



ĐẶC ĐIỂM CẤU TRÚC - KIẾN TẠO VÀ HỆ THỐNG HANG ĐỘNG KHU VỰC CÔNG VIÊN ĐỊA CHẤT TOÀN CẦU UNESCO CAO NGUYÊN ĐÁ ĐỒNG VĂN

Đỗ Thị Yến Ngọc, Trần Tân Văn¹
Đoàn Thế Anh, Hoàng Xuân Đức
Phạm Minh Hải

TÓM TẮT

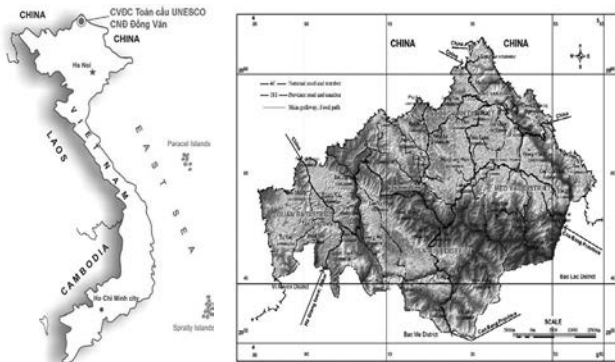
Công viên địa chất toàn cầu (CVĐCTC) UNESCO Cao nguyên đá Đồng Văn (tỉnh Hà Giang), gồm 4 huyện Quản Bạ, Yên Minh, Đồng Văn và Mèo Vạc có diện tích 2.356 km², được thành lập ngày 9/9/2009 và trở thành CVĐC UNESCO đầu tiên của Việt Nam và thứ hai ở Đông Nam Á ngày 3/10/2010. Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng, sự hình thành địa hình karst và các hệ thống hang động chủ yếu được kiểm soát bởi kết hợp phức tạp các hoạt động kiến tạo, phát triển địa mạo, quá trình khí hậu và thủy văn. Bài báo này sẽ trình bày về đặc điểm cấu trúc - địa chất và mối quan hệ với hệ thống hang động khu vực CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn.

Từ khóa: Cấu trúc - địa chất, kiến tạo, hang động, karst.

Nhận bài: 12/8/2022; Sửa chữa: 3/9/2022; Duyệt đăng: 5/9/2022.

1. Mở đầu

CVĐCTC UNESCO Cao nguyên đá Đồng Văn thuộc tỉnh Hà Giang (Hình 1). Bên cạnh các đặc điểm, giá trị địa chất, địa mạo, địa tầng và cổ sinh học, khu vực này còn được đặc trưng bởi sự phát triển hang động và cảnh quan karst kỳ thú. Karst và hệ thống hang động không chỉ có giá trị về cảnh quan, du lịch và đa dạng sinh học dưới mặt đất mà hang động còn là nơi ghi lại thông tin về điều kiện cổ sinh cũng như quá trình phát triển kiến tạo [1].

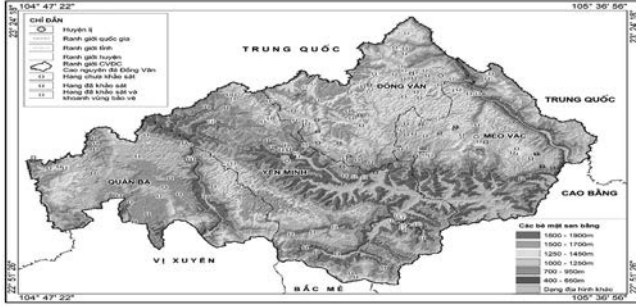


▲ Hình 1. Vị trí và ranh giới CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn

¹ Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Ở khu vực này, độ cao trung bình khoảng 1.500 m, có nơi lên đến 1.800 m, trong khi mức xâm thực địa phương khá thấp, chỉ khoảng 200 - 300 m ở phía Nam sông Nhiệm hoặc 400 - 500 m dọc sông Nho Quế ở phía Bắc và phía Đông (Hình 2). Lớp đất mặt hiếm khi được bảo tồn và các dòng chảy bề mặt hầu hết đều ngắn, sớm bị cạn sau mùa mưa, phần lớn chìm dưới lòng đất tại các cửa hang hoặc hố sụt [10]. Một số nghiên cứu [9] đã chỉ ra rằng, sự phân bố của các hệ thống hang động, bề mặt đứt gãy và thêm/thung lũng sông suối ở các độ cao khác nhau trong khu vực này phụ thuộc vào các chuyển động kiến tạo kết hợp với quá trình phát triển địa mạo diễn ra theo chu kỳ trong thời kỳ Kainozoi.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra, sự hình thành địa hình karst và các hệ thống hang động chủ yếu được kiểm soát bởi kết hợp phức tạp các hoạt động kiến tạo, phát triển địa mạo, quá trình khí hậu và thủy văn. Trên quan điểm kiến tạo chỉ ra rằng, 42% hệ thống hang động bị khống chế bởi các đứt gãy và trường ứng suất tân kiến tạo [7]. Một số nghiên cứu trước đây [1, 7, 11] cho thấy, hệ thống thủy văn karst ngầm có mối quan hệ chặt chẽ với sự phát triển của yếu tố địa hình và địa chất địa phương, được kiểm soát bởi một số yếu tố, chẳng hạn như thạch học, kiến tạo và ranh giới địa tầng. Trong bài báo này sẽ trình bày về đặc điểm cấu trúc - địa chất và mối quan hệ với hệ thống hang động khu vực CVĐCTC UNESCO Cao nguyên đá Đồng Văn.



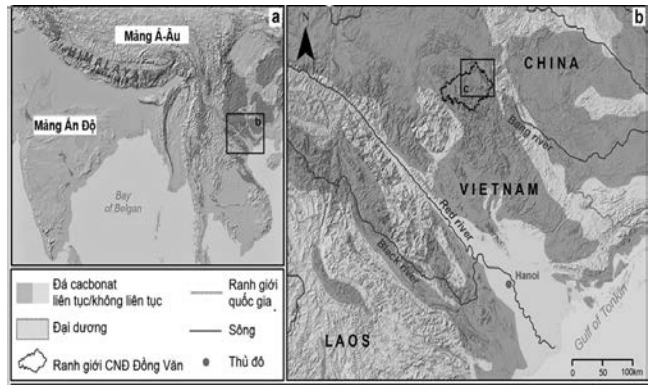
▲ Hình 2. Sơ đồ phân bố hang động trên mô hình số độ cao (DEM) khu vực CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn

