa cảnh quan karst trong đó có giai đoạn Trias - Jura cũng đã được Bolger (2017) [42] đề cập chút ít dựa trên cơ sở tài liệu paleokarst của Mouret [5]. Các phát hiện về paleokarst về trong khu vực cho phép khẳng định địa hình karst phát triển chung thống nhất trên toàn bộ khu vực PNKB HNN vào Trias, khi toàn bộ khối đá vôi vào Carbon - Permi, thuộc các hệ tầng Khammouan (C-P<sub>1</sub> km), Bắc Sơn (C-P bs) và Khe Giữa (P<sub>2</sub> kg), hình thành trong môi trường biển, được nâng lên khỏi mặt nước và chịu các quá trình bóc mòn rửa lũa và hòa tan. Quá trình karst hóa này liên quan đến bất chỉnh hợp Permi muộn - Trias không chỉ bắt gặp ở khu vực này mà còn thấy ở nhiều nơi ở Đông Nam Á như Thái Lan, Lào, Campuchia, Việt Nam và Nam Trung Quốc [5]. Trong phạm vi PNKB HNN, các địa hình paleokarst đã được tìm thấy dưới dạng bị phủ hoặc bị lấp nhét bao gồm các karren tàn, polje (?), khe nứt, khe rãnh karst, hốc và hang động karst, phản ánh quá trình phát triển karst trong một giai đoạn tương đối dài, đi tới giai đoạn cuối với địa hình ít còn sắc nét. Khi khu vực bị lún chìm, các trầm tích trẻ phủ lên các thành tạo karst đã làm chấm dứt quá trình karst hóa ở đây. Thời điểm kết thúc quá trình karst hóa này vào Jura giữa do các trầm tích phủ bất chỉnh hợp bên trên có tuổi Jura muộn - Creta thuộc hệ tầng Nam Phouan (J<sub>3</sub> np) và Mụ Giạ (J<sub>3</sub>-K mg).

Về mặt cổ môi trường và cổ khí hậu, sự tồn tại thống nhất trên toàn khu vực hệ Đá vôi - Paleokarst - Trầm tích lục địa màu đỏ có thể cho

thấy nơi này đã từng: là môi trường biển nước ấm vào Carbon - Permi với sự có mặt của đá vôi giàu sinh vật biển (Huệ biển, San hô, Trùng thoi); là lục địa với khí hậu nóng ẩm thuận lợi cho quá trình karst hóa tạo ra các dạng địa hình karren, polje, luống rãnh và hang động vào Trias - Jura giữa; là lục địa có khí hậu khô nóng vào Jura muộn - Creta với sự có mặt của các trầm tích lục địa màu đỏ.

Phát hiện paleokarst ở PNKB HNN có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu karst và quá trình karst đặc biệt là karst cổ. Đây cũng là đóng góp mới, mở ra một hướng đi mới trong nghiên cứu karst ở Việt Nam, đặc biệt là xác định tuổi địa hình. Tuổi của địa hình ở Phong Nha - Kẻ Bàng trong các nghiên cứu trước chủ yếu mới chỉ tập trung đối sánh các bề mặt san bằng, bậc thềm và mực hang trong khu vực với khu vực xung quanh, trầm tích đối sánh và dao động mực nước đại dương cho tuổi cổ nhất là Oligocen [40]. Với cách làm như vậy, hệ thống hang động cũng đã xác định có tuổi cổ nhất là Oligocen ở hang Khe Ry có mực độ cao 1500 - 1600 m và hang này được coi là hang cổ nhất Đông Nam Á [40, 43]. Hiện tại, tuy ở Phong Nha - Kẻ Bàng chưa phát hiện, nhưng ở Hin Nặm Nô đã có những minh chứng về hang có tuổi cổ hơn như hang Thập Lao và hang Bộ Đội (Hình 6, Hình 7) với paleokarst hang động hình thành vào Trias bị lấp nhét làm "hóa thạch" bởi trầm tích Jura rồi sau đó lại tái hoạt động trong giai đoạn tân kiến tạo. Như vậy, việc xác định các minh chứng về sự có mặt của paleokarst cũng là một cách tiếp cận mới trong nghiên cứu xác định tuổi của hang động.

Nhiều điểm phát hiện trong khu vực PNKB HNN có thể là những ví dụ tốt về paleokarst, xứng đáng là điểm đáng quan tâm về địa chất, địa mạo, nói cách khác là điểm di sản địa học, tiêu biểu như: paleokarst bị phủ dạng karren tàn, polje ở gần cửa khẩu Cha Lo (Km 133+350 QL12) của VQG PNKB; paleokarst lấp nhét là hang cổ ở hang Thập Lao và hang Bộ Đội của VQG HNN.

