

CHỈ SỐ XÁO TRỘN MÔI TRƯỜNG KARST VÀ GIẢI PHÁP QUẢN LÝ, BẢO TỒN TÀI NGUYÊN THIÊN NHIÊN TẠI VƯỜN QUỐC GIA PHONG NHA - KẾ BÀNG

Vũ Thị Minh Nguyệt¹, Tống Phúc Tuấn²,
Nguyễn Thị Thảo¹, Trần Thị Nhung², Nguyễn Minh Quảng¹

¹Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ VN

²Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ VN

Tác giả liên hệ: nguyetvuminh@yahoo.com

Tóm tắt: Karst là một dạng cảnh quan môi trường đặc biệt, có thể mang lại nhiều nguồn lợi về kinh tế, khoa học, giáo dục, giải trí và thẩm mỹ. Nguồn tài nguyên thiên nhiên này rất dễ bị xáo trộn và tổn thương do các hoạt động nhân sinh. Chỉ số xáo trộn môi trường karst (KDI) đã và đang được áp dụng tại các khu vực karst trên thế giới nhằm đánh giá các tác động của các hoạt động nhân sinh và cung cấp thông tin cho việc quản lý và bảo vệ cảnh quan karst. KDI lần đầu tiên được áp dụng và cải biến phù hợp với điều kiện đặc thù của Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng (VQG PNKB). Kết quả nghiên cứu đã xây dựng và lượng hóa được bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB gồm 27 chỉ thị thuộc các nhóm địa mạo-địa chất, thủy văn, không khí, sinh vật và phát triển kinh tế-xã hội. KDI ở VQG PNKB có giá trị từ 0,12 đến 0,4 theo phân bố không gian từng khu vực khác nhau, thể hiện môi trường karst tại VQG PNKB được bảo tồn tốt. Các chỉ thị có giá trị điểm số gây xáo trộn cao đã được nhận dạng, đây là cơ sở thông tin giúp các nhà quản lý triển khai các giải pháp hiệu quả và phù hợp để bảo tồn cảnh quan karst tại VQG PNKB. Kết quả nghiên cứu này là tiền đề áp dụng KDI tại các khu vực karst tại Việt Nam nhằm quản lý hiệu quả nhất trên thực tế đồng thời cung cấp thông tin để đối sách mức độ bảo tồn cảnh quan giữa các khu vực karst trong nước với các khu vực karst trên thế giới.

1. Mở đầu

Karst bao phủ khoảng 12% diện tích bề mặt Trái đất và là nơi sinh sống của trên 25% dân số trên thế giới. Tại Việt Nam karst chiếm khoảng 9% diện tích tự nhiên (Phuong và nnk, 2016) và đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế-xã hội của nhiều tỉnh thành ở nước ta. Nguồn tài nguyên thiên nhiên này lại rất nhạy cảm và dễ bị tổn thương, đặc biệt dễ bị tác động bởi các hoạt động nhân sinh. Hiện nay, với tốc độ phát triển đô thị hóa nhanh đi kèm với các nhu cầu văn hóa giải trí cao, nhiều hoạt động nhân sinh đang diễn ra trên bề mặt và karst ngầm đe dọa và dẫn tới nguy cơ xáo trộn môi trường karst và phá hủy nguồn tài nguyên này.

Trước các thách thức trên, công tác nghiên cứu bảo tồn các khu vực karst ngày càng được quan tâm đầu tư. Các nghiên cứu về tác động của con người theo cách tiếp cận hệ thống địa-sinh thái-nhân văn ngày càng được chú trọng hiện nay. Với cách tiếp cận này, chỉ số xáo trộn môi trường karst KDI (Karst Disturbance Index) được Van Beynen & Townsend đề xuất năm 2005 dựa trên phương pháp luận của mô hình áp lực-trạng thái-đáp ứng (PSR) của Cục bảo vệ Môi trường Mỹ và Tổ chức hợp tác kinh tế phát triển (OECD, 2003). KDI đã và đang được áp dụng hiệu quả tại nhiều khu vực karst trên thế giới (Calo & Parise, 2006; North et al, 2009; Angulo et al, 2013; Porter et al, 2016) trong việc cung cấp thông tin xác định các mối đe dọa môi trường karst và là công cụ hữu hiệu cho công tác hoạch định chính sách quản lý và bảo vệ các khu vực karst.

Cập nhật các phương pháp mới trong nghiên cứu bảo tồn phục vụ bảo vệ và quản lý bền vững tài nguyên thiên nhiên, chỉ số KDI lần đầu tiên được áp dụng tại VQG PNKB nói riêng và Việt Nam nói chung. Bài báo này giới thiệu về chỉ số xáo trộn môi trường karst (KDI), cơ sở xây dựng bộ chỉ thị và các bước xác định KDI tại VQG PNKB. Kết quả xác định giá trị KDI và bản đồ KDI hiển thị bức tranh toàn cảnh về thực trạng môi trường karst và là cơ sở để đề xuất các giải pháp quản lý và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên VQG PNKB.

2. Phương pháp chỉ số xáo trộn môi trường karst (KDI)

Chỉ số xáo trộn môi trường karst (KDI) được đề xuất bởi Van Beynen & Townsend (2005) để đánh giá toàn bộ tác động của con người tới cảnh quan karst-môi trường karst tại một khu vực. KDI được xác định dựa trên 30 chỉ thị được phân chia theo 05 nhóm chỉ thị gồm địa mạo - địa chất, khí quyển, thủy văn, sinh vật và phát triển kinh tế-xã hội (Bảng 1). KDI tại một khu vực sẽ được tính bằng tổng số điểm của các chỉ thị lựa chọn và cho điểm (theo thang điểm từ 0 tới 3) chia cho tổng số điểm cao nhất của các chỉ thị. Mức độ xáo trộn môi trường karst của một khu vực theo chỉ số KDI được phân loại theo Bảng 2. Bên cạnh đó, độ tin cậy của chỉ số KDI được Van Beynen & Townsend đề cập đến là hệ số giữa số lượng các chỉ thị không có đủ thông tin trên tổng số các chỉ thị; giá trị này càng lớn thể hiện cho KDI có độ tin cậy thấp.

