

ĐÁNH GIÁ, PHÂN LOẠI MỨC ĐỘ SUY THOÁI CÁC NGUỒN NƯỚC MẠCH LỘ, HANG KARST VÙNG NÚI CAO, KHAN HIẾM NƯỚC KHU VỰC PHÍA BẮC LÃNH THỔ VIỆT NAM. XÁC ĐỊNH THỨ TỰ ƯU TIÊN CÁC GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ PHỤC HỒI, BẢO VỆ NGUỒN NƯỚC HIỆU QUẢ VÀ BỀN VỮNG

Nguyễn Minh Việt, Nguyễn Văn Trãi, Bùi Mạnh Bằng, Đỗ Anh Đức

Viện Thủy điện và Năng lượng tái tạo

Nguyễn Văn Lâm, Đào Đức Bằng, Vũ Thu Hiền

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Do tác động của biến đổi khí hậu và các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội ngày càng gia tăng làm cho các nguồn nước nói chung, nguồn nước karst ở vùng núi cao khan hiếm nước khu vực phía Bắc lãnh thổ Việt Nam nói riêng đã và đang có chiều hướng bị suy thoái cả về lượng và chất. Kết quả điều tra đánh giá thực tế các mùa khô kiệt năm 2022 và 2023 của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước mã số ĐTĐL.CN.66/21 tại 408 nguồn nước mạch lộ và 29 nguồn nước hang động karst tại 15 tỉnh miền núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam (trước khi sáp nhập) cho thấy có 39 nguồn nước bị suy thoái cả trữ lượng và chất lượng (chiếm 9,6%); 169 nguồn nước có biểu hiện suy thoái (chiếm 41,1%); có tới 173 nguồn nước đã bị suy thoái về lượng hoặc về chất (chiếm 42,5%) và chỉ có 27 nguồn nước chưa bị suy thoái (chiếm 6,6%). Để hạn chế, khắc phục nguy cơ suy thoái đó, bài viết này đã xác định được các nguyên nhân suy thoái, mức độ suy thoái; phân tích và xây dựng ma trận đánh giá, tính điểm xác định được thứ tự ưu tiên áp dụng các giải pháp công nghệ phục hồi và bảo vệ các nguồn nước bị suy thoái hiệu quả, phù hợp với điều kiện thực tế vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực phía Bắc. Đây là tiền đề quan trọng để thiết kế những giải pháp công nghệ căn cơ, đảm bảo tính bền vững các nguồn nước mạch lộ, nguồn nước hang karst cho từng vùng cụ thể.

Từ khóa: Nguồn nước mạch lộ, karst; suy thoái; phục hồi; bảo vệ.

Summary: In recent years, the combined effects of climate change and intensifying socio-economic development have increasingly threatened water resources, particularly karst water sources in the high mountainous regions of northern Vietnam. This study, conducted under the framework of the national research project code ĐTĐL.CN.66/21, assessed 408 karstic springs and 29 karstic cave water sources across 15 mountainous provinces in northern Vietnam during the dry seasons of 2022 and 2023. The findings indicate that 39 sources (9.6%) were severely degraded in both quantity and quality; 169 sources (41.1%) showed clear signs of degradation; 173 sources (42.5%) exhibited partial degradation in either quantity or quality; and only 27 sources (6.6%) remained unaffected. To address and mitigate these challenges, this paper identifies key degradation drivers, assesses the severity levels, and develops an evaluation matrix with a scoring system to prioritize appropriate technological solutions for restoration and protection. The proposed approach provides a scientific basis for designing sustainable and context-specific interventions to safeguard vulnerable karst and spring water sources in water-scarce mountainous areas.

Keywords: Karst water sources; spring discharge; degradation; restoration; water resource protection.

1. GIỚI THIỆU

Vùng núi cao Karst, khan hiếm nước bao gồm các xã có thành tạo đá cacbonat thuộc 15 tỉnh

miền núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam (trước thời điểm sáp nhập): Bắc Cạn, Bắc Giang, Cao Bằng, Hà Giang, Lạng Sơn, Lào Cai, Phú Thọ, Quảng Ninh, Thái Nguyên, Tuyên Quang (phần Đông Bắc); Điện Biên, Hòa Bình, Lai Châu, Sơn La, Yên Bái (phần Tây Bắc) (Hình 1). Địa hình phần Đông Bắc có nét đặc trưng

Ngày nhận bài: 9/7/2025

Ngày thông qua phản biện: 01/8/2025

Ngày duyệt đăng: 06/8/2025

cơ bản là hướng vòng cung quay lưng ra biển, với sự phân cắt khá mạnh và kiểu địa hình karst bị xâm thực bóc mòn. Phần Tây Bắc với các dãy núi cao kéo dài hướng Tây Bắc – Đông Nam, phân cắt mạnh tạo địa hình chên lạch lớn và hiểm trở nhất nước ta (Nguyễn Kim Ngọc và nnk, 2003).