2. Đặc điểm cấu trúc - kiến tạo vùng nghiên cứu

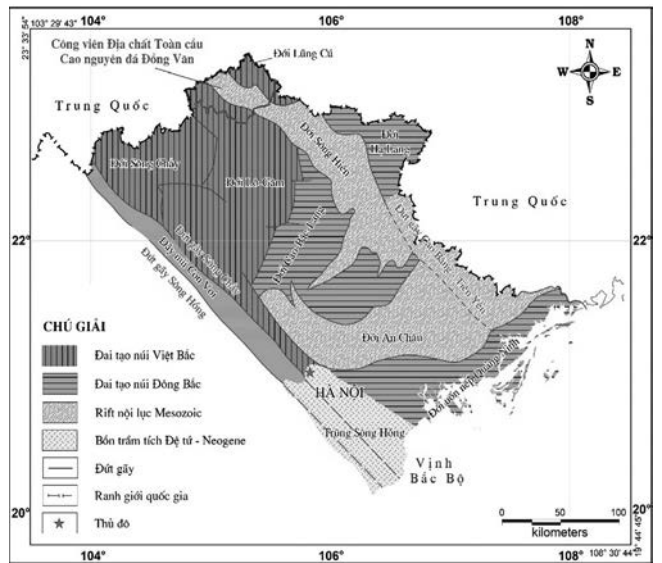
2.1. Vị trí và tiến hóa kiến tạo

CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn thuộc Đông Bắc Việt Nam, là một phần của mảng Hoa Nam (Metcalf I., 2005) (Hình 3, 4) [2, 9] và cùng với nó, đã từng là một phần của lục địa cổ Gondwana từ hàng trăm triệu năm trước, khi hình thành các hệ tầng Chang Pung (ϵ_3 cp) và Lutxia (O_1 lx) (giai đoạn 1). Trong kỷ Silur (khoảng 125 triệu năm sau), mảng Hoa Nam tách khỏi lục địa Gondwana, trôi dạt và thu hẹp đại dương cổ Proto-Tethys, đồng thời mở ra đại dương mới Paleo-Tethys, tương đương với một gián đoạn trầm tích lớn trên Cao nguyên đá (giai đoạn 2) cho đến Devon sớm, trước khi hình thành hệ tầng Si Ka (D_1 sk) (bắt đầu giai đoạn 3). Bất chỉnh hợp góc giữa hai hệ tầng Lutxia và Si Ka tìm thấy trên Cao nguyên đá chính là một bằng chứng quan trọng của quãng thời gian này trong lịch sử tiến hóa Trái đất. Thời kỳ Carbon-Permian, trong điều kiện cổ khí hậu nhiệt đới, mảng Hoa Nam tồn tại tách biệt với cả lục địa Gondwana và siêu lục địa Pangaea mới hình thành (giai đoạn 4). Tiểu lục địa Cimmeria, gồm Tibet, Iran, Thổ Nhĩ Kỳ và một phần Đông Nam Á, cũng tách khỏi Gondwana để nhập vào siêu lục địa Laurasia, thu hẹp đại dương Paleo-Tethys đồng thời mở ra đại dương Tethys mới. Quá trình này đồng điệu với sự hình thành trên Cao nguyên đá vòng chống nguồn rift nội mảng Sông Hiến với các hệ tầng Đồng Đăng (P_3 đđ), Hồng Ngài (T_1 hn), Sông Hiến (T_1 sh) và Yên Bình (T_{2a} yb) (giai đoạn 5) (Trần Văn Trị và nnk., 1977). Trong Trias giữa (cách ngày nay 245 - 228 triệu năm), bộ phận phía Đông của tiểu lục địa Cimmeria va chạm với mảng Hoa Nam và chúng cùng trôi dạt lên phía Bắc về phía siêu lục địa Laurasia, tương ứng với giai đoạn tạo núi Indosini (giai đoạn 6). Trong Jura sớm (200 - 175 triệu năm trước), các mảng Hoa Nam và Hoa Bắc va chạm để làm nên Trung Hoa đại lục ngày nay. Trong Kainozoi, phần lớn mảng Hoa Nam kể cả Cao nguyên đá Đồng Văn bị nâng lên thành núi do va chạm với tiểu lục địa Ấn Độ. Hình thái kiến trúc ngày nay được hình thành trong giai đoạn biến dạng Tân kiến tạo (Neogene-Đệ Tứ, 23 triệu năm trước đến nay - giai đoạn 7), với biểu hiện rõ nhất là các trận

động đất mới xảy ra ở phạm vi tỉnh Hà Giang trong một số năm gần đây [8, 9].



▲ Hình 3. a. Bản đồ vị trí miền Bắc Việt Nam minh họa hoạt động kiến tạo của sự va chạm giữa các mảng Ấn Độ và Á-Âu; b. Vị trí của CVĐC Cao nguyên đá Đồng Văn trong vành đai karst miền Bắc Việt Nam và Nam Trung Quốc (dựa trên Bản đồ tầng chứa nước karst thế giới, Goldscheider và nnk. 2020)



▲ Hình 4. Vị trí của vùng nghiên cứu trên bình đồ cấu trúc - kiến tạo Đông Bắc - Việt Nam [8]

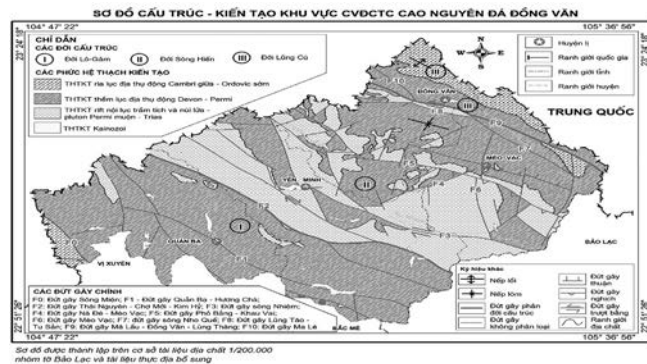
2.2. Các đới cấu trúc - kiến tạo

Vùng nghiên cứu có lịch sử phát triển kiến tạo lâu đời từ Paleozoi giữa đến Kainozoi; tuy nhiên, chỉ có hai pha kiến tạo xảy ra trong Mesozoi và Kainozoi được ghi nhận trong vùng nghiên cứu. Trong Mesozoi, pha tạo núi Indosini Trias muộn xảy ra bao gồm uốn nếp quy mô lớn và đứt gãy trong một đứt gãy chồm nghịch (Hai và nnk. 2013). Trong thời kỳ Tân kiến tạo, hai kiểu kiến tạo đã phát triển theo mô hình biến dạng hai pha do sự va chạm giữa các mảng Ấn Độ và Á-Âu xảy ra trong Paleogen (Molnar và nnk. 1993; Tri và nnk. 2009; Hai và nnk. 2013). Trong giai đoạn đầu (Eocen-Miocen), chế độ địa động lực được đặc trưng bởi trường ứng suất kiến tạo với lực nén phương á vĩ tuyến và mở rộng phương á