KDI đã và đang được áp dụng hiệu quả tại các khu vực karst tại Mỹ, Italia, Tây Ban Nha, Mehico... Trong các nghiên cứu áp dụng này để phù hợp với đặc thù của từng khu vực cụ thể, các tác giả đã có những cải biến nhất định so với phương pháp của Van Beynen & Townsend. Cụ thể là về số lượng các chỉ thị xác định mức độ xáo trộn có thể giảm đi hoặc tăng lên tùy thuộc vào điều kiện đặc thù của khu vực nghiên cứu, tuy nhiên các chỉ thị được lựa chọn phải dễ xác định và có thể đánh giá lại được theo thời gian và không gian cũng như đại diện tiêu biểu cho các thay đổi của môi trường. Đặc biệt nghiên cứu gần đây của Angulo (2013) và Kovarik (2015) đã sử dụng công cụ GIS để đánh giá xác định chỉ số xáo trộn môi trường karst theo phân vùng không gian tại khu vực karst Tây Ban Nha và Mehico. Các kết quả nghiên cứu này đều nhận định KDI là công cụ hữu hiệu cho các nhà quản lý trong bảo vệ các khu vực karst.

Bảng 1. Bộ chỉ thị xác định chỉ số KDI của Van Beynen & Townsend (2005)

Nhóm chỉ thị	Thuộc tính	Chỉ thị
Địa chất địa mạo	Địa hình karst trên mặt	Khai thác đá
		Lũ lụt (Ảnh hưởng gián tiếp các công trình do con người tạo ra)
		Hệ thống thoát nước mưa
		Đổ lấp các hồ sụt
		Sự đổ thải
	Đất	Sự xói mòn
		Sự tích tụ, cổ kết mặt đất
	Karst ngầm	Lũ lụt
		Làm mất mỹ quan
		Di dời các thành tạo trầm tích trong hang
Không khí	Chất lượng không khí trong hang	Sự phá hủy và sự nén ép của trầm tích bên mặt
		Không khí khô
Thủy văn	Chất lượng nước mặt	Sự ăn mòn, ngưng tụ do con người
		Thuốc trừ sâu và thuốc diệt cỏ
	Chất lượng nước mạch lộ	Tràn hoặc đổ thải dầu và sản phẩm công nghiệp
		Xuất hiện các tảo nở hoa
		Thay đổi mực nước ngầm
Sinh vật	Sự xáo trộn thực vật	Sự thay đổi nước nhỏ giọt trong hang
		Sự suy giảm thực vật (tổng %)

	Sinh vật trong hang	Suy giảm số lượng loài (%)
		Sự suy giảm mật độ
	Sinh vật thủy sinh	Suy giảm số lượng loài (%)
		Sự suy giảm mật độ
Kinh tế-xã hội	Các dấu tích khảo cổ	Trùng tu hoặc di dời các dấu tích khảo cổ
	Sự quản lý các vùng karst	Bảo vệ quản lý
		Thi hành mức độ quản lý
		Công tác giáo dục cộng đồng
	Xây dựng cơ sở hạ tầng	Xây dựng đường
		Các công trình trên khu vực karst
		Công trình trong hang động

Bảng 2. **Phân loại mức độ xáo trộn môi trường karst theo chỉ số KDI theo van Beynen & Townsend (2005)**

Chỉ số KDI	Mức độ xáo trộn
0,8-1,0	Xáo trộn rất mạnh
0,6-0,79	Xáo trộn mạnh
0,4-0,59	Xáo trộn trung bình
0,2-0,39	Ít bị xáo trộn
0-0,19	Nguyên sơ

3. Áp dụng KDI tại VQG PNKB

3.1.Khu vực nghiên cứu

VQG PNKB nằm trong ranh giới hành chính của huyện Bồ Trạch và Minh Hóa, cách thị xã Đồng Hới 40 km theo hướng Tây Bắc và cách Thủ đô Hà Nội 500km về phía Nam. VQGPNKB có chung ranh giới với Khu bảo tồn thiên nhiên Hin Namno về phía Lào. Tổng diện tích của VQG PNKB bao gồm cả vùng đệm và vùng lõi là 234.000 ha, trong đó vùng lõi là 123.326 ha.

VQG PNKB chủ yếu được cấu tạo từ đá carbonat có tuổi từ Devon muộn đến Permi, gồm các hệ tầng Phong Nha (D_3-C_{1pn}), La Khê (C_{1lk}), Bắc Sơn ($C-P_{bs}$) và Khe Giữa (P_{2kg}), trong đó hệ tầng Bắc Sơn có diện phân bố rộng nhất. Phong Nha - Kẻ Bàng (PNKB) có lịch sử phát triển địa chất phức tạp và lâu dài, từ kỷ Ordovic (khoảng 450 Tr.n) đến nay (Nghị, 2003). Mỗi giai đoạn được đánh dấu bởi những thể địa chất đặc trưng cho các hoạt động kiến tạo nối tiếp, chuyển động nâng trôi, uốn nếp tạo núi và chuyển động sụt lún tạo các bồn trầm tích. Bối cảnh kiến tạo là nguyên nhân cốt lõi tạo ra tính đa dạng địa chất, đa dạng địa hình địa mạo, mạng lưới thủy văn, đặc biệt là đa dạng hệ thống hang động (Phuong, 2016). Đây là khu vực karst có giá trị nổi bật ở khu vực Đông Nam Á và trên thế giới thể hiện ở tính đa dạng địa chất và lịch sử tiến hóa vỏ Trái đất, địa mạo, đa dạng sinh học.

Trong những năm gần đây VQG PNKB là địa điểm hấp dẫn du khách trong và ngoài nước. Du lịch phát triển thúc đẩy các dịch vụ phục vụ đi kèm, sinh kế, cơ sở hạ tầng và nâng cao đời sống thu nhập của dân địa phương (Ban quản lý VQG PNKB, 2013). Tuy nhiên, phát triển du lịch, kinh tế-xã hội nhanh cũng tạo ra các áp lực tới môi trường karst và các thách thức cho công tác quản lý và bảo tồn Di sản thiên nhiên thế giới (TNTG) VQG PNKB.