Hình 1: Sơ đồ vị trí 15 tỉnh miền núi phía Bắc (trước khi sáp nhập)

Khu vực miền núi phía Bắc có cấu trúc địa chất, địa chất thủy văn (ĐCTV) khá phức tạp với 03 tầng chứa nước (TCN) lỗ hổng, 25 TCN khe nứt và 05 TCN khe nứt – karst (Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2018). Trong đó, vùng núi cao karst khan hiếm nước phân bố các thành tạo cacbonat có tính hòa tan cao, khả năng hình thành các hệ thống khe nứt, hang hốc karst tạo điều kiện thấm nước tốt (Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2018). Đây là nơi có địa hình cao, phân cắt mạnh, sâu và dốc (độ dốc địa hình từ 7,4% - 52,0%) làm cho nước bị thoát rất nhanh ra mạng xâm thực địa phương tạo nên sự khan hiếm nước rất nghiêm trọng, gây khó khăn cho đời sống nhân dân (Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2018; Đỗ Ngọc Ánh và nnk, 2019).

Các xã trong vùng núi cao, khan hiếm nước hầu hết đã có công trình cấp nước sinh hoạt nhưng mức độ bền vững chưa cao, nhiều công trình bị hỏng, xuống cấp (Đỗ Ngọc Ánh và nnk, 2019); sự suy giảm nguồn nước (suy giảm lưu lượng, mực nước và chất lượng nước) đã và đang có chiều hướng gia tăng do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu; ảnh hưởng của hoạt động phát triển kinh tế xã hội. Tuy

nhiên, vấn đề này còn chưa được nghiên cứu và quan tâm đúng mức. Vì vậy, để đảm bảo an ninh nguồn nước phục vụ phát triển kinh tế xã hội; đảm bảo ổn định cuộc sống sinh hoạt người dân một cách bền vững, cần thiết phải nghiên cứu, đánh giá xác định mức độ, nguyên nhân suy thoái nguồn nước, từ đó đưa ra những giải pháp công nghệ phục hồi, bảo vệ hợp lý, khả thi và phù hợp với điều kiện thực tế ở từng địa phương.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đánh giá mức độ suy thoái nguồn nước

Hiện nay, các nhà Địa chất thủy văn Việt Nam cũng như trên thế giới cơ bản đều thống nhất việc xác định mức độ suy thoái các nguồn nước dưới đất được thông qua đánh giá sự suy thoái về trữ lượng và chất lượng. Đối với nguồn nước mạch lộ, hang động karst sự suy thoái về trữ lượng được thể hiện thông qua mức độ suy giảm về lưu lượng và mực nước. Sự suy thoái chất lượng chính là sự biến đổi theo chiều hướng xấu đi của chất lượng nước so với QCVN 09-MT:2023/BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng nước dưới đất.

Trong khuôn khổ triển khai thực hiện Đề tài mã số ĐTDL.CN.66/21, việc đánh giá mức độ suy thoái nguồn nước mạch lộ, hang karst dựa vào: các kết quả đo đạc lưu lượng các nguồn nước theo chuỗi thời gian 2 năm vào các mùa khô kiệt; kết quả quan trắc và đo đạc lưu lượng và mực nước của các nguồn nước; kết quả điều tra, phỏng vấn người dân và chính quyền địa phương đã và đang sử dụng nguồn nước; kết quả lấy và phân tích mẫu nước theo chuỗi thời gian quan trắc và khảo sát. Trong quá trình đo đạc, không tránh khỏi các loại sai số, vì vậy, kết quả đo lưu lượng, mực nước đợt 1 năm thứ nhất và đợt 2 năm thứ hai luôn có sự khác nhau. Theo Thông tư số 17/2021/TT-BTNMT quy định về giám sát khai thác, sử dụng tài nguyên nước của Bộ Tài nguyên và Môi trường (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường), có hiệu lực ngày 30/11/2021, sai số tương đối không vượt quá 5% so với giá trị thực đo đối với thông số lưu lượng. Do vậy,

trong so sánh lưu lượng đợt 1 và đợt 2 để làm cơ sở đánh giá sự suy thoái, khi lưu lượng và mực nước đợt 2 nhỏ hơn 95% lưu lượng và mực nước đợt 1 thì nguồn nước được đánh giá là có sự suy giảm trữ lượng theo chỉ tiêu này.

Trên cơ sở thống kê, tổng hợp và phân tích các kết quả thu được, các tác giả đánh giá mức độ suy thoái các nguồn nước mạch lộ, hang karst thông qua các chỉ tiêu (Bảng 1 và Bảng 2) sau:

Bảng 1: Các chỉ tiêu đánh giá sự suy thoái trữ lượng nguồn nước

Mức độ suy thoái trữ lượng	Cơ sở đánh giá mức độ suy thoái trữ lượng nguồn nước		Mức độ đánh giá
	Kết quả khảo sát thực tế, thu thập thông tin	Kết quả quan trắc, đo đạc hiện trường theo chuỗi thời gian	
Chưa suy thoái trữ lượng	Không có biểu hiện suy giảm lưu lượng và hạ thấp mực nước.	Lưu lượng và mực nước không thay đổi	Không suy thoái
Suy thoái trữ lượng nhưng chưa rõ biểu hiện	Không có biểu hiện suy giảm lưu lượng hoặc mực nước.	$95\%Q_1$ (lưu lượng nguồn nước quan trắc, đo đạc năm thứ nhất) $> Q_2$ (lưu lượng quan trắc, đo đạc năm thứ 2) hoặc $95\% H_1$ (mực nước quan trắc, đo đạc năm thứ nhất) $> H_2$ (mực nước quan trắc, đo đạc năm thứ 2)	Có biểu hiện suy thoái
	Có hiện tượng giảm lưu lượng hoặc mực nước	$95\%Q_1 < Q_2$ hoặc $95\% H_1 < H_2$	
Suy thoái trữ lượng	Lưu lượng và mực nước suy giảm	$Q_1 > Q_2$ và $H_1 > H_2$	Suy thoái