kinh tuyến (Tapponnier và nnk. 1990). Trong giai đoạn sau (Pliocen-Đệ tứ), trường ứng suất kiến tạo chuyển thành nén phương á kinh tuyến và mở rộng á vĩ tuyến (Wang và nnk. 1998). Tóm lại, nếu quá trình kiến tạo Indosinia đóng vai trò quan trọng trong việc định hình cấu trúc địa chất thì hoạt động mạnh mẽ của các hệ thống đứt gãy trong Tân kiến tạo được coi là yếu tố chi phối sự hình thành và phát triển cảnh quan địa hình, đặc biệt là hệ thống karst và hang động trên Cao nguyên đá Đồng Văn [8, 9].

Theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, Cao nguyên đá Đồng Văn lần lượt thuộc 3 đới cấu trúc kiến tạo sau: 1) Đới Lô Gâm; 2) Đới Sông Hiến; 3) Đới Lũng Cú, phân cách với nhau bởi các đứt gãy sâu. Chúng cùng nhau tạo nên một cấu trúc lớn dạng phức nếp lồi kéo dài theo phương Tây Bắc - Đông Nam, với các cánh lần lượt là đới Lô Gâm và Lũng Cú và phần trung tâm là đới Sông Hiến [8] (Hình 5).



▲ Hình 5. Sơ đồ cấu trúc - kiến tạo khu vực CVDCTC UNESCO Cao nguyên đá Đồng Văn

2.3. Các đứt gãy chính

Khu vực nghiên cứu bị chia cắt bởi nhiều hệ thống đứt gãy (Hình 5), nhưng chủ yếu là hệ thống đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam, bao gồm đứt gãy Sông Miện (F0), Quản Bạ - Hương Chà (F1) (Hình 6); đứt gãy Thái Nguyên - Chợ Mới - Kim Hỷ (F2) (Hình 7); đứt gãy Sông Nhiệm (F3), đứt gãy Phó Bảng - Khâu Vai (F5), đứt gãy sông Nho Quế (F7), đứt gãy Lũng Táo - Tu Sản (F8) (Hình 8), đứt gãy Mã Lầu - Đồng Văn - Lũng Thàng (F9) đứt gãy suối Mã Lẻ (F10) và một số trong số chúng nằm trong đới đứt gãy cấu trúc (F2, F5 và F9). Ngoài ra, còn có sự xuất hiện của hệ thống đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam như đứt gãy Na Đé - Mèo Vạc (F4), đặc biệt là các hệ thống đứt gãy phương á vĩ tuyến và á kinh tuyến hình thành trong kỷ Tân kiến tạo như đứt gãy Mèo Vạc (F6) [6, 9].

Ngoài hệ thống đứt gãy nhỏ phương kinh tuyến (Hình 9) còn có các hệ thống đứt gãy nhỏ phương Đông Bắc, á vĩ tuyến... chủ yếu là các đứt gãy cộng sinh với hệ thống đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam trong các pha chuyển động chúng như đứt gãy phương Đông Bắc



▲ Hình 6. Thung lũng Tam Sơn hình thành bởi hoạt động đứt gãy Quản Bạ - Hương Chà



▲ Hình 7. Phân đới cấu trúc giữa đới Lô Gâm và Sông Hiến là đứt gãy Thái Nguyên - Chợ Mới - Kim Hỷ



▲ Hình 8. Đứt gãy Lũng Táo - Tu Sản là ranh giới kiến tạo giữa đá vôi hệ tầng Bắc Sơn (C-P bs) và trầm tích lục nguyên hệ tầng Sông Hiến (T_{sh})



▲ Hình 9. Thung lũng kiến tạo Lũng Cẩm, xã Sủng Là, huyện Đồng Văn được hình thành do hoạt động của đứt gãy phương á kinh tuyến

biểu hiện trượt bằng trái ở phía Nam Lũng Cú. Ở khu vực Phó Bảng đứt gãy nhỏ phương Đông Bắc tạo ra các thung lũng nhỏ dạng tam giác, khép lại về Đông Bắc, mở rộng về Tây Nam nơi giao nhau với đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam.

2.4. Đặc điểm địa mạo

Với vị trí cũng như bối cảnh kiến tạo, cấu trúc địa chất và đặc điểm sơn văn cũng như điều kiện khí hậu độc đáo. Cao nguyên đá Đồng Văn đã kết tinh được những cảnh quan địa mạo độc đáo, đặc biệt là cảnh quan karst. Đó là các cao nguyên với các bề mặt san bằng khác nhau, các kiểu và dạng địa hình thành tạo do đứt gãy, bóc mòn, xâm thực - bóc mòn, trọng lực, các dạng cuesta (địa hình mái nhà lệch), các cảnh quan đỉnh lũng, hẻm vực karst, karst sót, karst trẻ hóa, các rừng đá, các sườn và đáy lũng tự phủ, các cánh đồng karst, các thung lũng karst - xâm thực, hố sụt, phếu karst, các tầng hang động, thềm travectin cùng với tích tụ do các quá trình dòng chảy, trọng lực... Theo đó, các bề mặt san bằng trong khu vực CVĐC Cao nguyên đá Đồng Văn là kết quả của hoạt động theo chu kỳ của các chuyển động Neotectonic. Vào đầu mỗi chu kỳ, địa hình được nâng lên và chia cắt. Sự kết thúc của mỗi chu kỳ tương ứng với một thời kỳ kiến tạo ổn định, tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình xói mòn, vận chuyển và tích tụ, dẫn đến hình thành một bề mặt khá bằng phẳng ở cấp xói mòn cục bộ. Các bề mặt san bằng biểu hiện dưới dạng các bề mặt có độ cao tương đương ở vùng phân thủy, các bề mặt bằng phẳng trên đường sống núi, trên vai núi và các bậc vai sườn trong thung lũng. Chúng tồn tại cả trên vùng karst, vùng phi karst ở các khoảng độ cao sau (Hình 10) [6, 9]:

- Bề mặt san bằng 1.800 - 2.000 m, tuổi Paleogen (khoảng 60 tr.n.tr.);
- Bề mặt san bằng 1.500 - 1.700 m, tuổi giả định Miocen sớm - giữa (khoảng 24 - 11 tr.n.tr.). Phân bố

