

## ĐÁNH GIÁ, DỰ BÁO CƯỜNG ĐỘ HOẠT ĐỘNG KARST CỦA KHỐI ĐÁ VÔI PHONG NHA - KÈ BÀNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP THUỶ ĐỊA HOÁ

TS. Đỗ Quang Thiên - Đại học Khoa học Huế

CN. Nguyễn Thị Ngọc Yến - Đại học Bách khoa Đà Nẵng

**T**óm tắt: Từ kết quả phân tích 5 mẫu nước ngầm lấy trong các khối đá vôi ở khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng vào tháng 1/2009, tập thể tác giả đã sử dụng phương pháp so sánh tích số hoạt tính với tích số hòa tan đá vôi và phương pháp lượng thiếu hụt bão hòa của các ion  $[Ca^{2+}]$ ,  $[CO_3^{2-}]$  trong nước để đánh giá cường độ hoạt động Karst. Kết quả tính toán bằng 2 phương pháp khác nhau cho thấy hoạt động Karst của khối đá vôi nghiên cứu diễn ra với cường độ từ yếu đến rất yếu. Trên cơ sở đó, chúng tôi tiến hành đánh giá cường độ bóc mòn Karst thông qua bề dày hòa tan của đá vôi trong 1 năm là 31,12.10-3mm và so sánh với các khối đá vôi trên thế giới thì cường độ bóc mòn Karst của khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng thuộc loại yếu.

### 1. Mở đầu

Lãnh thổ Karst có ảnh hưởng tích cực lẫn tiêu cực đến môi trường, dân sinh, kinh tế và an ninh quốc phòng của mỗi quốc gia. Đó là những nơi rất nhạy cảm đối với sự phát sinh nhiều tai biến địa chất tự nhiên và nhân sinh đồng hành khác. Đặc biệt trong những năm gần đây khi vườn Quốc gia Phong Nha Kẻ Bàng được Unesco công nhận là Di sản thiên nhiên thế giới, lượng du khách trong và ngoài nước đến tham quan gia tăng đột biến như là một cách quảng bá tự nhiên cho sự phát triển du lịch của tỉnh Quảng Bình. Do vậy, việc đánh giá dự báo cường độ hoạt động Karst của khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng là cơ sở khoa học để nhìn nhận đúng và định lượng về động lực của quá trình Karst, nhằm đề xuất kịp thời các giải pháp khoa học công nghệ để bảo vệ di sản thiên nhiên này, tạo tiền đề hướng tới một di sản thiên nhiên thế giới đa dạng sinh học, góp phần vào sự phát triển kinh tế du lịch của tỉnh nhà nói riêng và Việt Nam nói chung.

Karst là một trong các quá trình địa chất động lực tự nhiên ngoại sinh phổ biến ở nhiều quốc gia trên thế giới cũng như Việt Nam. Trên quan điểm địa chất

công trình, tập thể tác giả nhìn nhận về quá trình địa chất động lực công trình Karst như sau:

Quá trình karst xảy ra khi nước trên mặt và nước dưới đất tiếp xúc với các đá có khả năng dễ bị hoà tan như: đá vôi, đá đolômit, đá phấn, đá macnơ, thạch cao, anhydrite, muối mỏ, muối kali, thì nó sẽ bị hoà tan (xói mòn hóa học), xâm thực (xói mòn cơ học) cuốn trôi đất đá dễ hoà tan và hình thành nên các dạng địa hình ở trên mặt cũng như các hang động ngầm rất đặc trưng.