Bảng 2: Các chỉ tiêu đánh giá sự suy thoái chất lượng nguồn nước

Mức độ suy thoái chất lượng	Cơ sở đánh giá mức độ suy thoái chất lượng nguồn nước		Kết quả đánh giá
	Kết quả khảo sát thực tế, thu thập thông tin	Kết quả quan trắc, phân tích chất lượng nước ổn định theo chuỗi thời gian	
Chưa suy thoái chất lượng	Khu vực miền cấp nước không có các hoạt động có nguy cơ gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước.	Các kết quả phân tích chất lượng nước không thay đổi.	Không suy thoái
Suy thoái chất lượng nhưng chưa rõ biểu hiện	Khu vực miền cấp nước có các hoạt động có nguy cơ gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước	Kết quả phân tích chất lượng nước, đo nhanh có biểu hiện suy thoái: tối thiểu có 4/7 chỉ tiêu phân tích đợt 1 lớn hơn đợt 2.	Có biểu hiện suy thoái
	Khu vực miền cấp nước không có các hoạt động có nguy cơ gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước	Kết quả phân tích chất lượng nước, đo nhanh có biểu hiện suy thoái: tối thiểu kết có 4/7 chỉ tiêu phân tích đợt 1 nhỏ hơn đợt 2.	

Mức độ suy thoái chất lượng	Cơ sở đánh giá mức độ suy thoái chất lượng nguồn nước		Kết quả đánh giá
	Kết quả khảo sát thực tế, thu thập thông tin	Kết quả quan trắc, phân tích chất lượng nước ổn định theo chuỗi thời gian	
Suy thoái chất lượng	Khu vực miền cấp nước có các hoạt động có nguy cơ gây ảnh hưởng xấu đến chất lượng nước	Kết quả phân tích chất lượng nước, đo nhanh có biểu hiện suy thoái: tối thiểu có 4/7 chỉ tiêu phân tích đợt 1 nhỏ hơn đợt 2.	Suy thoái

Trên cơ sở các chỉ tiêu đánh giá sự suy thoái về trữ lượng và chất lượng nguồn nước, tổ hợp

lại, có thể phân loại sự suy thoái nguồn nước thành 5 nhóm (Bảng 3) như sau:

Bảng 3: Tổ hợp các nhóm theo mức độ suy thoái trữ lượng và chất lượng

Nhóm	Phụ nhóm	Mức độ suy thoái lưu lượng, mực nước			Mức độ suy thoái chất lượng nguồn nước		
		Chưa suy thoái	Có biểu hiện suy thoái	Suy thoái	Chưa suy thoái	Có biểu hiện suy thoái	Suy thoái
I	-	x			x		
II	IIa	x				x	
	IIb		x		x		
	IIc		x			x	
III	IIIa	x					x
	IIIb			x	x		
IV	IVa		x				x
	IVb			x		x	
V	-			x			x

Từ tổ hợp ma trận trên cho thấy mức độ suy thoái nguồn nước ở nhóm I là thấp nhất, tiếp theo là nhóm II, III, sau đó là nhóm IV và ở mức cao nhất là nhóm V. Do vậy, có thể phân loại mức độ suy thoái các nguồn nước như sau:

+ *Những nguồn nước chưa suy thoái*: Gồm các nguồn nước thuộc nhóm I;

+ *Những nguồn nước có biểu hiện suy thoái*: Gồm các nguồn nước thuộc nhóm II;

+ *Những nguồn nước suy thoái về chất hoặc về lượng*: Gồm các nguồn nước thuộc nhóm III;

+ *Những nguồn nước suy thoái về chất và có biểu hiện suy thoái về lượng hoặc suy thoái về lượng và có biểu hiện suy thoái về chất*: Gồm các nguồn nước thuộc nhóm IV;

+ *Những nguồn nước suy thoái cả về chất và lượng*: Gồm các nguồn nước thuộc nhóm V.

2.2. Xác định các giải pháp công nghệ phục hồi, bảo vệ nguồn nước bền vững

Để lựa chọn được các giải pháp công nghệ phục hồi và bảo vệ các nguồn nước mạch lộ và hang karst hiệu quả, phù hợp với thực tế và đảm bảo tính bền vững, điều trước tiên cần xác định chính xác các nguyên nhân gây suy thoái

đối với từng mạch lộ, hang karst ở từng địa phương thuộc khu vực miền núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam. Trên cơ sở kết quả điều tra khảo sát tại 408 nguồn nước mạch lộ, hang karst và kết quả nghiên cứu của Đề tài Mã số:

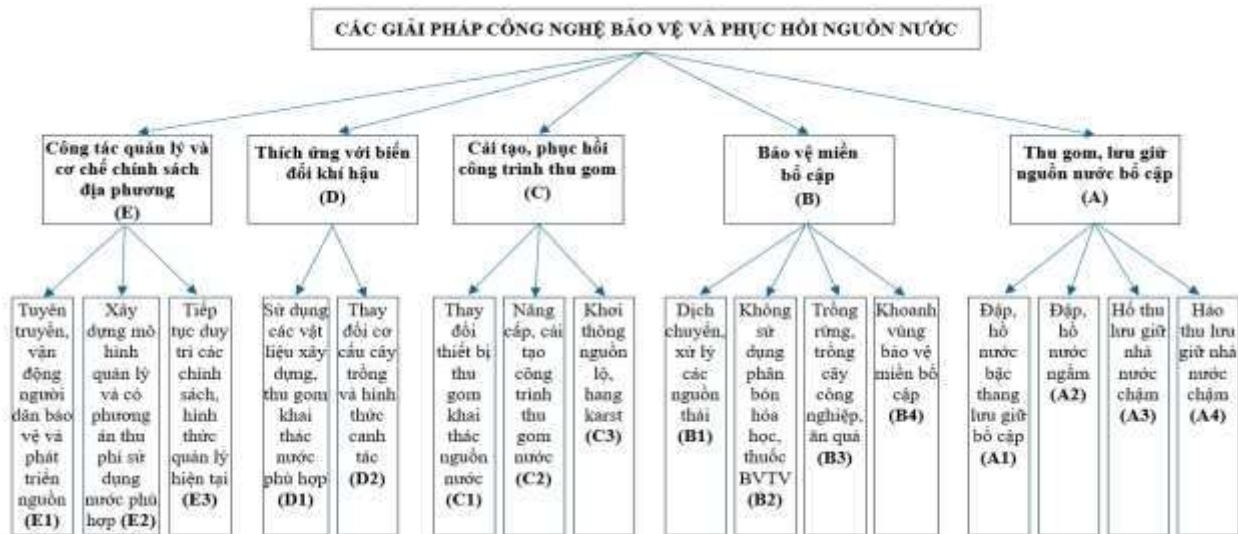
ĐTĐL.61/15 (Nguyễn Ngọc Ánh và nnk) chúng tôi đã xác định và phân chia các nhóm nguyên nhân gây suy thoái trữ lượng và chất lượng nguồn nước được thể hiện tổng quát trên Hình 2 như sau:



Hình 2: Tổng hợp các nguyên nhân gây suy thoái nguồn nước

Từ việc phân loại mức độ suy thoái và xác định các nguyên nhân gây suy thoái nguồn nước, đưa ra được các giải pháp cơ bản nhằm

phục hồi, bảo vệ nguồn nước mạch lộ, hang động karst vùng nghiên cứu theo các nhóm (Hình 3) như sau:



Hình 3: Các nhóm giải pháp công nghệ phục hồi và bảo vệ nguồn nước

2.3. Xác định thứ tự ưu tiên phục hồi và bảo vệ nguồn nước mạch lộ, hang karst bị suy thoái

Kết quả điều tra đánh giá thực tế năm 2022 và 2023 của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước mã số ĐTĐLCN.66/21 đã xác định được

408 nguồn nước mạch lộ và 29 nguồn nước hang động karst thuộc 15 tỉnh miền núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam (trước thời điểm sáp nhập) đã và đang bị suy thoái. Do số lượng nguồn nước suy thoái khá lớn, lại phân bố không đều trên các vùng núi cao, nên việc đầu tư phục hồi và bảo vệ các nguồn nước không thể tiến hành thực hiện đồng bộ trong cùng một thời điểm, cùng một giai đoạn được. Vì vậy, cần thiết phải xác lập thứ tự ưu tiên để lập kế hoạch phân kỳ đầu tư một cách hợp lý, hiệu quả và khả thi.

Việc xác định thứ tự ưu tiên phục hồi và bảo vệ các nguồn nước bị suy thoái được thực hiện theo các nguyên tắc và tiêu chí cụ thể sau:

- Dựa vào mức độ suy thoái nguồn nước: Nguồn nước bị suy thoái cả về chất lẫn về lượng (nhóm V) sẽ được ưu tiên số 1; tiếp đến là các nhóm suy thoái IV, III, II và cuối cùng là nhóm I.

- Dựa vào điều kiện thi công: Sẽ ưu tiên triển khai phục hồi và bảo vệ nguồn nước phân bố ở những nơi có điều kiện địa hình thi công thuận lợi, có cơ sở hạ tầng tốt; có nguồn vật liệu,

nguyên liệu, phương tiện và nhân lực thi công tại chỗ;

- Công trình thu nước đã bị xuống cấp, có nguy cơ làm suy thoái chất và trữ lượng nguồn nước sẽ được lựa chọn ưu tiên hơn đối với các nguồn nước có công trình thu nước còn tốt, ít hoặc chưa ảnh hưởng tới chất và trữ lượng nguồn nước;

- Mức độ ưu tiên triển khai tại các địa phương đã có các cơ chế chính sách liên quan tới khai thác, sử dụng và bảo vệ nguồn nước. Khi triển khai áp dụng giải pháp công nghệ được chính quyền địa phương và người dân ủng hộ;

- Các nguồn nước được phục hồi, bảo vệ có ý nghĩa gia tăng giá trị kinh tế, phát triển văn hóa, du lịch, đảm bảo an ninh chính trị, quốc phòng và môi trường.