3.2. Xác định chỉ số KDI tại VQG PNKB

3.2.1. Cơ sở xác định KDI tại VQG PNKB

Cơ sở xây dựng bộ chỉ thị tại VQG PNKB:

Việc xây dựng được bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB dựa trên các cơ sở cụ thể sau:

Kế thừa có chọn lọc bộ chỉ thị KDI của Van Beynen & Townsend (2005) đề xuất, đảm bảo tính tương đồng quốc tế. Các chỉ thị KDI nguyên thủy này dựa trên khung mô hình khái niệm PSR, đã thể hiện rõ các hợp phần (đất, đá, nước, không khí và sinh vật) và tính hệ thống của môi trường karst. Nhiều khu vực karst trên thế giới đã ứng dụng có chọn lọc bộ chỉ thị này để xây dựng bộ chỉ thị xác định KDI, đặc biệt tại khu vực karst đã được UNESCO công nhận (ví dụ tại VQG Aralar, Tây Ban Nha trong nghiên cứu của Angulo et al, 2013). Việc áp dụng bộ chỉ thị KDI đã được ứng dụng rộng rãi sẽ đảm bảo bộ chỉ thị KDI VQG PNKB có tính tương đồng quốc tế và có khả năng đối sánh giữa các vùng karst của Việt Nam và trên thế giới.

Phù hợp với điều kiện tự nhiên của VQG PNKB. Di sản Thiên nhiên thế giới VQG PNKB có những đặc thù về điều kiện tự nhiên, môi trường karst phải được xét đến khi xây dựng bộ chỉ thị KDI. Các chỉ thị KDI cần phải đặc biệt quan tâm đến giá trị nổi bật về địa chất - địa mạo, hệ thống hang động và đa dạng sinh học của chúng. Bên cạnh đó đặc điểm dân tộc, hiện trạng phát triển kinh tế-xã hội cũng cần được chú ý khi xây dựng các chỉ thị xáo trộn môi trường karst của VQG PNKB.

Đảm bảo tính khả thi, dễ dàng lượng hóa và cập nhật. Các chỉ thị trong bộ khung chỉ thị của Van Beynen & Townsend phù hợp với điều kiện đặc thù của VQG PNKB và các chỉ thị mới được đề xuất được lựa chọn cần phải dễ dàng tính toán và thu thập số liệu. Các chỉ thị được lựa chọn phải dễ xác định và đánh giá lại theo thời gian và không gian để giúp cho việc hoạch định, điều chỉnh những kế hoạch phù hợp nhằm bảo tồn và phát triển khu vực karst trong VQG PNKB.

Cơ sở xác định giá trị mục tiêu và thang điểm:

Giá trị mục tiêu và thang điểm để lượng hóa các chỉ thị được xác định trên cơ sở:

Theo cách xác định của Van Beynen & Townsend và các tác giả đã áp dụng KDI khác: Phương pháp KDI được Van Beynen & Townsend đề xuất đã được áp dụng hiệu quả tại các khu vực karst trên thế giới, đặc biệt tại khu vực karst được UNESCO công nhận. Các kết quả áp dụng KDI này đã được công bố rộng rãi và được cộng đồng khoa học thế giới công nhận. Bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB được xác định trên nguyên tắc kế thừa bộ chỉ thị Van Beynen & Townsend. Do vậy các giá trị mục tiêu của các tác giả trên được sử dụng để xác định giá trị mục tiêu cho bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB.

Theo các tài liệu khoa học chuyên ngành karst và hang động: Đặc thù của môi trường karst và hang động là một hệ gồm nhiều hợp phần vừa thống nhất và rất dễ bị tổn thương. Đề nghiên cứu về karst và hang động cần tìm hiểu thông tin cơ bản và chuyên sâu. Các tài liệu khoa học chuyên ngành về lĩnh vực này là nguồn tài liệu tham khảo giá trị đối với việc xác định giá trị mục tiêu của các chỉ thị.

Theo ý kiến chuyên gia: Tri thức chuyên gia là một nguồn tài nguyên quý giá trong việc tạo ra những kiến thức mới và chuyên sâu (Ý và nnk, 2016). Chỉ số xáo trộn môi trường karst lần đầu tiên được áp dụng tại Việt Nam nên cần sử dụng ý kiến chuyên gia có kinh nghiệm, chuyên sâu về KDI nói riêng và karst nói chung là cơ sở thuyết phục trong trường hợp này.

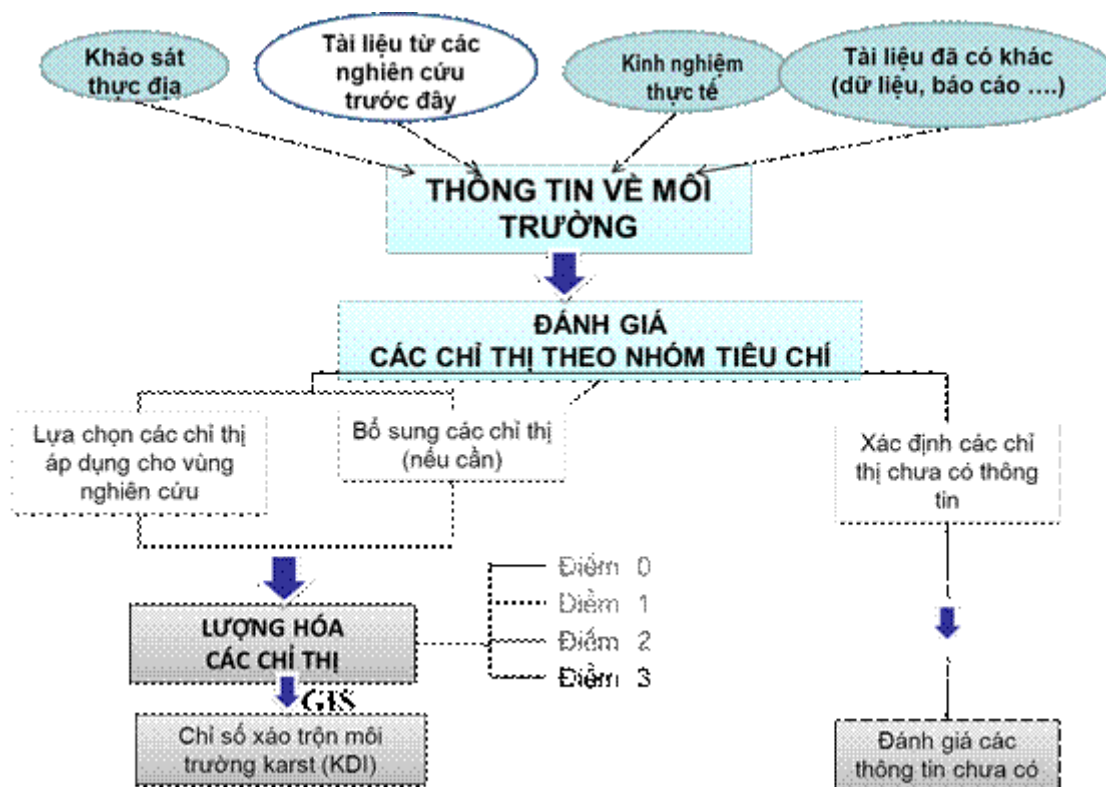
3.2.2. Các bước xác định chỉ số KDI tại VQG PNKB