### 2. Cơ sở lý thuyết đánh giá cường độ hoạt động Karst

Nhằm đánh giá dự báo định lượng cường độ hoạt động Karst của khối đá vôi Phong Nha Kẻ Bàng chúng tôi sử dụng tổ hợp 2 phương pháp sau:

**a. Phương pháp so sánh tích số hoạt tính ( $a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}}$ ) với tích số hòa tan của đá vôi ( $K_{CaCO_3} = 7,7 \times 10^{-9}$ )**

Theo Lomtadze (1977) cho rằng tích số hòa tan của đá vôi  $K_{CaCO_3} = 7,7 \times 10^{-9}$  và tích số hoạt tính của ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  được xác định theo phương trình (1):

---

Người phản biện: TS. Nguyễn Kiên Dũng

$$(a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}}) = 1/4 \times 10^{-6} \times y_{CaCO_3} [Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}] \quad (1)$$

Trong đó  $[Ca^{2+}]$ ,  $[CO_3^{2-}]$  là hàm lượng của ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  trong nước (tính bằng me/l). Trường hợp trong kết quả phân tích nước trong phòng không có hàm lượng ion  $[CO_3^{2-}]$  mà chỉ có hàm lượng ion  $[HCO_3^-]$  thì hàm lượng ion  $[CO_3^{2-}]$  được tính theo công thức (2):

$$[CO_3^{2-}] = \frac{3,77 \times 10^{-11} \times [HCO_3^-] \times f}{10^{(-pH)}} \quad (2)$$

f là tích số hoạt tính bicarbonat phụ thuộc vào lực ion và được tra theo bảng 1

**Bảng 1. Quan hệ giữa tích số hoạt tính bicarbonat và lực ion**

$\mu$	f	$\mu$	F	$\mu$	F	$\mu$	f
0,0025	0,73	0,0100	0,05	0,0500	0,2800	0,1300	0,17
0,0030	0,69	0,0125	0,48	0,0600	0,27	0,1400	0,16
0,0040	0,65	0,0150	0,46	0,0700	0,26	0,1500	0,15
0,0050	0,61	0,0175	0,45	0,0800	0,23	0,1600	0,15
0,0060	0,59	0,0200	0,43	0,0900	0,22	0,1700	0,14
0,0070	0,56	0,0250	0,41	0,1000	0,20	0,1800	0,13
0,0080	0,54	0,0300	0,38	0,1100	0,19	0,1900	0,13
0,0090	0,53	0,0400	0,34	0,1200	0,18	0,2000	0,12

Lực ion được xác định theo công thức (3):

$$\mu = \frac{1}{2} \times 10^{-3} \times \left\{ \sum [x_1] z_1^2 + \sum [x_2] z_2^2 + \dots + \sum [x_n] z_n^2 \right\} \quad (3)$$

Với  $[x_1, x_n]$ : nồng độ (me/l) của các ion có hoá trị 1, 2, ..., n

$z_1, z_n$ : hoá trị của các ion

$y_{CaCO_3}$  hệ số hoạt tính carbonat trung bình, được xác định theo công thức 4

$$\log y_{CaCO_3} = \frac{-1,98 \times \sqrt{\mu}}{1 + 1,62 \sqrt{\mu}} \quad (4)$$

Sau khi xác định và tính toán các thông số theo công thức 1, 2, 3, 4, hoạt động karst được đánh giá theo tiêu chí sau:

Nếu tích số hoạt tính:

$a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}} > K_{CaCO_3}$  - hoạt động karst đã ngưng nghỉ;

$a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}} < K_{CaCO_3}$  - hoạt động karst đang hoạt động;

$a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}} = K_{CaCO_3}$  - hoạt động karst đang ở

trạng thái cân bằng

**b. Phương pháp lượng thiếu hụt bão hoà của ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  trong nước**

Thực tế nghiên cứu cho thấy nước chỉ có thể hoà tan đá vôi đến một giới hạn nào đó, nếu lượng chứa ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  trong nước thấp hơn giới hạn đó, thì được gọi là nước thiếu hụt bão hoà ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$ . Vì thế dựa vào lượng thiếu hụt bão hoà ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  có thể đánh giá được hoạt động karst đang mạnh hay yếu hoặc ngưng nghỉ. Lượng thiếu hụt bão hoà ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  được xác định theo phương trình tích số hoạt tính 5:

$$y_{CaCO_3} \times \{ [Ca^{2+}] + [x] \} \times \{ [CO_3^{2-}] + [x] \} = 0,038 \quad (5)$$

Trong đó  $[x]$  là lượng thiếu hụt bão hoà của ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$ . Giải phương trình (5) ta tính được lượng thiếu hụt bão hoà  $[x]$ , nếu  $[x] \gg 0$  thì quá trình karst đang hoạt động.