Có thể thấy PNKB HNN chứa đựng những giá trị nổi bật toàn cầu liên quan về địa chất, địa mạo karst và đã được ghi nhận là Di sản thiên nhiên thế giới đối với Phong Nha - Kẻ Bàng.

Cùng với những giá trị đã được xác lập đó, các giá trị về paleokarst mới được phát hiện trong khu vực chính là một giá trị nổi bật toàn cầu bổ sung, góp phần mở rộng Phong Nha – Kẻ Bàng trở thành Di sản thế giới xuyên biên giới PNKB HNN.

#### 4. Kết luận

Paleokarst, địa hình karst cổ hình thành trong quá khứ địa chất thường bị chôn vùi bởi các đá trầm tích trẻ hơn, có mặt ở nhiều nơi trong phạm vi VQG PNKB và HNN. Paleokarst được bắt gặp ở đây chủ yếu dưới hai dạng: bề mặt karst cổ (karren, polje) bị chôn vùi; các khe nứt, khe rãnh, hang hốc karst bị lấp nhét. Paleokarst được bắt đầu phát triển vào Trias trên các đá vôi Devon trung, Devon thượng, Carbon hạ và Carbon – Permi. Quá trình karst hóa kết thúc vào Jura giữa khi mà các trầm tích lục địa màu đỏ phủ lên và làm “hóa thạch” các thành tạo paleokarst này.

Phân tích đặc điểm thạch học, khoáng vật, địa chất đã khẳng định sự tồn tại paleokarst trong khu vực VQG PNKB HNN. Paleokarst thường được tìm thấy ở nơi phát triển các lỗ rỗng khe nứt do diagenesis, rửa lữa hòa tan và phá hủy kiến tạo trong các đá carbonat màu xám chứa nhiều hoá thạch Trùng thoi, Huệ biển, San hô, Trùng lỗ. Lấp đầy các lỗ rỗng khe nứt này chủ yếu là các trầm tích cát bột sét kết nâu đỏ tuổi Jura – Creta, tuy nhiên tại một số hang ở PNKB vật liệu lấp nhét còn có cả các trầm tích cuội sỏi kết màu xám vàng tương lỏng sông. Đây có thể là một pha paleokarst khác? Để làm sáng tỏ, cần có những nghiên cứu thêm về đặc điểm thạch học hạt vụn đá trầm tích này.

Paleokarst có mặt ở Phong Nha - Kẻ Bàng và Hin Nậm Nô là phát hiện mới, bổ sung thêm thông tin về giai đoạn tiến hóa karst từ Trias đến Jura, giai đoạn đầu tiên phát triển địa hình karst chung thống nhất cho toàn bộ khu vực này. Sự hình thành khối đá vôi Carbon – Permi, phát triển địa hình paleokarst Trias – Jura, hình thành trầm tích màu đỏ Jura – Creta, phát triển địa hình karst Kainozoi diễn ra một cách đồng nhất trên phạm vi cả khu vực PNKB HNN.

Phát hiện paleokarst ở PNKB HNN có ý nghĩa quan trọng trong nghiên cứu karst và quá

trình karst, đặc biệt là karst cổ. Đây cũng là đóng góp mới, gợi mở ra một hướng đi mới trong nghiên cứu xác định tuổi địa hình karst ở Việt Nam. Trong các nghiên cứu trước, tuổi của địa hình ở VQG PNKB chủ yếu tập trung đối sánh các bề mặt san bằng, bậc thềm và mực hang trong với khu vực lân cận cho tuổi cổ nhất là Oligocen. Các bằng chứng paleokarst đã khẳng định lại các tuổi của một số dạng địa hình karst trong khu vực, cụ thể tuổi của các hang động karst cổ nhất ở PNKB HNN là Trias - Jura, cổ hơn nhiều so với các nghiên cứu trước đây.

Như vậy, paleokarst xứng đáng là giá trị nổi bật toàn cầu mới của VQG PNKB và HNN. Đây là các thông tin có ý nghĩa quan trọng góp phần bổ sung, phong phú hơn các giá trị giá trị nổi bật toàn cầu phục vụ xây dựng hồ sơ khoa học đề cử DSTNTG xuyên biên giới PNKB HNN.

#### Lời cảm ơn

Các kết quả nghiên cứu này là sản phẩm của đề tài mã số ĐTĐLCN.10/21. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn Ban quản lý VQG PNKB, Ban quản lý VQG HNN đã luôn tạo điều kiện và nhiệt tình giúp đỡ đoàn công tác trong quá trình triển khai đề tài tại địa phương. Trân trọng cảm ơn sự ủng hộ của đề tài mã số UDKHAC.01/22-23 trong chuyến khảo sát hang động tại VQG PNKB.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] N. P. Jame, P.W. Choquette, Paleokarst, Springer Verlag, New York, 1988.
- [2] P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, I. Horáček, Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989.
- [3] M. J. Simms, Karst and Paleokarst, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, 2014, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09370-2>.
- [4] R. A. L. Osborne, Preservation and Burial of Ancient Karst, in: J. F. Shroder (ed.), Treatise on Geomorphology, San Diego: Academic Press, Vol. 6, 2013, pp. 95-103.