Các bước xác định chỉ số KDI tại VQG PNKB được khái quát theo Hình 1 và được tiến hành theo trình tự sau:

Bước 1: Xác định thông tin về môi trường karst tại VQG PNKB trên cơ sở phân tích mô hình khái niệm PSR về hoạt động nhân sinh-áp lực tác động môi trường karst; hiện trạng tài nguyên, môi trường karst và xu thế biến đổi - hiện trạng bảo tồn; những chính sách, chiến lược quản lý,

giải pháp hiện tại của Ban quản lý nhằm giảm tác động tiêu cực tới môi trường karst tại đây. Các thông tin về môi trường được tiến hành theo nội dung đã trình bày tại Hình 1.

Thu thập các tài liệu, số liệu về điều kiện tự nhiên đã có trong khu vực; khảo sát cập nhật đánh giá hiện trạng môi trường được tiến hành trong bước này.



Hình 1. Sơ đồ các bước xác định KDI tại VQG PNKB

Bước 2: Lựa chọn các chỉ thị phù hợp cho VQG PNKB. Trên cơ sở các thông tin về môi trường karst tại VQG, rà soát các chỉ thị KDI đã được Van Beynen & Townsend đề xuất để xác định các chỉ thị cụ thể phù hợp về điều kiện môi trường karst và nguồn số liệu có thể áp dụng được, loại bỏ các chỉ thị không phù hợp. Tiến hành xây dựng bổ sung thay thế chỉ thị đặc thù cho VQG PNKB đồng thời tham vấn chuyên gia nước ngoài về các chỉ thị KDI đã chọn.

Bước 3: Lượng hóa các chỉ thị đã lựa chọn. Sau khi tham vấn chuyên gia, các chỉ thị được thống nhất lựa chọn ở bước 2 sẽ được lượng hóa theo các bước:

Xác định giá trị thực tế từ thu thập các thông tin, số liệu đã có và khảo sát ngoài thực địa, phỏng vấn, phân tích mẫu, phân tích các bản đồ chuyên ngành.

Xác định giá trị mục tiêu của các chỉ thị dựa trên cơ sở các giá trị đã đề xuất của Van Beynen, từ các tài liệu về karst, từ mục tiêu bảo tồn Di sản của Ban quản lý VQG PNKB và từ ý kiến chuyên gia chuyên sâu về karst nói chung và KDI nói riêng.

Định lượng các chỉ thị: xây dựng giá trị thang điểm của các chỉ thị từ 0 đến 3, trong đó 0 phản ánh là mức độ tốt nhất của môi trường karst được kỳ vọng đạt tới và 3 là mức độ tiêu cực nhất của môi trường.

Bên cạnh đó, cần lưu ý đánh giá độ tin cậy của chỉ số KDI theo phương pháp của Van Beynen & Townsend đối với các chỉ thị chưa đủ dữ liệu để định lượng.

Bước 4: Tính toán xác định chỉ số KDI. Chỉ số KDI được xác định bằng tỉ số giữa tổng điểm số của các chỉ thị đã lượng hóa và tổng điểm tối đa của các chỉ thị đó.

Bước 5: Xây dựng bản đồ KDI bằng phần mềm chuyên dụng ArcGIS.

3.2.3. Nguồn dữ liệu

Dữ liệu, thông tin để xây dựng và lượng hóa các chỉ thị được dựa trên nguồn tài liệu của các nghiên cứu trước đây, thông tin khảo sát ngoài thực địa, lấy mẫu phân tích, thông tin chiết xuất từ các bản đồ, thông tin thu thập từ VQG. Cụ thể là các thông tin, tài liệu về kinh tế-xã hội vùng nghiên cứu được thu thập từ Niên giám thống kê tỉnh Quảng Bình năm 2014, 2015 và thu thập trực tiếp tại các xã thuộc phạm vi của VQG PNKB.

Các dữ liệu bản đồ được chiết xuất từ các bản đồ hợp phần tỉnh Quảng Bình gồm bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000; bản đồ địa hình tỷ lệ 1:50.000; bản đồ đất và bản đồ hiện trạng sử dụng đất tỷ lệ 1:50.000; thông tin thu thập tại Ban quản lý VQG PNKB như sơ đồ phân bố các loài ngoại lai xâm hại, vị trí các hang, các tuyến, điểm du lịch.