**3. Đánh giá cường độ hoạt động karst của khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng**

## Nghiên cứu & Trao đổi

Từ kết quả phân tích thành phần hóa học của 05 mẫu nước (PN1, PN3, PN4, PN5, PN6), chúng tôi sử dụng 2 phương pháp nêu trên để tính toán cho 5 mẫu nước ngầm lấy vào ngày 30/12/2009 đến ngày 2/01/2010 ở khu vực nghiên cứu. Kết quả phân tích thành phần hóa học của mẫu nước và tính toán các thông số được trình bày trên bảng 2 và bảng 3.

Bên cạnh đó, sử dụng phương pháp lượng thiếu hụt bão hòa của ion  $[Ca^{2+}]$  và  $[CO_3^{2-}]$  cho 05 mẫu nước nêu trên. Kết quả tính toán trình bày trên bảng 3 cho thấy các giá trị x đều lớn hơn 0, nhưng rất bé từ  $0.185.10^{-3}$  đến  $61.25.10^{-3}$ . Điều đó, một lần nữa khẳng định hoạt động karst khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng vẫn đang hoạt động với cường độ từ yếu đến rất yếu.

**Bảng 2. Kết quả phân tích, tính toán các chỉ tiêu thủy địa hóa nước Karst, (\*) thông số tính toán**

Chỉ tiêu phân tích, tính toán	PN 1		PN 3		PN 4		PN 5		PN 6	
	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	me/l	mg/l	Me/l	mg/l	me/l
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	216,61	3,5510	219,66	3,6010	31,01	0,5084	198,31	3,2510	173,90	2,8508
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	6,00	0,2000	3,00	0,1000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,15	0,0240	1,68	0,0350	1,38	0,0238	2,14	0,0446	1,31	0,0273
Cl <sup>-</sup>	8,15	0,2296	10,63	0,2994	7,09	0,1997	9,22	0,2597	8,56	0,2496
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,54	0,0410	1,74	0,0281	0,84	0,0135	1,49	0,0240	0,88	0,0142
Ca <sup>2+</sup>	63,13	3,1565	59,12	2,9560	13,03	0,6515	60,12	3,0060	52,10	2,6050
Mg <sup>2+</sup>	6,69	0,5575	11,55	0,9625	2,43	0,2025	6,69	0,5575	7,30	0,6083
Na <sup>+</sup>	2,23	0,0970	3,10	0,1348	2,58	0,1122	1,88	0,0817	2,06	0,0896
K <sup>+</sup>	0,35	0,0090	0,35	0,0090	0,57	0,0146	0,56	0,0237	0,35	0,0090
Fe <sup>2+</sup>	0,01	0,0005	0,01	0,0005	0,02	0,0011	0,01	0,0005	0,01	0,0005
pH	8,29		8,27		7,87		8,37		8,33	
$\mu$ (*)	0,00570		0,00599		0,00130		0,00560		0,00495	
F (*)	0,59		0,59		0,73		0,59		0,61	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (*)	0,0154		0,0149		1,037.10 <sup>-2</sup>		0,0169		0,0140	
$N_{CaCO_3}$ (*)	0,73587		0,73085		0,85600		0,73765		0,74950	
$a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}}$ (*)	8,943.10 <sup>-9</sup>		8,047.10 <sup>-9</sup>		0,145.10 <sup>-9</sup>		9,397.10 <sup>-9</sup>		6,844.10 <sup>-9</sup>	

(Ghi chú: Kết quả phân tích mẫu nước tại phòng thí nghiệm của Liên đoàn qui hoạch, điều tra tài nguyên nước miền Trung, phường Vĩnh Hải, Nha Trang)