Từ các nguyên tắc và tiêu chí trên, áp dụng phương pháp phân tích theo thứ bậc (AHP), có sự kết hợp phân tích các yếu tố định tính lẫn định lượng, việc xác định thứ tự ưu tiên phục hồi và bảo vệ các nguồn nước mạch lộ, hang karst được thiết lập theo thang điểm tính tại Bảng 5 như sau:

Bảng 4: Bảng tổng hợp các tiêu chí và thang điểm lựa chọn nguồn nước ưu tiên phục hồi, bảo vệ

TT	Nhóm tiêu chí đã tính đến trọng số ưu tiên	Tiêu chí	Thang đánh giá	Điểm đánh giá
1	Nhóm I. Phân nhóm suy thoái nguồn nước (40 điểm)	1. Phân nhóm suy thoái nguồn nước (40 điểm)	Nguồn nước thuộc nhóm I	5
			Nguồn nước thuộc nhóm IIa, IIb, IIc, IIIa, IIIb	15
			Nguồn nước thuộc nhóm IVa, IVb	20
			Nguồn nước thuộc nhóm V	40
2	Nhóm II. Điều kiện thi công (15 điểm)	2.1. Điều kiện địa hình (7 điểm)	Địa hình dốc, khó khăn cho thi công các giải pháp	3
			Địa hình dốc ít, thuận lợi cho thi công các giải pháp	7
		2.2. Cơ sở hạ tầng (5 điểm)	Cơ sở hạ tầng khó khăn	2
			Cơ sở hạ tầng thuận lợi	5
		2.3. Vật liệu, phương tiện, nhân lực thi công tại chỗ (3 điểm)	Không có vật liệu, phương tiện, nhân lực tại chỗ	1
Có vật liệu, phương tiện, nhân lực tại chỗ	3			

TT	Nhóm tiêu chí đã tính đến trọng số ưu tiên	Tiêu chí	Thang đánh giá	Điểm đánh giá
3	Nhóm III. Hiện trạng công trình thu nước (25 điểm)	3. <i>Hiện trạng công trình thu nước (25 điểm)</i>	Công trình còn tốt, xuống cấp ít (< 20%)	4
			Công trình bị xuống cấp trung bình (20-70%)	15
			Công trình bị hỏng, xuống cấp nặng (> 70%)	25
4	Nhóm IV. Cơ chế chính sách và sự ủng hộ của người dân (10 điểm)	4.1. <i>Cơ chế chính sách hiện tại của địa phương (5 điểm)</i>	Xã không có các cơ chế chính sách liên quan đến sử dụng nước	2
			Xã có các cơ chế chính sách liên quan đến sử dụng nước	5
		4.2. <i>Sự ủng hộ của chính quyền và người dân (5 điểm)</i>	Chính quyền và người dân tại khu vực không có nhu cầu, không ủng hộ việc thực hiện giải pháp phục hồi, bảo vệ	2
			Chính quyền và người dân tại khu vực có nhu cầu, ủng hộ việc thực hiện giải pháp phục hồi, bảo vệ	5
5	Nhóm V. Ý nghĩa về kinh tế xã hội, môi trường, an ninh chính trị (10 điểm)	5.1. <i>Khả năng tạo việc làm, tăng thu nhập cho người dân (2 điểm)</i>	Sau khi thực hiện giải pháp phục hồi và bảo vệ nguồn không khả năng tạo thêm việc làm, tăng thu nhập cho người dân trong khu vực	1
			Sau khi thực hiện giải pháp phục hồi và bảo vệ nguồn có khả năng tạo thêm việc làm, tăng thu nhập cho người dân trong khu vực	2
		5.2. <i>Số hộ được hưởng lợi từ việc thực hiện các giải pháp (2 điểm)</i>	Dưới 50 hộ được hưởng lợi	1
			Trên 50 hộ được hưởng lợi	2
		5.3. <i>Khả năng thích ứng với biến đổi khí hậu, không gây ảnh hưởng môi trường của giải pháp (4 điểm)</i>	Việc thực hiện giải pháp phục hồi, bảo vệ nguồn nước có khả năng gây những tác động xấu đến môi trường và không thích ứng với BĐKH	2
			Việc thực hiện giải pháp phục hồi, bảo vệ nguồn nước thích ứng với BĐKH và không gây những tác động xấu đến môi trường	4
		5.4. <i>Đảm bảo an ninh chính trị (2 điểm)</i>	Nguồn nước không thuộc khu vực xã biên giới, kinh tế khó khăn	1
			Nguồn nước thuộc khu vực xã biên giới, kinh tế khó khăn	2

Từ cách đánh giá, tính điểm cho từng chỉ tiêu như trên, sau khi tổng hợp chung 5 tiêu chí đánh giá, thì điểm cao nhất đạt 100 điểm, điểm thấp nhất là 9 điểm, khi đó thứ tự ưu tiên phục hồi và bảo vệ nguồn nước bị suy thoái được phân theo các cấp sau:

- + Cấp I: từ 90 đến 100 điểm – ưu tiên cấp 1;
- + Cấp II: từ 70 đến 90 điểm – ưu tiên cấp 2;
- + Cấp III: từ 50 đến 70 điểm – ưu tiên cấp 3;
- + Cấp IV: dưới 50 điểm – ưu tiên cấp 4.