- [5] C. Mouret, Paleokarsts at the Permian-Triassic Boundary in Southeast Asia: An Introduction, Supplement to Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Congress of Speleology, Beijing: Chinese Academy of Science, 1994, pp. 9-31.
- [6] G. Bardossy, Bauxites, P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, I. Horáček, (Eds), Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989, pp. 399-418.
- [7] G. Komlossy, Mineralogie, Géochimie et Génétique des Bauxites du Vietnam du Nord. Acta. Geol. Acad. Sci. Hung., Vol. 20, No. 3-4, 1976, pp. 199-244.
- [8] G. Bardossy, Y. Fuchs, J. Glazek, Iron Ore Deposits in Paleokarst, in Bosák, P. Ford, D. C. Glazek, J. Horáček, I. (Eds) Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989, pp. 419-429.
- [9] J. Glazek, On the Karst Phenomena in North Vietnam, Bull Acad. Sci. Pol., Sér. Sei. Géol. Géogr., Vol. 14, No. 1, 1966, pp. 45-51.
- [10] J. H. Hoffet, Sur la Génese Des Gisements de Fer de la Rive Droite du Fleuve Rouge (Tonkin), CR Acad. Sei. Paris, Vol. 208, No. 2, 1939, pp. 112-114.
- [11] P. Khang, The Development of Karst Landscapes in Vietnam, Acta Geologica Polonica, Vol. 35, No. 3-4, 1985, pp. 305-319.
- [12] P. Khang, Présentation Des Régions Karstiques Du Vietnam, Karstologia: Revue de Karstologie et de Spéléologie Physique, Vol. 18, No. 2, 1991, pp. 1-12.
- [13] J. Deprat, Sur la Présence du Permien à Hongay et la Structure de la Bordure de la Région Rhétienne du Litoral Tonkinois dans les Baies d'Along et du Fai-tsi-long. Paris, C. R. Acad. Sc., Vol. 165, No. 19, 1917, pp. 638-640.
- [14] P. W. Williams, Geoheritage Values of Hin Nam No: Assessment and Comparative Analysis, Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn, 2018.
- [15] T. Bolger, Hin Nam No National Protected Area Paleokarst Research Mission, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn, 2019.
- [16] T. Tinh (Ed.). Geological and Mineral Resources Map of Viet Nam 1: 200,000, Mahaxay - Dong Hoi Sheet, Geological Survey of Vietnam, Hanoi, 1996 (in Vietnamese).
- [17] N. X. Duong (Ed.), Geological and Mineral Resources Map of Viet Nam 1: 200,000, Sheet Le Thuy – Quang Tri, Geological Survey of Vietnam, Hanoi, 1996 (in Vietnamese).
- [18] T. V. Ban (Ed), Geological and Mineral Resources Map of Mid-Central Laos, 1:200.000. INTERGEO - Geological Survey of Vietnam, 2000 (in Vietnamese).
- [19] T. D. Thanh, V. Khuc, D.T. Huyen, D. N. Truong, D. Bat, N. D. Dy, N. H. Hung, P. H. Thong, P. K. Ngan, T. H. Phuong, T. H. Dan, T. T. Thang, T. V. Tri, T. V. Long, Stratigraphic Units of Vietnam, Vietnam Nat. Univ. Pub. House, Hanoi, 2005 (in Vietnamese).
- [20] J. Urban, Permian to Triassic paleokarst of the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mts, Central Poland. Kwartalnik AGH, Geologia, Vol. 33, No. 1, 2007, pp. 5-50.
- [21] H. Zhang, G. Xu, M. Liu, M. Wang, Formation Environments and Mechanisms of Multistage Paleokarst of Ordovician Carbonates in Southern North China Basin, Nature Research, Scientific Report, Vol. 11, No. 1, 2021, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80878-x>.
- [22] E. F. McBride, A Classification of Common Sandstones, J. Sediment. Petrol, Vol. 33, No. 3, 1963, pp. 664-669.
- [23] J. R. H. Dott, Wacke, Greywacke and Matrix – What Approach to Immature Sandstone Classification? J. Sediment. Petrol, Vol. 34, No. 3, 1964, pp. 625-632.
- [24] R. L. Folk, P. B. Andrews, D. W. Lewis, Detrital Sedimentary Rock Classification and Nomenclature for Use in New Zealand, N. Z. J. Geol. Geophys. Vol. 13, No. 4, 1970, pp. 937-968, <http://dx.doi.org/10.1080/00288306.1970.10418211>.
- [25] F. J. Pettijohn, P. E. Potter, R. Siever, Sand and Sandstones, Springer-Verlag, New York, 1972.
- [26] H. Williams, F. J. Turner, C. M. Gilbert, Petrography, An Introduction to the Study of Rocks in Thin Sections, Second ed., San Francisco and Oxford (W. H. Freeman), 1982.
- [27] S. J. Boggs, Petrology of Sedimentary Rocks, Cambridge University Press, 2009.
- [28] R. J. Dunham, Classification of Carbonate Rocks according to Depositional Texture, in: W.E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks, American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1, 1962, pp. 108-121.
- [29] M. E. Tucker, Sedimentary Petrology, Blackwell Science, Oxford, 2001.