Các tuyến khảo sát được bố trí theo các tuyến bao gồm các điểm khảo sát tại các khu vực dân cư trong vùng lõi như Bản 39, bản Đoòng; các điểm dân cư trong vùng đệm và điểm du lịch chính như động Thiên Các Đường, hang Phong Nha, hang Tối, suối nước Mooc, hang Va.... Tại các điểm khảo sát trong khu vực dân cư các thông tin về các hoạt động nhân sinh như chăn thả gia súc, phá rừng làm nương rẫy, sử dụng phân bón, thu gom rác thải... đã được thu thập. Tại các điểm du lịch thu thập các thông tin về lượng khách du lịch, sự am hiểu của du khách về karst và hang động, sự tuân thủ các quy định bảo vệ môi trường của du khách, hiện trạng môi trường cũng như hiện trạng bảo tồn của thạch nhũ, nền hang, ánh sáng đèn trong hang và sự phát triển của tảo. Bên cạnh đó, 21 mẫu nước tại các nguồn lộ nước karst dọc theo các tuyến khảo sát đã được lấy phân tích hàm lượng NO_3 và PO_4 đồng thời lựa chọn 17 mẫu nước để phân tích mật độ tế bào của quần thể tảo. Ngoài ra, kết quả quan trắc, phân tích chất lượng nước của VQG PNKB tại Sở Tài nguyên Môi trường tỉnh Quảng Bình cũng được thu thập.

4. Kết quả

4.1. Bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB

Bộ chỉ thị KDI tại VQG PNKB được xây dựng trên cơ sở phân tích mô hình PSR tại VQG và kế thừa các kết quả nghiên cứu của North (2016). Bộ chỉ thị gồm 27 chỉ thị (Bảng 3) trong đó có 10 chỉ thị mới bổ sung cho VQG và 17 chỉ thị theo đề xuất của Van Beynen & Townsend; các chỉ thị được phân thành 5 nhóm địa mạo-địa chất, không khí, thủy văn, sinh vật và phát triển kinh tế xã hội. Các chỉ thị mới (chỉ thị đặc thù của VQG PNKB) gồm chăn thả gia súc, hệ thống xử lý thải, sự thay đổi nhiệt độ không khí trong hang (thể hiện qua mật độ khách du lịch), bơm khai thác nước dưới đất, khai thác nước mặt, sinh vật ngoại lai xâm hại, hệ thống chiếu sáng trong hang và sự phát triển của thực vật đèn, công tác giáo dục cộng đồng và du khách về giá trị Di sản TNTG, mức độ sử dụng đường, lượng khách tham quan. Cụ thể hơn các chỉ thị sự thay đổi nhiệt độ không khí trong hang (thể hiện qua mật độ khách du lịch), bơm khai thác nước dưới đất, khai thác nước mặt, hệ thống chiếu sáng trong hang và sự phát triển của thực vật đèn được sử dụng thay thế lần lượt cho các chỉ thị không khí khô, thay đổi mực nước ngầm, sự thay đổi nước nhỏ giọt trong hang, sự suy giảm số lượng (%) và mật độ loài của vùng lõi Van Beynen & Townsend.

Bảng 3. Bộ chỉ thị xác định KDI tại VQG PNKB

Nhóm chỉ thị	Thuộc tính	Chỉ thị	Xuất xứ của chỉ thị
Địa chất	Địa hình karst trên mặt	Khai thác đá	Van Beynen & Townsend
		Chăn thả gia súc	Đặc thù VQG

địa mạo		Xả vớt rác	Van Beynen& Townsend
		Hệ thống xử lý xả thải	Đặc thù VQG
	Đất	Xói mòn đất	Van Beynen& Townsend
		Cổ kết bề mặt đất	Van Beynen& Townsend
	Karst ngầm	Di dời, tác động tới các khoáng vật và trầm tích	Van Beynen& Townsend
Sự phá hủy và sự nén ép của trầm tích bề mặt hang		Van Beynen& Townsend	
Không khí	Chất lượng không khí trong hang	Sự thay đổi nhiệt độ không khí trong hang (thể hiện qua mật độ khách du lịch)	Đặc thù VQG
		Sự ăn mòn, ngưng tụ do con người	Van Beynen& Townsend
		Thuốc trừ sâu và thuốc diệt cỏ	Van Beynen& Townsend
		Tràn và đổ thải dầu	Van Beynen& Townsend
	Thủy văn	Chất lượng nước mạch lộ	Tảo nở hoa
Trữ lượng nước		Bơm hút khai thác nước ngầm	Đặc thù VQG
		Khai thác nước mặt	Đặc thù VQG
Sinh vật	Sự xáo trộn thực vật	Suy thoái thảm phủ	Van Beynen& Townsend
		Sinh vật ngoại lai xâm hại	Đặc thù VQG
	Sinh vật trong hang	Hệ thống chiếu sáng trong hang và sự phát triển của thực vật đèn	Đặc thù VQG
	Sinh vật thủy sinh	Suy giảm số lượng và mật độ loài	Van Beynen& Townsend
	Kinh tế-xã hội		Công tác bảo vệ tài nguyên
Sự quản lý các vùng karst		Đào tạo, hướng dẫn về công tác quản lý karst và hang động	Đặc thù VQG
		Công tác giáo dục cộng đồng, du khách về giá trị Di sản TNTG	Van Beynen& Townsend và đặc thù VQG
		Xây dựng đường	Van Beynen& Townsend
		Mức độ sử dụng đường	Đặc thù VQG
Xây dựng cơ sở hạ tầng		Các công trình trên khu vực karst	Van Beynen& Townsend
		Công trình trong hang	Van Beynen& Townsend
		Lượng khách tham quan	Đặc thù VQG

4.2. Xác định chỉ số KDI tại VQG PNKB

Các chỉ thị được lượng hóa dựa trên trên cơ sở các thông tin giá trị thực tế của các chỉ thị, giá trị mục tiêu và thang điểm. Kết quả lượng hóa các chỉ thị KDI tại VQG PNKB theo thang điểm được trình bày trong bảng 4. Theo kết quả lượng hóa, điểm số đánh giá của nhóm chỉ thị kinh tế-xã hội có giá trị lớn nhất (từ 8 đến 17 điểm), tiếp đến là nhóm chỉ thị địa mạo - địa chất (1-9 điểm), sinh vật (0-5 điểm), thủy văn (0-3 điểm), và nhóm chỉ thị không khí có giá trị thấp nhất (0-3 điểm). Kết quả tính toán tổng điểm các chỉ thị (KDI tổng điểm) có giá trị từ 9 đến 30.