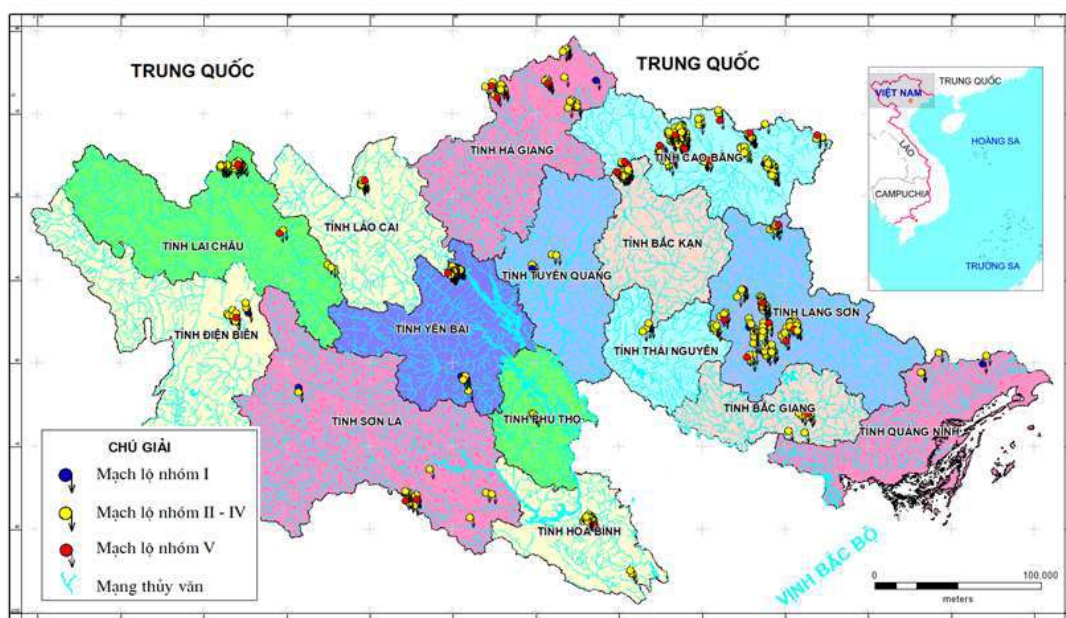
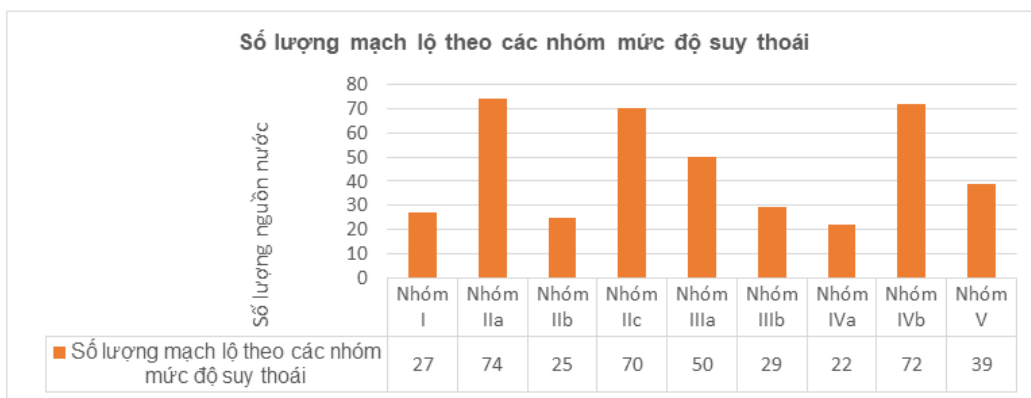
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bảng 5: Kết quả phân nhóm suy thoái nguồn nước mạch lộ vùng núi cao, khan hiếm nước Bắc Bộ

Tỉnh	Số lượng mạch lộ	Số lượng mạch lộ theo các nhóm mức độ suy thoái								
		Nhóm I	Nhóm IIa	Nhóm IIb	Nhóm IIc	Nhóm IIIa	Nhóm IIIb	Nhóm IVa	Nhóm IVb	Nhóm V
Sơn La	20	1	3	2	3	1	1	1	5	3
Điện Biên	11	1	1	0	2	2	1	1	2	1
Lai Châu	34	1	6	4	6	4	2	4	4	3
Yên Bái	48	4	8	2	9	9	3	2	7	4
Hà Giang	34	3	7	2	6	5	2	0	6	3
Bắc Cạn	35	2	4	2	7	6	1	3	4	6
Cao Bằng	91	6	17	5	16	8	9	6	15	9
Hòa Bình	19	2	4	1	3	2	1	1	4	1
Phú Thọ	3	0	0	0	1	0	1	0	1	0
Lào Cai	9	0	1	1	1	1	1	1	2	1
Tuyên Quang	5	1	2	0	1	0	0	0	1	0
Thái Nguyên	4	1	1	0	1	0	0	0	1	0
Lạng Sơn	82	4	17	5	13	11	6	2	17	7
Bắc Giang	8	0	2	1	1	1	1	1	0	1
Quảng Ninh	5	1	1	0	0	0	0	0	3	0
Tổng	408	27	74	25	70	50	29	22	72	39
Tỷ lệ		6,6%		41,1%		19,5%		23,0%		9,6%

3.1. Đánh giá và phân loại mức độ suy thoái các nguồn nước mạch lộ, hang karst vùng núi cao phía Bắc lãnh thổ Việt Nam

Kết quả đánh giá và phân loại cho thấy, trong tổng số 408 mạch nước, có 27 nguồn nước chưa bị suy thoái chiếm tỷ lệ nhỏ (6,6%); nguồn nước bị suy thoái cả lưu lượng và chất lượng lớn hơn (9,6%); nguồn nước có biểu hiện suy thoái chiếm 41,1%; Nguồn nước đã bị suy thoái về lượng hoặc về chất thuộc nhóm III và IV chiếm tỷ lệ cao nhất 42,5% (chi tiết xem Bảng 6, Hình 2).