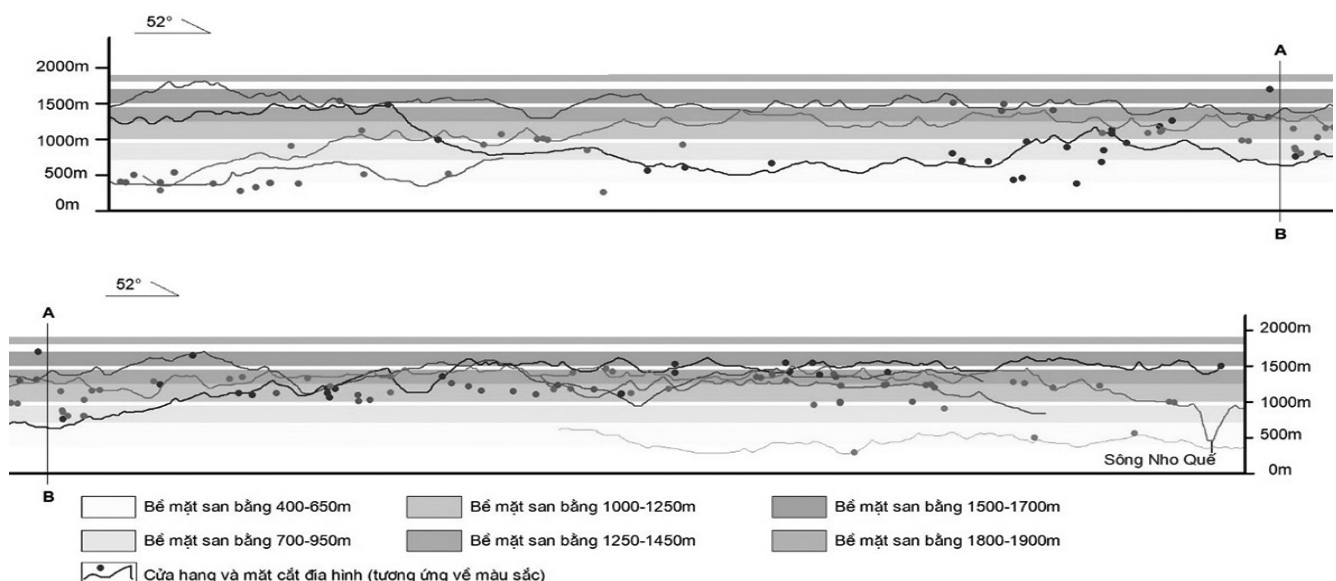
phổ biến nhất, thành 2 khu vực chính ở bắc Lũng Thầu - Sủng Là - Vân Chải và Miêu Vạc, tạo nên phần trung tâm của Cao nguyên đá Đồng Văn;

- Bề mặt san bằng 1.500 - 1.300 m, tuổi Miocen muộn (N³) (khoảng 11 - 5 tr.n.tr.), cũng phân bố rộng rãi ở phần trung tâm Cao nguyên đá;
- Bề mặt 1.300 - 1.000 m, tuổi Miocen muộn (khoảng 11 tr.n.tr.). Phân bố rộng, chủ yếu ở phía Nam Cao nguyên đá trước khi chuyển sang vùng đồi - núi Yên Minh và xuống thung lũng sông Nho Quế;
- Bề mặt san bằng 750 - 950 m, tuổi Pliocen sớm - giữa (N¹⁻²) (khoảng 5 tr.n.tr.). Phân bố trên những diện tích hẹp, chủ yếu có dạng bậc vai sườn ở vùng đá vôi và phần phân thủy ở vùng đá lục nguyên, đặc biệt là ở Yên Minh;
- Bề mặt 400 - 650 m, tuổi Pliocen muộn (N₂³) (khoảng 3,6 - 2,6 tr.n.tr.), tồn tại chủ yếu trên các diện tích đá lục nguyên ở Yên Minh;
- Bề mặt pediment thung lũng và các bậc thềm cao (xâm thực sông), tuổi Pleistocen sớm (Q₁¹) (khoảng 2,6 - 1,8 tr.n.tr.).

3. Hệ thống hang động vùng nghiên cứu

Theo số liệu thống kê, hiện có hơn 150 hang động, trong đó có 74 hang đã được đo vẽ khảo sát, 25 hang đã được khoanh vùng bảo vệ với tổng số lên đến 39 km lối thông hang động được đo vẽ cho đến nay trên Cao nguyên đá Đồng Văn (Masschelein và nnk. 2007; Bontridder và nnk. 2010) [6]. Hệ thống hang được phát triển mạnh trên một số hệ tầng đá carbonat là Bắc Sơn (C-P bs), Đồng Đăng (P₃đđ), Hồng Ngải (T₁hn), Sông Hiến (T₁sh) và Khao Lộc (D₁₋₂kl) (Hình 11).

Do tính chất thạch học khác nhau, các hang động phát triển trong mỗi hệ tầng có những đặc điểm khác nhau. Hệ tầng Bắc Sơn (C-P bs) được cấu tạo bởi đá vôi dạng khối đồng nhất, một phần bị dolomit hóa, tổng chiều dày



▲ Hình 10. Mặt cắt các mức địa hình và vị trí cửa hang khu vực nghiên cứu

động này không chỉ được phát triển theo chiều ngang mà còn có lối thông dọc đứng. Tuy nhiên, các lối thông phát triển theo chiều ngang chiếm ưu thế trong toàn bộ hang động. Các quan sát thực địa cho thấy, các lối thông ngang của hang động này có thể được hình thành do dòng chảy bên dưới mực nước ngầm hoặc được phát triển dưới sự chi phối của mặt phân lớp hoặc tiếp xúc địa tầng nhưng vẫn có thể bị ảnh hưởng bởi sự gián đoạn kiến tạo. Kết quả nghiên cứu đã phát hiện ra rằng, nhiều hang động hình thành dọc theo giao điểm của hệ thống đứt gãy với bề mặt gián đoạn và những lối thông hang động này có thể được sử dụng để phân tích kiến tạo. Thực tế quan sát cho thấy, hệ số thẳng đứng giảm khi xuất hiện các lối thông hang ngang trong hệ thống hang liên thông. Các lối thông hang động này phát triển trong hệ tầng carbonat tuổi Carbon-Permi, hệ tầng Bắc Sơn (C-Pbs) trong các thời kỳ kiến tạo ổn định, đồng thời hình thành dưới sự kiểm soát của các mặt phân lớp ở hệ tầng Đồng Đăng (P₂đđ) tuổi Permi trung và Hồng Ngải (T₁hn), tuổi Trias sớm.