Chỉ số KDI VQG PNKB được xác định theo công thức của Van Beynen & Townsend dưới đây:

$$KDI = \frac{KDI_{\text{tổng điểm}}}{3} \quad (1)$$

Trong đó: KDI_{tổng điểm}: Tổng điểm các chỉ thị sau khi lượng hóa (Theo kết quả tính toán KDI tổng điểm tại VQGPNKB có giá trị từ 9 đến 30; 3 là số điểm cao nhất của các chỉ thị; N = số lượng các chỉ thị (N=25 cho trường hợp của VQG PNKB).

Kết quả xác định KDI khu vực VQG PNKB trên cơ sở định lượng hóa 25 chỉ thị đủ thông tin đánh giá được thể hiện ở Hình 2. Giá trị chỉ số KDI ở VQG PNKB từ 0,12 đến 0,4 thể hiện mức độ bảo tồn tốt của VQG PNKB.

Bảng 4. Kết quả lượng hóa các chỉ thị tại VQG PNKB

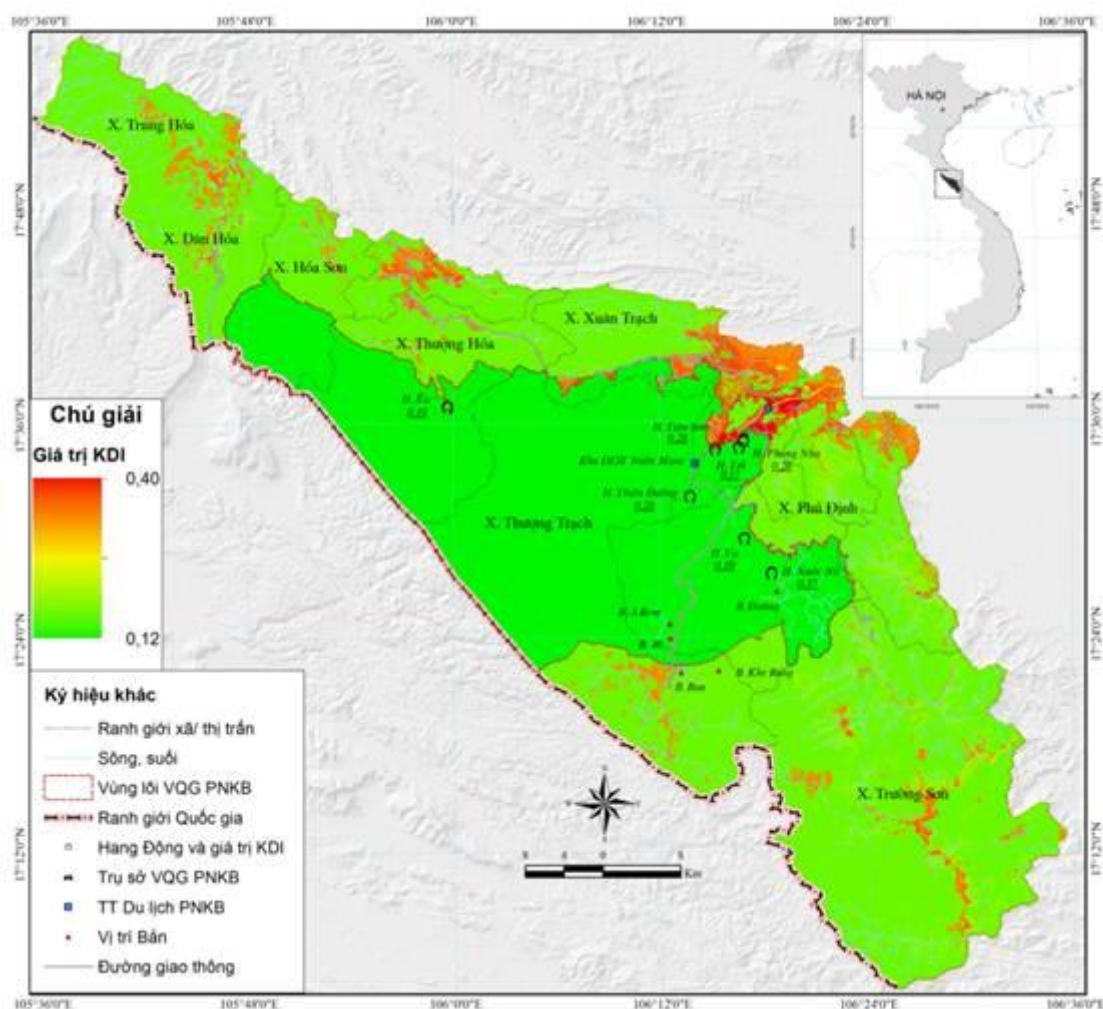
Nhóm chỉ thị	Thuộc tính	Chỉ thị	Điểm đánh giá lớn nhất	Diễn giải
Địa chất địa mạo	Địa hình Karst trên mặt	Khai thác đá	1	Chỉ tồn tại một vài khu khai thác đá nhỏ hiện tại ở vùng đệm VQG PNKB
		Chăn thả gia súc	1	Các bản, làng, đất nông nghiệp, ven một số trục đường có chăn thả gia súc. Phạm vi diện tích nhỏ, số lượng gia súc thấp.
		Xả vớt rác	2	Khu dân cư, dọc tuyến du lịch, bãi rác của thị trấn (được đào trên bề mặt cánh đồng karst tàn, bị hư hại lớp bạt chống thấm, không có hệ thống xử lý nước.
	Đất đai	Xói mòn đất	1	Vùng đệm VQG PNKB(đất nông nghiệp: 23.355ha; cây bụi, trảng cỏ 21.923 ha)/thảm thực vật có khả năng giảm xói mòn thấp, một số khu vực bị ảnh hưởng do khai thác, đào đắp, cày xới.
		Cổ kết bề mặt	1	Khu vực sản xuất nông nghiệp, khu dân cư/ hoạt động san ủi, đầm nén diễn ra cục bộ, thường theo tuyến.
	Karst ngầm	Di dời các khoáng vật và trầm tích	2	Hang Thiên Đường, Tiên Sơn, hang Tỏi đã ghi nhận một số tác động và có nguy cơ tiếp tục bị xâm hại dù đã có một số biện pháp bảo vệ.
			1	Hang Va có nguy cơ bị xâm hại nếu thiếu biện pháp bảo vệ phù hợp trước khả năng phát triển du lịch với lượng khách lớn hơn.
		Cổ kết phá hủy bề mặt hang	3	Hang Phong Nha, Thiên Đường, Tiên Sơn đang khai thác du lịch đại trà, lượng khách tham quan đông gây cổ kết nền hang khi chưa được thiết kế lối đi hoặc đã có đường đi riêng nhưng quan sát có du khách vi phạm quy định.
			1	Các hang du lịch còn lại: lượng khách thấp nhưng chưa được thiết kế lối đi và có khả năng sẽ thu hút thêm du khách.
Không khí	Chất lượng không khí trong hang	Làm thay đổi nhiệt độ hang	1	Hang Thiên đường, Tiên Sơn, Phong Nha. Các hang thu hút lượng du khách lớn, các đợt nghỉ lễ có mật độ khách rất đông, ghi nhận làm thay đổi nhiệt độ trong hang.
		Sự ăn mòn và ngưng tụ	2	Hang Thiên Đường, Tiên Sơn, Phong Nha. Các hang có lượng khách lớn, nhiều "buồng" khá kín, gây tác động thay đổi môi trường hóa lý, các thành tạo thạch nhũ trong hang bị ăn mòn.
Thủy văn	Nước mặt	Sử dụng phân bón thuốc trừ sâu	1	Vùng đệm VQG PNKB: Có sử dụng hóa chất nhưng không nhiều, phần lớn diện tích sử dụng hóa chất là trồng lúa, màu nhưng diện tích nhỏ. Ghi nhận có trường hợp sử dụng thuốc diệt cỏ trong phát quang trồng rừng.
		Tràn dầu	1	Đoạn sông Son từ phà Xuân Sơn đến động Phong Nha nhiều thuyền du lịch nhỏ hoạt động, đã quan sát văng dầu mỏng, cục bộ tại nơi neo đậu thuyền.
	Mạch lộ	Tảo nở hoa	0	Kết quả phân tích chất lượng nước không phát hiện thấy hiện tượng tảo nở hoa; hàm lượng phú dưỡng trong nước thấp
	Khai thác nước	Nước dưới đất	1	Khu dân cư người dân hiện tại sử dụng nước giếng đào và khoan là chủ yếu, nhưng hiện tại mật độ thấp, mức ảnh hưởng chưa lớn
		Nước mặt	1	Thị trấn Phong Nha có hai trạm bơm cho sản xuất nông nghiệp/ diện tích phục vụ nhỏ, tần suất hoạt động thấp nên ít tác động tới nguồn nước chung sông Son
Sinh vật		Suy thoái thảm phủ	1	Điểm dân cư, ít có tác động trực tiếp tới thảm thực vật VQG PNKB