Như trên đã đề cập, tích số hoà tan của đá vôi chứa canxit tinh khiết là  $K_{CaCO_3} = 7,7 \times 10^{-9}$  (theo Lomtatze, 1977). Tuy nhiên, từ số liệu phân tích 5 mẫu nước ở bảng 2 cho thấy, trong thành phần của đá vôi, ngoài canxit còn có chứa đolomit với hàm lượng không lớn. Do đó, GS.TSKH Nguyễn Thanh quy ước lấy tích số hoà tan của đá vôi tăng lên ( $K_{CaCO_3} = 9,9 \times 10^{-9}$ ).

Cũng từ kết quả tính toán ở bảng 2, chúng ta thấy tích số hoạt tính ( $a_{Ca^{2+}} \dots a_{CO_3^{2-}}$ ) của các mẫu phân tích có giá trị tương đối nhỏ từ  $0.145.10^{-9}$  -  $9.397.10^{-9}$ , những trị số này đều nhỏ hơn tích số hoà tan của đá vôi là  $K_{CaCO_3} = 9,9 \times 10^{-9}$ . Điều đó đã minh chứng ở khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng, hoạt động karst vẫn đang hoạt động nhưng vẫn yếu.

**Bảng 3. Kết quả tính toán lượng thiếu hụt bão hoà của ion [Ca<sup>2+</sup>] và [CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>] của 05 mẫu nước**

Mẫu	N <sub>CaCO<sub>3</sub></sub>	[Ca <sup>2+</sup> ]	[CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ]	X
PN1	0,73587	3,1565	0,01540	0,955.10 <sup>-3</sup>
PN3	0,73085	2,9560	0,01490	2,972.10 <sup>-3</sup>
PN4	0,85600	0,6515	0,00104	61,25.10 <sup>-3</sup>
PN5	0,73765	3,0060	0,01695	0,185.10 <sup>-3</sup>
PN6	0,74980	2,6050	0,01402	5,395.10 <sup>-3</sup>

**4. Đánh giá cường độ bóc mòn Karst thông qua bề dày hòa tan đá vôi**

Trên cơ sở tính toán, dự báo động lực của quá trình karst bằng 2 phương pháp thủy địa hóa đã đề cập ở trên đều cho thấy quá trình karst của khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng vẫn đang diễn ra với cường độ từ yếu đến rất yếu. Do vậy, chúng tôi tiến hành tính toán cường độ bóc mòn karst thông qua bề dày hòa tan đá vôi trong 1 năm để so sánh với tốc độ bóc mòn karst ở các khu vực khác trên thế giới.

Để tính toán cường độ bóc mòn karst, cần phải tính toán lượng đá vôi bị hòa tan mang đi trên một km<sup>2</sup>. Nhưng do thiếu số liệu quan trắc dòng chảy ở các sông suối tiêu thoát nước từ khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng, nên chúng tôi lấy tỷ phần dòng ngầm tầng trữ, vận động trong khối đá vôi gây ra quá trình karst ở đây bằng 40% lớp dòng chảy năm (lấy theo kinh nghiệm nước ngoài, P.F.Boscarev, 1963).

Dựa vào các tài liệu khí tượng khu vực (lượng mưa, lượng bốc hơi) tiến hành tính toán lớp dòng chảy (lưu lượng dòng chảy mặt và dòng ngầm) năm của khu vực. Trong đó, qui ước lưu lượng dòng chảy bằng lượng mưa trung bình năm trừ đi lượng bốc hơi trung bình năm. Khu vực nghiên cứu nằm trong vùng có lượng mưa lớn, bình quân từ 2000