3.2.2. Cấp hang, đặc điểm hình thái và định hướng lối thông hang trong các nhóm hang khác nhau

Dựa trên các dữ liệu địa chất, khu vực nghiên cứu có thể được chia thành ba “khối cấu trúc” khác nhau (Hình 5) với ranh giới được phân định bởi các đới đứt gãy chính bao gồm: Khối cấu trúc 1 Lô Gâm giới hạn bởi đứt gãy F2 với đới Sông Hiến; đới cấu trúc 2 Sông Hiến giới hạn bởi đứt gãy F2 và F9 với đới cấu trúc 1 Lô Gâm và đới cấu trúc 3 Lũng Cú. Phân tích thống kê về độ cao của các lối thông ngang đã được thực hiện để xác định các cấp hang trong các khối cấu trúc khác nhau và trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Trong mỗi khối cấu trúc, nhóm hang động được chia theo các lớp hang để tiến hành phân tích các thông số hình học và hướng của lối thông hang động.

3.2.3. Phân tích thống kê các lối thông ngang của hang động và phân chia lớp hang

Biểu đồ sự phân bố độ cao của các lối thông ngang và sự phân chia cấp hang (Hình 12) thu được từ nhóm hang động có độ cao 50 m cho thấy sự phân bố theo chiều dọc của các lối thông ngang trong toàn bộ khu vực nghiên cứu và trong từng khối cấu trúc. Trong toàn bộ khu vực nghiên cứu, các lối thông ngang được hình thành và phân bố ở các độ cao khác nhau từ 200 - 1.700 m. Cụ thể, Hình 12 cho thấy năm đỉnh của chiều dài lối thông hang động nằm trong các nhóm sau: 200 - 250 masl, 850 - 900 masl, 1.050 - 1.150 masl, 1.200 - 1.250 masl và 1.350 - 1.450 masl. Về chiều dài lối thông, những đỉnh này nằm trong khoảng từ 890 - 2.130 m.

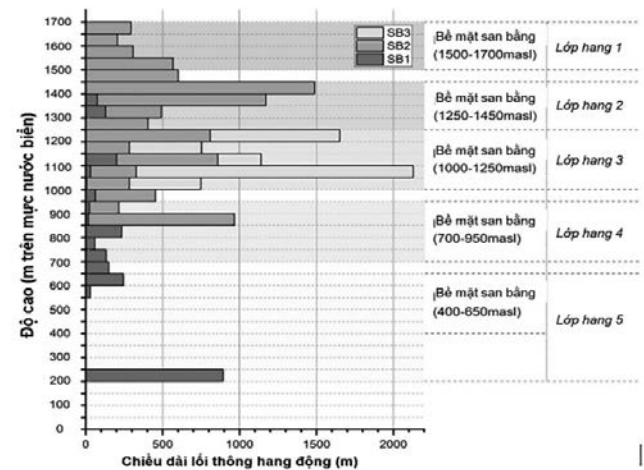
Xem xét các khối cấu trúc khác nhau, kết quả cũng cho thấy có sự thay đổi trong phân bố các cấp hang. Trong Khối cấu trúc 1 (SB1), lối thông ngang có sự phát triển khá hạn chế. Chúng phân bố ở độ cao rải rác từ 200 - 1.400 m, với đỉnh ở 200 - 250 m đạt 894 m chiều dài lối thông. Khối cấu trúc 2 (SB2) có sự phát triển hang động mạnh

mẽ với tổng chiều dài 9.184 m tương đương 59,9% chiều dài lối thông ngang trong toàn bộ khu vực nghiên cứu. Chúng phân bố gần như liên tục ở độ cao từ 850 - 1.700 masl, với ba đỉnh ở 850 - 900 masl (950 m chiều dài lối thông), 1.200 - 1.250 masl (809 m chiều dài lối thông) và 1.350 - 1.450 masl (dao động từ 1.096 - 1.487 m chiều dài lối thông). Các lối thông ngang ở Khối cấu trúc 3 (SB3) phát triển khá tập trung ở độ cao từ 1.000 - 1.250 masl với hai đỉnh. Đỉnh đầu tiên ở 1.000 - 1.050 masl đạt 1.802 m chiều dài lối thông và một đỉnh khác ở 1.200 - 1.250 masl đạt 842 m chiều dài lối thông.

Trên cơ sở các kết quả thu được về mức độ phát triển của lối thông ngang và độ cao của các bề mặt san bằng trên vùng nghiên cứu, đã đề xuất phân chia các lớp hang theo độ cao của các bề mặt san bằng tương ứng gồm có 5 lớp hang động trong khu vực nghiên cứu (Hình 12) được chia như sau: (1) Lớp hang động 1 ở 1.500 - 1.700 masl; (2) Lớp hang động 2 ở 1.250 - 1.450 masl; (3) Hang động cấp 3 ở 1.000 - 1.250 masl; (4) Hang động cấp 4 ở 700 - 950 masl và (5) Loại hang động 5 ở < 650 masl [2].

3.2.4. Định hướng các lối thông hang động ở các lớp và đới cấu trúc hang động khác nhau

Kết quả phân tích định hướng lối thông hang động của tổng thể các hang động và từng nhóm hang động ở các lớp hang động khác nhau và các khối cấu trúc cục bộ được trình bày trong Hình 13. Theo đó, biểu đồ hoa hồng hiển thị hướng tổng thể của tất cả các lối thông hang động được đo (Hình 13b) cho thấy hai hướng lối thông chính phát triển theo phương xấp xỉ Tây Bắc - Đông Nam và phương á vĩ tuyến và có hai hướng phụ được phát triển theo phương á kinh tuyến và Đông Bắc - Tây Nam. Hình 13a trình bày biểu đồ hoa hồng của các nhóm hang động SB1-CL2, SB1-CL3, SB2-CL1, SB2-CL2 hiển thị hướng lối thông chính theo phương Tây Bắc - Đông Nam và nhóm hang động SB2-CL1 cũng hiển thị hướng chính thứ hai theo phương BĐB-NTN. Trong các nhóm hang SB1-CL5, SB2-CL3 và SB3-CL3, hướng lối thông hang chính là theo



▲ Hình 12. Sự phân bố độ cao của các lối thông ngang và sự phân chia cấp hang



phương Tây - Đông, trong đó, nhóm SB1-CL5 có hướng chính thứ hai theo phương BTB-NĐN. Ngoài ra, biểu đồ hoa hồng của các nhóm hang động SB1-CL3, SB1-CL4 hiển thị định hướng lối thông chính theo phương Bắc - Nam. Và có hai nhóm hang động SB1-CL4 và SB2-CL3 có định hướng hang chính thứ hai là theo phương Đông Bắc - Tây Nam.