Nhóm chỉ thị	Thuộc tính	Chỉ thị	Điểm đánh giá lớn nhất	Diễn giải
	Sinh vật bề mặt		2	Vùng đệm khai thác gỗ, diện tích rừng trồng thuần loại khá lớn, tiếp giáp trực tiếp với vùng lõi VQG PNKB
		Hệ thống chiếu sáng	2	Hang Phong Nha, Tiên Sơn, Thiên Đường quan sát thấy thạch nhũ bị tác động và có thực vật đèn
		Xâm hại loài ngoại lai	1	Các loài ngoại lai xâm hại xuất hiện tại các điểm lẻ tẻ, diện tích nhỏ và ít có nguy cơ ảnh hưởng tiêu cực tới ĐDSH.
	Quản lý tài nguyên karst	Công tác bảo vệ tài nguyên	1	Được bảo vệ tốt nhưng không thể hiện đặc thù vùng karst.
		Đào tạo hướng dẫn quản lý về karst và hang động	1	Có đào tạo, chưa tập trung vào đặc thù vùng karst
		Giáo dục trong cộng đồng, du khách về giá trị Di sản TNTG	3	Thông tin ngoài thực địa cho thấy Ban quản lý VQG PNKB chưa có hoạt động giáo dục cộng đồng, du khách về giá trị karst và Di sản TNTG.
		Xây dựng đường xá	3	Đường Hồ Chí Minh
		Mức độ sử dụng	3	Đường Hồ Chí Minh, lượng xe cộ đi lại nhiều
Kinh tế xã hội	Xây dựng cơ sở hạ tầng	Xây dựng công trình nhân sinh trên karst	3	Thị trấn Phong Nha cơ sở hạ tầng phát triển rất nhanh
		Các công trình xây dựng trong hang	2	Hang Thiên Đường, Tiên Sơn, Phong Nha
		Lưu lượng khách thăm quan	2	Vào mùa cao điểm du lịch lượng khách tham quan trong VQG PNKB đông và tập trung

5. Thảo luận

5.1. Mức độ xáo trộn môi trường karst tại VQG PNKB

KDI của VQG PNKB được xác định có giá trị từ 0,12 đến 0,4, theo phân loại của Van Beynen & Townsend phần lớn diện tích VQG là nguyên sơ ($KDI < 0,19$) và ít bị xáo trộn ($0,2 < KDI < 0,39$) (Hình 2). Về không gian, khu vực còn nguyên sơ (chiếm 92%) thuộc phạm vi toàn bộ vùng lõi của Vườn trừ một số hang đang khai thác du lịch, bản Đòng, bản Arem và một số đoạn các tuyến đường giao thông; khu vực ít bị xáo trộn (chiếm 8%) nằm trong các khu vực tập trung dân cư và khu vực sản xuất nông nghiệp. Đối với khu vực vùng đệm giá trị KDI cao hơn thể hiện mức độ xáo trộn mạnh hơn, đặc biệt KDI có giá trị cao nhất tại khu vực thị trấn Phong Nha và lân cận.