Hình 2: Bản đồ nhóm suy thoái nguồn nước mạch lộ karst vùng nghiên cứu

3.2. Các giải pháp công nghệ ưu tiên phục hồi và bảo vệ các nhóm nguồn nước bị suy thoái

Việc lựa chọn các giải pháp công nghệ ưu tiên phục hồi và bảo vệ các nguồn nước suy thoái phụ thuộc vào nguyên nhân suy thoái,

loại hình suy thoái (trữ lượng hay chất lượng) và được xác lập trên cơ sở xây dựng ma trận tổng hợp giữa nhóm các nguồn nước suy thoái với nhóm các giải pháp công nghệ như Bảng 6 sau:

Bảng 6: Sắp xếp các giải pháp ưu tiên đối với từng nhóm nguồn nước bị suy thoái

STT	Nhóm nguồn nước	Thứ tự nhóm giải pháp ưu tiên				
		Ưu tiên 1	Ưu tiên 2	Ưu tiên 3	Ưu tiên 4	Ưu tiên 5
1	I	E	B	D	-	-
2	IIa	B	C	E	D	-
3	IIb	B	C	D	E	A
3	IIc	B	C	E	D	A
4	IIIa	B	C	E	D	-
5	IIIb	A	B	C	D	E
6	IVa	B	C	E	D	A

STT	Nhóm nguồn nước	Thứ tự nhóm giải pháp ưu tiên				
		Ưu tiên 1	Ưu tiên 2	Ưu tiên 3	Ưu tiên 4	Ưu tiên 5
7	IVb	A	B	C	E	D
9	V	A	B	C	E	D

Trong đó: A - Các giải pháp công nghệ thu gom lưu giữ nước;

B - Các giải pháp bảo vệ, phục hồi và phát triển miền bờ cấp;

C - Các giải pháp cải tạo, phục hồi công trình thu nước;

D - Các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu;

E - Các giải pháp về công tác quản lý và cơ chế chính sách.

Từ Bảng 4 cho thấy giải pháp công nghệ phục hồi và bảo vệ bền vững các nguồn nước suy thoái tập trung ưu tiên vào các giải pháp bảo vệ, phục hồi và phát triển miền bờ cấp cho nước dưới đất (giải pháp nhóm B); tiếp đến là các giải pháp thu gom, lưu giữ nước (Giải pháp nhóm A); cải tạo phục hồi các công trình thu nước (giải pháp nhóm C); sau đó là các giải pháp công tác quản lý, cơ chế chính sách của địa phương (nhóm E) và các giải pháp thích ứng với biến đổi khí hậu (nhóm D).

3.3. Thứ tự ưu tiên phục hồi và bảo vệ nguồn nước mạch lộ, hang karst bị suy thoái

Dựa vào các tiêu chí đã đề xuất, tính điểm theo từng chỉ tiêu nêu trong Bảng 5 cho từng nguồn nước tại 15 tỉnh thuộc vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực phía Bắc lãnh thổ Việt Nam. Kết quả phân cấp thứ tự ưu tiên thực hiện phục hồi, bảo vệ các nguồn nước mạch lộ, hang karst được tổng hợp tại Bảng 7 sau:

Bảng 7: Thứ tự số lượng các nguồn nước ưu tiên thực hiện phục hồi và bảo vệ tại 15 tỉnh khu vực vùng núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam

STT	Tỉnh (chưa sáp nhập)	Mức độ ưu tiên phục hồi và bảo vệ số nguồn nước đang bị suy thoái				
		Cấp 1	Cấp 2	Cấp 3	Cấp 4	Tổng số
1	Điện Biên	1	4	6	-	11
2	Lai Châu	5	2	19	8	34
3	Sơn La	2	2	10	6	20
4	Lào Cai	-	2	4	3	9
5	Yên Bái	4	5	17	22	48
6	Hà Giang	-	3	11	19	33
7	Tuyên Quang	-	-	1	4	5
8	Cao Bằng	-	14	47	30	91
9	Bắc Kạn	2	4	17	12	35
10	Thái Nguyên	-	-	2	2	4
11	Lạng Sơn	2	15	35	29	81
12	Bắc Giang	-	2	4	2	8
13	Quảng Ninh	-	-	2	3	5
14	Phú Thọ	-	-	2	3	5
15	Hòa Bình	-	3	10	6	19
Tổng cộng		16	57	186	149	408

Từ kết quả xác định được tại Bảng 6 cho thấy các giải pháp ưu tiên cấp 1 và cấp 2 cần sớm được triển khai tại các nguồn nước bị suy thoái cả chất và lượng tại các tỉnh Lạng Sơn, Cao Bằng, Lai Châu, Yên Bái, Điện Biên, Sơn La, Bắc Kạn, Hà Giang, Hòa Bình và Lào Cai.