- [30] X. Xu, Q. Chen, C. Chu, G. Li, C. Liu, Z. Shi, Tectonic Evolution and Paleokarstification of Carbonate Rocks in the Paleozoic Tarim Basin, Carbonates Evaporites, Vol. 32, No. 4, 2017, pp. 487-496, <https://doi.org/10.1007/s13146-016-0307-4>.
- [31] H. Li, D. You, J. Han, Y. Qian, X. Sha, B. Xi, The Origin of Fluid in Calcite Veins and Its Implications for Hydrocarbon Accumulation in the Shunnan-Gucheng Area of the Tarim Basin, China, Journal of Natural Gas Geoscience, Vol. 5, No. 6, 2020, pp. 341-353, <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2020.11.001>.
- [32] A. R. McBirney, R. M. Noyes, Crystallization and Layering of the Skaergaard Intrusion, Journal of Petrology, Vol. 20, No. 3, 1979, pp. 487-554.
- [33] V. P. Wright, Paleokarsts and Paleosols as Indicators of Paleoclimate and Porosity Evolution: A Case Study from the Carboniferous of South Wales, in N. P. James, P. W. Choquette (eds.), Paleokarst, Springer-Verlag, New York – Berlin – Heidelberg – London – Paris – Tokyo, 1988, pp. 329-341.
- [34] N. A. Shawwa, Ó. M. Tomé, B. Šegvić, L. P. Fernández, J. R. B. Rionda, E. Samankassou, Paleokarst in the Cantabrian Zone: Witness to Pennsylvanian Paleoclimate Evolution at Equatorial Latitudes, Conference: International Sedimentological Congress, Québec City, 2018.
- [35] J. Glazek, Interaction Between Engineering and Environment in the Presence of Paleokarst: Some Case Histories, in P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, I. Horáček, (Eds), Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989, pp. 559-562.
- [36] A. Eraso, Paleokarst in Civil Engineering, in P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, I. Horáček, (Eds), Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989, pp. 549-558.
- [37] M. A. Soriano, A. Pocoví, H. Gil, A. Perez, A. A. Luzón, M. A. Marazuela, Some Evolutionary Patterns of Palaeokarst Developed in Pleistocene Deposits (Ebro Basin, NE Spain): Improving Geohazard Awareness in Present-Day Karst, Geol. Jour, Vol. 54, No. 1, 2019, pp. 333-350.
- [38] P. Bosák, An Introduction to Karst-Related Mineral Deposits, in P. Bosák, D. C. Ford, J. Glazek, I. Horáček, (Eds), Paleokarst a Systematic and Regional Review, Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo, 1989, pp. 367-376.
- [39] P. William, K. S. Woo, Theme 6: Cave and Karst Systems, in P. J. Mc Keever and G. M. Narbonne (Eds), Geological World Heritage: A Revised Global Framework for the Application of Criterion (viii) of the World Heritage Convention, IUCN, Gland, Switzerland, 2021, pp. 28-31.
- [40] UNESCO, The Phong Nha – Ke Bang National Park, Vietnam, World Heritage List Nomination form, 2003, <https://whc.unesco.org/uploads/nominations/951rev.pdf> (accessed on: January 1<sup>st</sup>, 2024).
- [41] Vietnam Ministry of Culture, Sport and Tourism. Phong Nha – Ke Bang National Park, Quang Binh, Vietnam. Renomination Expanding Criterion (Viii) and Inscription on Criteria (ix) and (x), 2014, <https://whc.unesco.org/uploads/nominations/951bis.pdf> (accessed on: January 1<sup>st</sup>, 2024).
- [42] T. Bolger, Preparing the Groundwork for the Geoheritage Aspects of a World Heritage Nomination for Hin Nam No NPA, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Bonn and Eschborn, 2017.
- [43] T. Nghi, L. Nam, D. B. Din, D. X. Thanh, T. H. Phuong, D. V. Bao, N. T. H. Trang, Geological History of Caves and Conservation Values of the World Nature Heritage Phong Nha-Ke Bang National Park, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 39, No. 4, 2023, pp. 16-31 (in Vietnamese).