Tóm lại, biểu đồ hoa hồng hiển thị định hướng lối thông của tất cả các nhóm hang động cho thấy có những điểm tương đồng nổi bật về hướng chính của mỗi nhóm bất kể vị trí của chúng. Hai cực đại khác biệt có ở các phương Tây Bắc - Đông Nam và Tây - Đông với hai cực đại ít khác biệt hơn ở các phương Đông Bắc - Tây Nam và Bắc - Nam đến BTB-NĐN.

4. Mối quan hệ giữa cấu trúc kiến tạo, đặc điểm địa mạo với hệ thống hang động trong vùng CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn

4.1. Định hướng lối thông hang động trong mối quan hệ với cấu trúc địa chất và các thời kỳ kiến tạo trong vùng nghiên cứu

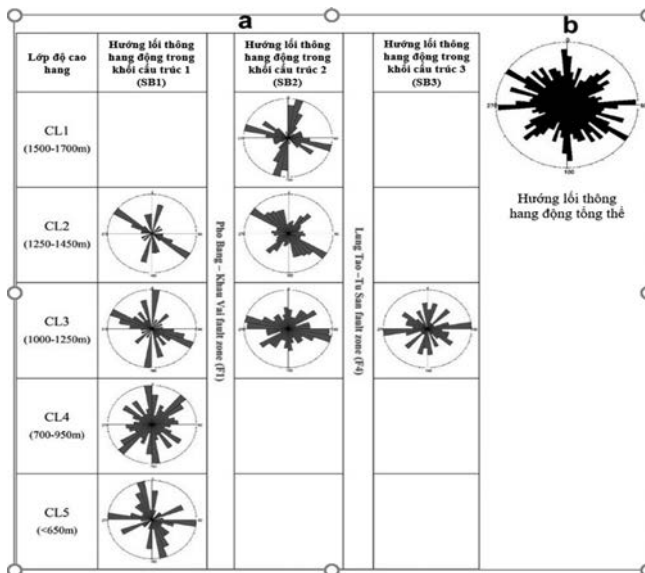
Các hang động thường là các đối tượng địa chất trẻ, vì vậy có thể liên kết chúng với các hoạt động Tân kiến tạo xảy ra trong khu vực nghiên cứu. Định hướng lối thông chính trong các nhóm hang động SB1-CL2, SB1-CL3, SB2-L1, SB2-CL2 là theo phương Tây Bắc - Đông Nam (Hình 13a), tương tự như phương của các hệ thống đứt gãy chính ở vùng nghiên cứu. Kết quả này có thể được giải thích là do các hoạt động kiến tạo xảy ra trong Kainozoi đã kích hoạt lại hệ thống đứt gãy phương Tây Bắc - Đông Nam, từ đó tạo ra các khoảng trống hoặc các kênh thuận lợi cho nước chảy và ăn mòn làm hòa tan đá vôi quanh tạo thành các hang động theo phương

này. Ngoài ra, các nhóm hang động SB1-CL4 và SB2-CL3 cũng được sắp xếp dọc theo hướng chính thứ hai theo phương Đông Bắc - Tây Nam. Bên cạnh sự khống chế của đứt gãy, kết quả này có thể là do một số lối thông hang động phát triển dưới sự chi phối của mặt phân lớp của đá vôi silic Trias (T_1hn) có lớp phủ trung bình và nghiêng theo hướng Đông Bắc. Sử dụng phương pháp “Cavitonics” (Littva và nnk. (2015) để giải thích mối quan hệ giữa Tân kiến tạo và định hướng lối thông hang động, cho thấy rằng hướng của các lối thông hang động vuông góc với thành phần mở rộng (σ_3) của trường ứng suất kiến tạo, có nghĩa là cùng hướng với trục ứng suất nén lớn nhất (σ_1). Áp dụng cách tiếp cận này đối với hệ thống hang động trên Cao nguyên đá Đồng Văn, có thể thấy, nếu coi đứt gãy Tân kiến tạo là yếu tố chi phối sự hình thành và phát triển của hệ thống hang động, thì lối thông hang động sẽ có cùng phương với trường ứng suất nén cực đại. Trong thời kỳ Tân kiến tạo, chế độ địa động lực ở Cao nguyên đá Đồng Văn phát triển theo mô hình biến dạng hai pha, nén á vĩ tuyến ở pha sớm (Eocen-Miocen) và nén á kinh tuyến ở pha muộn (Pliocen-Đệ tứ), do đó, các lối thông hang động sẽ được định hướng chủ yếu theo hai hướng này. Rõ ràng là trong các nhóm hang động còn lại, hướng của các lối thông chính trong các nhóm hang động SB1-CL5, SB2-CL3 và SB3-CL3 theo phương xấp xỉ Tây - Đông, tương tự như hướng của trục ứng suất nén lớn nhất ở pha sớm (Eocen-Miocen). Ngoài ra, nhóm SB1-CL5 thể hiện hướng chính thứ hai theo phương BTB-NĐN, nhóm SB2-CL1 cũng thể hiện hướng chính thứ hai theo phương BTB-NĐN và định hướng lối thông chính trong nhóm hang động SB1-CL3 và SB1-CL4 theo phương xấp xỉ Bắc - Nam, tương tự như hướng của trục ứng suất nén cực đại trong pha muộn (Pliocen-Đệ tứ) [2].

4.2. Mối quan hệ giữa các cấp hang và bề mặt san bằng trên vùng nghiên cứu

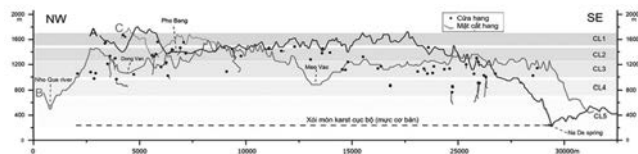
Việc sử dụng các cấp hang theo phương ngang như một chỉ số để giải thích quá trình phát triển karst sẽ gặp khó khăn vì hạn chế trong phân tích dữ liệu thực địa, đồng thời không chắc chắn về những gì tạo thành một cấp hang thực sự, chẳng hạn như các lối thông hang động phát triển dưới sự chi phối của một ranh giới địa tầng hoặc mặt phân lớp hoặc cấu trúc thạch học như trong trường hợp tầng bắt đầu. Do đó, các cấp hang chỉ có thể được giải thích một cách chính xác khi thực hiện phân tích cấu trúc và hình thái chính xác để loại trừ các lối thông hang động như vậy.