4. KẾT LUẬN

Kết quả điều tra đánh giá, khảo sát, đo đạc và quan trắc thực tế vào mùa khô kiệt năm 2022 và 2023 của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước mã số ĐTĐL.CN.66/21 đã xác định được 408 nguồn nước mạch lộ và 29 nguồn nước hang động karst thuộc 15 tỉnh miền núi phía Bắc lãnh thổ Việt Nam đã và đang bị suy thoái. Trong đó có 39 nguồn nước bị suy thoái cả lưu lượng và chất lượng lớn hơn (chiếm 9,6%); 169 nguồn nước có biểu hiện suy thoái (chiếm 41,1%); có tới 173 nguồn nước đã bị suy thoái về lượng hoặc về chất (chiếm 42,5%) và chỉ có 27 nguồn nước chưa bị suy thoái (chiếm 6,6%).

Để đáp ứng được mục tiêu “Đề xuất được các giải pháp khoa học, công nghệ và chính sách nhằm quản lý, bảo vệ nguồn nước dưới đất, xử

lý và cấp nước sạch thích ứng với điều kiện vùng núi cao, vùng khan hiếm nước” của Chính phủ tại Quyết định số 1553/QĐ-TTg ngày 08 tháng 11 năm 2019, cần áp dụng các giải pháp bảo vệ, phục hồi và phát triển miền bờ cấp; thu gom lưu giữ nước; cải tạo, phục hồi công trình thu nước kết hợp đồng bộ với công tác quản lý và cơ chế chính sách, thích ứng với biến đổi khí hậu. Các giải pháp công nghệ này trước hết cần ưu tiên áp dụng tại các nguồn nước bị suy thoái cả chất và lượng tại các tỉnh Lạng Sơn, Cao Bằng, Lai Châu, Yên Bái, Điện Biên, Sơn La, Bắc Kạn, Hà Giang, Hòa Bình và Lào Cai.

LỜI CẢM ƠN: Bài viết này được hoàn thành trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của Đề tài “Nghiên cứu xây dựng giải pháp phục hồi và bảo vệ các nguồn nước mạch lộ và hang động karst bị suy thoái phục vụ cấp nước sinh hoạt cho vùng núi cao, vùng khan hiếm nước khu vực Bắc Bộ”. Mã số: ĐTĐL.CN.66/21 sự hỗ trợ, giúp đỡ của các chính quyền địa phương, người dân các xã thuộc vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực miền núi phía Bắc. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đỗ Ngọc Ánh và nnk, 2019. *Nghiên cứu đề xuất các mô hình, giải pháp công nghệ khai thác và bảo vệ phát triển bền vững nguồn nước Karst phục vụ cấp nước sinh hoạt tại các vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Bắc Bộ*. Báo cáo tổng kết đề tài mã số: ĐTĐL.CN 61/2015, Hà Nội;
- [2] Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2018. Tiềm năng nước dưới đất vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Bắc Bộ. *Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất*, tập 59, Kỳ 3, trang 1-9;
- [3] Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2018. Đánh giá lựa chọn mô hình, giải pháp công nghệ khai thác sử dụng bền vững nguồn nước karst vùng núi cao, khan hiếm nước khu vực Bắc Bộ. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy lợi*, số 43, ISSN: 1859-4255/04-2018, trang 30-39;
- [4] Nguyễn Văn Lâm và nnk, 2020. Địa chất thủy văn nhiễm bần. *Nhà xuất bản Giao thông vận tải*, trang 8-10;
- [5] Nguyễn Kim Ngọc và nnk, 2003. *Địa chất thủy văn và tài nguyên nước ngầm lãnh thổ Việt Nam*, Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội, trang 44-51;
- [6] Nguyễn Văn Thắng, 2023. *Nghiên cứu, đánh giá hiện trạng suy thoái nguồn nước mạch lộ và hang động karst vùng núi cao khan hiếm nước tỉnh Lạng Sơn. Đề xuất các giải pháp bảo vệ và phục hồi*. Luận văn thạc sĩ, trường đại học Mỏ Địa chất.
- [7] Naves, 2017. *Demonstrative actions of spring restoration and groundwater protection in rural areas of Abegondo (Galicia, Spain)*;

- [8] Bruce V. Rydbeck P.E., *Improved Techniques for Spring Protection Developed by Rural Ecuadorian Communities*;
- [9] CHIRAG, 2012. *Spring Water Recharge Programme - A study of the post programme impact on the lives of the people in the Kumaon region*;
- [10] Derek Ford and Paul Williams, 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*;
- [11] Hung L. Q., Dinh N. Q., Batelaan O., Tam V. T., Lagrou D., 2002. Remote sensing and GIS- based Analysis of Cave Development in the Suoimuoi Catchment (Son La - NW Vietnam). *Journal of Cave and Karst Studies*, 64(1), 23-33;
- [12] Nguyet V. T. M., 2000. Design of a karst web-based database and hydrological analysis for Thuan Chau-Son La catchment, Vietnam. *MSc-thesis IUPWARE*. Vrije Universiteit Brussel, Katholieke Universiteit Leuven. 88p;
- [13] Nguyet V. T. M., Batelaan O., De Smedt F., 2004a. Contribution to the karst hydrogeology of Son La, Vietnam by artificial tracer experiments. Trans-KARST 2004. *Proceedings of the International Transdisciplinary Conference on Development and Conservation of Karst Regions*, Hanoi, Vietnam, 13-18.9.2004. p.160-164;
- [14] Saaty, T.L., *"Decision making with the Analytic Hierarchy Process"*, *Int. J. Services, Sciences*, 1(1), pp.83-98., 2008.