đến 2500 mm/năm. Ở vùng núi giáp biên giới Việt - Lào, lượng mưa còn lên tới 3000 mm/năm (Minh Hoá). Do đó tập thể tác giả lấy lượng mưa trung bình của năm làm cơ sở để tính toán, lượng mưa rơi xuống trung bình hằng năm của khu vực là 2250mm/năm. Khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng có lượng bốc hơi khá cao, biến động từ 1000 đến 1300 mm/năm, lượng bốc hơi lớn nhất vào các tháng 5, 6, 7, 8 do ảnh hưởng của gió Lào khô nóng. Tuy nhiên, do thời gian khảo sát thực địa và lấy mẫu nước phân tích là mùa mưa (30/12/2009 đến ngày 02/01/2010) nên khu vực có lượng bốc hơi bé nhất. Trong đó, lượng bốc hơi trung bình năm của khu vực dao động từ 1000 đến 1300 mm/năm nên trong quá trình tính toán chúng tôi chọn lượng bốc hơi trung bình năm của khu vực ở giá trị nhỏ nhất là 1000mm/năm. Như vậy:

- Lưu lượng dòng chảy mặt và dòng chảy ngầm trong 1 năm = 2250 - 1000 = 1250mm/năm

- Lượng dòng chảy ngầm = 40%×1250 = 500mm/năm = 0.5m/năm

- Dòng chảy ngầm tầng trữ, vận động trong đá vôi trên diện tích 1km<sup>2</sup> của khu vực trong một năm, là: 106×0.5 = 5×10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>/năm

Từ kết quả phân tích các mẫu nước, có thể xác định được hàm lượng trung bình của các ion có trong nước như trên bảng 4.

**Bảng 4. Hàm lượng trung bình của các ion có trong nước**

Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Hàm lượng trung bình	Chỉ tiêu phân tích	Đơn vị	Hàm lượng trung bình
pH	-	8,210	Ca <sup>2+</sup>	mg/l	49,500
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	167,898	Mg <sup>2+</sup>	mg/l	6,9320
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1,800	Na <sup>+</sup>	mg/l	2,3700
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	1,532	K <sup>+</sup>	mg/l	0,4360
Cl <sup>-</sup>	mg/l	3,790	Fe <sup>2+</sup>	mg/l	0,0108
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1,498	-	-	-

Do kết quả phân tích mẫu nước PN1, PN3, PN4 không có hàm lượng ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  nên nhóm tác giả tiến hành tính toán hàm lượng ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  theo hàm lượng của ion  $[\text{HCO}_3^-]$ . Hàm lượng ion  $[\text{HCO}_3^-]$  trong mẫu nước phân tích bao gồm cả ion  $[\text{HCO}_3^-]$  trong đá vôi và ion  $[\text{HCO}_3^-]$  do khí  $\text{CO}_2$  trong không khí tác dụng với nước tạo nên, mà khối lượng phân tử của ion  $[\text{HCO}_3^-]$  là 61 và của ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  là 60, nên:

- Hàm lượng ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  trong nước tính theo hàm lượng ion  $[\text{HCO}_3^-]$  là:  $[\text{CO}_3^{2-}] = [\text{HCO}_3^-] / 2.03 = 82.71 \text{ mg/l}$ .

- Hàm lượng ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  trung bình có trong mẫu nước là  $82.71 + 1.8 = 84.51 \text{ mg/l}$ .

- Tổng lượng ion có trong 1 lít nước là:  $155.5788 \text{ mg/l} = 0.1555788 \text{ mg/m}^3$  (hàm lượng ion  $[\text{CO}_3^{2-}]$  trong nước tính theo hàm lượng ion  $[\text{HCO}_3^-]$  nên không tính hàm lượng của ion  $[\text{HCO}_3^-]$ ).

- Tổng lượng ion trong nước karst trên  $1 \text{ km}^2 = 155578.8 \times 5.105 = 7.778941010 \text{ mg/km}^2 = 77.7894 \text{ T/km}^2$ .