Để kết hợp quan sát thực tế với các số liệu địa chất, cũng như các thông số hình học của đường dẫn hang động trong khu vực nghiên cứu, cần lưu ý rằng có nhiều hang động phát triển dọc theo mặt phân lớp ở các hệ tầng Đổng Đăng tuổi Permi ($P_2đđ$) và Trias (T_1hn) như Hang Rỗng Sáng Tùng, Phố Cáo... Ngoài ra, trong hệ tầng carbonat tuổi Carbon-Permi, hệ tầng Bắc Sơn (C-Pbs) còn có các



SB = Khối cấu trúc (structural block); CL = Lớp hang (Cave Class)

▲ Hình 13. Biểu đồ hoa hồng hiển thị: a. định hướng lối thông hang động trong các nhóm hang động khác nhau và b. định hướng lối thông hang động tổng thể trong khu vực nghiên cứu



▲ Hình 14. Các mặt cắt cho thấy sự phát triển cấu trúc của các hệ thống hang động và các đặc điểm karst hóa trên vùng nghiên cứu

hang như Tia Sáng, Xà Phìn B, Hang Hổ, Sàng Ma Sáo, Bó Đồi, Má Lẻ 1, 2 phát triển chủ yếu dọc theo ranh giới địa tầng. Trên thực tế, những kết quả này bị hạn chế bởi khả năng tiếp cận hang động và mức độ khám phá hang động, vì có thể còn nhiều lối thông hang động khác chưa được khám phá. Ngoài ra, những cách giải thích khác nhau có thể bắt nguồn những kinh nghiệm và đánh giá khác nhau của các nhà hang động học.

Theo số liệu hang động nghiên cứu, chiều dài lối thông tích lũy giảm đi rất nhiều ở các độ cao 850 - 900 m, 1.000 - 1.150 m, 1.400 - 1.500 m và 1.550 - 1.700 m. Đáng kể nhất là sự giảm chiều dài lối thông hang động xuống còn 1.315 m ở 1.050 - 1.100 m. Tiếp theo, ở lớp độ cao 850 - 900 m, chiều dài lối thông hang động giảm mạnh, với mức giảm 950 m. Ở các lớp độ cao còn lại, chiều dài lối thông giảm nhẹ từ 88 xuống 410 m. Hình 11 cũng cho thấy các lối thông ngang phân bố ở các lớp độ cao khác nhau từ 200 - 1.550 m với ba đỉnh. Chiều dài lối thông đạt 894 m ở 200 - 250 masl. Ở 1.200 - 1.250 masl, chiều dài lối thông đạt tối đa là 1.651 m và ở 1.350 - 1.450 masl, chiều dài lối thông đạt 898 - 1.077 m.

Mức độ liên quan giữa lối thông ngang của hang động và bề mặt san bằng được hình thành trong các thời kỳ ổn định về mặt kiến tạo có thể được sử dụng như một chỉ số nhất quán về các giai đoạn kiến tạo và quá trình phát triển karst, như đã đề cập trong các nghiên cứu của Palmer (1987), Filipponi (2009), Piccini (2011). Theo thống kê phân bố độ cao của các lối thông ngang sau khi loại trừ các hang không phù hợp, có thể thấy rằng trong vùng nghiên cứu có hai cấp hang có thể liên quan đến bề mặt san bằng, bao gồm cấp hang với đỉnh ở 1.200 - 1.250 masl, tương đương với bề mặt san bằng ở 1.000 - 1.250 masl và cấp hang với đỉnh ở 1.350 - 1.450 masl so với bề mặt san bằng ở 1.250 - 1.450 masl. Ngoài ra, có đỉnh ở độ cao thấp nhất 200 - 250 masl; tuy nhiên, khảo sát hang động cho thấy chỉ có hang Nà Luông phát triển ở độ cao này. Hang này nối trực tiếp với suối Nà Dé, nguồn xuất lộ nước karst rất lớn của Cao nguyên đá Đồng Văn và tạo thành đầu nguồn của sông Nặm. Những đặc điểm này cho thấy đây có thể là mức cơ sở cục bộ gây ra xói mòn karst ở khu vực này (Hình 14).

5. Kết luận

Kết quả nghiên cứu này đã nêu bật mối quan hệ giữa các hệ thống hang động với quá trình phát triển kiến tạo và địa mạo của Cao nguyên đá Đồng Văn trên cơ sở

phân tích, thống kê các thông số hình học và định hướng các lối thông hang động, có thể kết luận như sau:

- Mức độ tương quan giữa các cấp hang động và bề mặt bào mòn cho thấy sự phát triển của các lối thông hang động theo phương ngang có liên quan đến hai cấp bề mặt san bằng, bao gồm một ở 1.250 - 1.450 m (tương đương với cấp hang ở 1.350 - 1.450 m) và ở 1.000 - 1.250 m (tương ứng với cấp hang ở 1.200 - 1.250 m).

- Kết quả phân tích thông số hình học của các đường dẫn hang trong các nhóm hang khác nhau cho thấy sự phát triển karst trong khối cấu trúc 3 đã trưởng thành. Trong nhóm này, sau khi ăn mòn đến mức cơ sở cục bộ, hệ thống hang động tiếp tục phát triển theo phương ngang, mở rộng trong các thành tạo đá khác nhau về mặt thạch học. Trong khi đó, quá trình phát triển karst ở các khối cấu trúc 1 và 2 hầu hết ở giai đoạn trẻ, với các hệ thống hang động được hình thành do quá trình hòa tan, rửa trôi hoặc xói mòn chưa ăn sâu vào mức cơ sở cục bộ. Trong các nhóm này, một số hang động đã phát triển theo phương ngang dưới tác động của các mặt lớp hệ tầng nằm ngang tương đối.

- Định hướng lối thông cho thấy, hệ thống hang động trên Cao nguyên đá Đồng Văn hình thành và phát triển dưới tác động của hoạt động kiến tạo trong Kainozoi. Xét về định hướng lối thông hang động, có ba xu hướng khác biệt chính. Hướng ưu thế gần như theo phương Tây - Đông, trùng với hướng của trục ứng suất nén cực đại trong pha sớm (Eocen-Miocen). Tiếp theo là một xu hướng xấp xỉ Bắc - Nam cùng hướng với trục ứng suất nén cực đại trong pha muộn (Pliocen-Đệ tứ). Hướng cuối cùng theo phương Tây Bắc - Đông Nam do sự kích hoạt lại các hệ thống đứt gãy cổ có cùng một phương. Ngoài ra, có một xu hướng nhỏ theo phương Đông Bắc - Tây Nam theo hướng nghiêng của mặt phân lớp.

Mặc dù có những hạn chế do khả năng tiếp cận và mức độ khám phá hang động, nghiên cứu này cho thấy mối quan hệ giữa các đặc điểm cấu trúc - kiến tạo đối với sự phát triển và cấu trúc của quá trình karst hóa trong vùng CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn, góp phần làm tăng giá trị của hệ thống di sản địa chất, làm cơ sở để phân loại, hoạch định khai thác nguồn tài nguyên di sản địa chất, đặc biệt là hệ thống hang động (di sản kiểu B) cùng với các giá trị di sản khác.

Lời cảm ơn: Bài viết được thực hiện trong khuôn khổ nhiệm vụ NVTX.2022.03.12. “Nghiên cứu, đánh giá hiện trạng hệ thống hang động và đề xuất các giải pháp phát triển bền vững, bảo vệ nguồn tài nguyên di sản (hang động) khu vực CVĐC Toàn cầu UNESCO CNĐ Đồng Văn.” và đề tài khoa học công nghệ mã số: ĐTĐL.2021.05 “Nghiên cứu xác lập bộ tiêu chí lựa chọn và quy trình điều tra các khu vực có khả năng áp dụng công nghệ bơm PAT cho vùng núi cao khan hiếm nước” do Bộ Tài nguyên và Môi trường cấp kinh phí, Trung tâm Karst và Di sản địa chất, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản chủ trì thực hiện. Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn!■



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Audra P, Palmer AN (2017) Mô hình hang động: kiểm soát quá trình tạo hang biểu sinh. *Geomorphol Revues* 17(4):1-40.
2. Anh Tran Diep, Nadine Goepfert, Arthur N. Palmer, Nico Goldscheider, Development and structure of karstification of the Dong Van Karst Plateau UNESCO Global Geopark, North Vietnam based on cave survey data; *International Journal of Earth Sciences*, April 2022.
3. Goldscheider N (2019) Một cách tiếp cận toàn diện về bảo vệ nước ngầm và các dịch vụ hệ sinh thái ở địa hình karst. *Carbon Evap* 34(4):1241-1249. <https://doi.org/10.1007/s13146-019-00492-5>.
4. Goldscheider N, Chen Z, Auler AS, Bakalowicz M, Broda S, Drew D, Hartmann J, Jiang G, Moosdorf N, Stevanovic Z, Veni G (2020) Sự phân bố toàn cầu của đá cacbonat và tài nguyên nước karst. *Hydrogeol J* 28(5):1661-1677. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02139-5>.
5. Littva J, Hók J, Bella P (2015) Cavitonics: sử dụng hang động trong các nghiên cứu kiến tạo đang hoạt động (Western Carpathians, nghiên cứu điển hình). *J Struct Geol* 80:47-56. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.08.011>.
6. Đỗ Thị Yến Ngọc và nnk 2015. Dự án “Điều tra, khảo sát, khoanh vùng ranh giới, xác định vị trí cắm mốc cho một số cụm điểm di sản khu vực CVĐCTC Cao nguyên đá Đồng Văn”. Ban Quản lý CVĐC Cao nguyên đá Đồng Văn chủ đầu tư, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản cơ quan tư vấn. Lưu trữ Ban Quản lý CVĐC Cao nguyên đá Đồng Văn (tỉnh Hà Giang).
7. Palmer AN (1991) Nguồn gốc và hình thái của hang động đá vôi. *Geol Soc Am Bull* 103(1):1-21. <https://doi.org/10.1130/0016>.
8. Trần Văn Trị và nnk., 1986. Kiến tạo Việt Nam. Lưu trữ Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội.
9. Trần Tân Văn và nnk. 2008 - 2010. Điều tra, nghiên cứu các di sản địa chất và đề xuất xây dựng Công viên địa chất ở miền Bắc Việt Nam. Lưu trữ Cục Thông tin và Công nghệ Quốc gia, Bộ Khoa học và Công Nghệ, Hà Nội.
10. Van Tran Tan, Lagrou D, Masschelein J, Duser M, Ke TD, Viet A, Quyet DX, Thang DV, Chung HT, Anh DT (2004) Quản lý nước karst ở Đồng Văn và Mèo Vạc, tỉnh Hà Giang, Việt Nam. Đóng góp của các điều tra địa chất và hang động học. *Trans KARST* 2004:265-271.
11. Wagner T, Fritz H, Stüwe K, Nestroy O, Rodnight H, Hellstrom J, Benischke R (2011) Mối tương quan giữa các cấp hang, thêm tuổi và bề mặt san bằng dọc theo sông Mur-Thời gian phát triển cảnh quan dọc theo rìa phía Đông của dãy Alps. *Geomorphology* 134(1-2):62-78. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.024>.

STRUCTURAL-TECTONIC FEATURES AND CAVE SYSTEM IN THE UNESCO GLOBAL GEOPARK DONG VAN KARST PLATEAU

Do Thi Yen Ngoc, Tran Tan Van, Doan The Anh, Hoang Xuan Duc, Phạm Minh Hải
Viet Nam Institute of Geosciences and Mineral Resources (VIGMR)

ABSTRACT

Dong Van karst Plateau UNESCO Global Geopark (Ha Giang province), covering four districts of Quan Ba, Yen Minh, Dong Van, and Meo Vac on an area of 2,356 km², was established on September 9, 2009 and became a new UNESCO Global Geopark on October 3, 2010. Besides geological, geomorphological, stratigraphic, and paleontological features and values, the area is also characterized by interesting cave development and karst landscape. The karst and cave system are not only valuable in terms of landscape, tourism, and underground biodiversity, but the caves are also places to record information about paleontological conditions and tectonic development. In recent years, many studies have shown that the formation of karst topography and cave systems is mainly controlled by a complex combination of tectonic activities, geomorphological development, and climatic and hydrological processes. From the tectonic perspective, it is shown that 42% of the cave system is controlled by faults and neotectonic stress fields. Some previous studies have shown that the underground karst hydrology has a close relationship with the development of local topography and geology, which are controlled by a number of factors such as petrology, tectonics and stratigraphic boundaries. In this article, the structural-geological features and the relationship with the cave system in the Dong Van karst Plateau Global Geopark will be presented.

Key words: Structure-geology, tectonics, caves, karst.