- Lượng đá vôi bị hòa tan mang đi trên  $1 \text{ km}^2$  là:  $77.7894 / 2.5 = 31.12 \text{ m}^3 / \text{km}^2 = 31.12 \times 10^9 \text{ mm}^3 / 1012 \text{ mm}^2 = 31.12 \times 10^{-3} \text{ mm}$  ( $2.5 \text{ T/m}^3$  là khối lượng riêng của đá vôi có mức độ nứt nẻ trung bình, đá vôi chặt sít có khối lượng riêng là  $2.70 \text{ T/m}^3$ ).

- Lượng đá vôi bị hòa tan trong 1 năm là  $31.12 \times 10^{-3} \text{ mm}$ .

Vì hàm lượng đá vôi bị hòa tan mang đi trên  $1 \text{ km}^2$  trong 1 năm rất bé, do đó chúng tôi tính lượng đá vôi bị hòa tan mang đi khối khu vực trên  $1 \text{ km}^2$  cho 1000 năm là:

$$31.12 \times 10^{-3} \times 1000 = 31.12 \text{ mm}.$$

Như vậy, tốc độ bóc mòn karst của khối đá vôi Phong Nha - Kẻ Bàng là rất bé và so với tốc độ bóc mòn karst ở một số nước trên thế giới như: Đông Sibia (Nga) là  $22 \text{ mm}/1000$  năm; ở Pennsylvania (Mỹ) là  $34 \text{ mm}/1000$  năm, Indonesia  $85 \text{ mm}/1000$  năm, Hungary  $20 \text{ mm}/1000$  năm và Papua Newguinea là  $270-760 \text{ mm}/1000$  năm (Nguyễn Quang Mỹ, Vũ Văn Phái, 1997).

### 5. Kết luận

Từ các kết quả nghiên cứu nêu trên có thể đi đến kết luận sau:

- Tích số hoạt tính ( $a_{\text{Ca}^{2+}} \dots a_{\text{CO}_3^{2-}}$ ) có giá trị tương đối nhỏ từ  $0.145.10^{-9} - 9.397.10^{-9}$  và trị số này đều nhỏ hơn tích số hoà tan của đá vôi là  $K_{\text{CaCO}_3} = 9.9 \times 10^{-9}$ .

- Lượng thiếu hụt bão hòa các ion  $[\text{Ca}^{2+}]$ ;  $[\text{CO}_3^{2-}]$  x đều lớn hơn 0, nhưng có giá rất bé từ  $0.185.10^{-3}$  đến  $61.25.10^{-3}$ .

- Kết quả tính toán cường độ hoạt động karst theo 2 phương pháp trên đều khẳng định hoạt động karst khu vực Phong Nha - Kẻ Bàng vẫn đang hoạt động, nhưng cường độ từ yếu đến rất yếu.

- Cường độ bóc mòn karst thông qua bề bầy hòa tan đá vôi là  $31.12 \text{ mm}$ , so với các nước trên thế giới là rất nhỏ. Tuy vậy, cũng cần có các biện pháp phòng chống sự phát triển của quá trình karst để bảo tồn di sản thiên nhiên này và tạo tiền đề hướng tới 1 di sản thiên nhiên đa dạng sinh học, góp phần vào sự phát triển ngành du lịch của tỉnh nhà.

### Tài liệu tham khảo

1. Boscarev P.F.(1963), *Tuyển tập nghiên cứu Karst*, NXB ĐHTH Permi.
2. Canh Nguyen Van, Thanh Nguyen, Thien Quang Do (2009), *Predictive potential danger zonation of karstic subsidence in Cam Lo District Quang Tri Province and proposal of appropriate managing and preventing solutions*, Geokarst 2009, Internal symposium on geology, Natural resources and hazards in karst regions, Hanoi, Viet Nam, page 87-93.
3. Geokarst 2009, Internal symposium on geology, Natural resources and hazards in karst regions, Hanoi, Viet Nam.
4. Lomtdadze V.Đ (1979), *Địa chất động lực công trình* NXB Đại học và trung học chuyên nghiệp, Hà Nội.
5. Nguyễn Quang Mỹ, Vũ Văn Phái (1997), *Khái quát về karst Việt Nam*.