Hình 2. Bản đồ chỉ số xáo trộn môi trường karst KDI VQG PNKB

So sánh với các khu vực karst khác, KDI tại VQG PNKB có giá trị khá tương đồng so với KDI tại VQG Aralar (Tây Ban Nha) có giá trị từ 0,03-0,33 theo kết quả nghiên cứu của Angulo et al (2013); và có giá trị cao hơn so với KDI tại Reserva Selve el Ocote (Mehico) có giá trị là 0,22 theo kết quả đánh giá của Kovarik et al (2015). Tuy nhiên, giá trị KDI tại cả ba khu vực PNKB (Việt Nam), VQG Aralar (Tây Ban Nha) và Reserva Selve el Ocote (Mehico) đều thấp thể hiện môi trường karst ít bị xáo trộn. Với các khu vực karst khác như tại khu vực Tây - trung tâm bang Florida (Mỹ) có KDI là 0,55 tại Apulia (Italia) là 0,58 theo North et al (2009) và tại Sardinia (Italia) KDI từ 0,02-0,81 theo đánh giá của Jo De Waele (2007), giá trị KDI tại VQG PNKB rõ ràng thấp hơn và môi trường karst ít bị xáo trộn hơn.

Đánh giá độ tin cậy của chỉ số KDI tại VQG PNKB cho thấy 2/27 chỉ thị chưa đủ thông tin, dữ liệu để đánh giá đó là chỉ thị hệ thống xả thải, sự suy giảm số lượng và mật độ loài thủy sinh. Thông tin về chỉ thị nhiệt độ trong hang tuy đã có nghiên cứu về vi khí hậu trong hang nhưng tập hợp số liệu có được còn ít, rời rạc và chưa thể hiện rõ xu thế biến đổi. Do vậy, thông tin về lượng khách du lịch trong hang được sử dụng để gián tiếp đánh giá chỉ thị này. Theo phương pháp của Van Beynen & Townsend, độ tin cậy của chỉ số KDI tại VQG PNKB được xác định là 0,1; như vậy giá trị KDI tại Vườn có độ tin cậy trong giới hạn cho phép. Với các chỉ thị chưa đủ dữ liệu, cần phải được bổ sung thông tin trong các nghiên cứu tiếp theo tại VQG PNKB.

Bảng 5. Các chỉ thị và điểm số gây xáo trộn môi trường karst tại VQG PNKB

Chỉ thị	Điểm số			
	0	1	2	3
I. Nhóm chỉ thị Địa mạo-địa chất: 1-9 điểm				
Khai thác đá	●			
Chăn thả gia súc				
Xả vứt rác				
Xói mòn đất				
Cổ kết bề mặt đất	●			
Di dời, tác động tới khoáng vật và trầm tích	●			
Sự phá hủy và cổ kết của trầm tích bề mặt hang	●			
II. Nhóm chỉ thị không khí: 3 điểm				
Mật độ khách du lịch trong hang				
Sự ăn mòn, ngưng tụ do con người				
III. Nhóm chỉ thị thủy văn: 3 điểm				
Thuốc trừ sâu và thuốc diệt cỏ				
Tràn và đổ thải dầu				
Tảo nở hoa				
Bơm hút khai thác nước ngầm	●			
Khai thác nước mặt	●			
IV. Nhóm chỉ thị sinh vật: 5 điểm				
Suy thoái thảm phủ			●	
Sinh vật ngoại lai xâm hại				
Hệ thống chiếu sáng trong hang và sự phát triển của thực vật đèn				
V. Nhóm chỉ thị kinh tế-xã hội: 8-17 điểm				
Công tác bảo vệ tài nguyên				
Đào tạo, hướng dẫn về công tác quản lý karst và hang động		●		
Công tác giáo dục cộng đồng, du khách về giá trị Di sản TNTG				
Xây dựng đường	●	●	●	
Mức độ sử dụng đường	●			
Các công trình trên khu vực karst	●			
Công trình trong hang	●	●		
Lượng khách tham quan				

5.2. KDI phục vụ quản lý và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên tại VQG PNKB

Kết quả lượng hóa chỉ thị và bản đồ KDI cung cấp thông tin hữu ích cho việc đề xuất các giải pháp bảo vệ và quản lý môi trường karst VQG PNKB. Phân tích giá trị lượng hóa của các nhóm chỉ thị cho thấy vai trò khác nhau của các chỉ thị và nhóm các chỉ thị gây xáo trộn môi trường karst tại VQG PNKB. Cụ thể là ở quy mô nhóm các chỉ thị có tác động lớn nhất với giá trị tổng điểm từ 8-17 là nhóm các chỉ thị kinh tế-xã hội, tiếp đến là nhóm chỉ thị địa mạo-địa chất với tổng điểm từ 1-9 và nhóm chỉ thị sinh vật với tổng điểm 0-5 (Bảng 5). Ở cấp độ từng chỉ thị riêng biệt, các chỉ thị có tác động lớn nhất (có giá trị lượng hóa 3 điểm) là các chỉ thị cổ kết nền hang, giáo dục cộng đồng về giá trị karst và Di sản TNTG, xây dựng đường xá, mức độ sử dụng đường, công trình nhân sinh trên karst; các chỉ thị có tác động lớn (có giá trị lượng hóa 2 điểm) là xả vứt rác, hệ thống chiếu sáng trong hang và lưu lượng khách tham quan. Do đó,

để bảo vệ và bảo tồn cảnh quan môi trường karst tại VQG PNKB một cách phù hợp và hiệu quả cần tập trung các giải pháp giảm thiểu mức độ tác động, giá trị lượng hóa của các chỉ thị này thấp nhất. Mặt khác, từ bản đồ KDI có thể tra cứu xác định được các thông tin về mức độ xáo trộn-trị số KDI và các chỉ thị cụ thể đóng vai trò chính gây xáo trộn môi trường karst. Trên cơ sở đó, khoanh vùng được khu vực cần tập trung quản lý và bảo vệ đồng thời còn xác định được các giải pháp quản lý và bảo tồn cụ thể đối với từng khu vực khác nhau trong VQG PNKB.

6. Kết luận

Với tốc độ phát triển kinh tế-xã hội và tăng dân số nhanh đi kèm với các nhu cầu văn hóa-giải trí cao hơn, các hoạt động của con người ngày càng ảnh hưởng và tác động mạnh mẽ tới cảnh quan, môi trường karst Việt Nam nói chung và VQG PNKB nói riêng. Trước những thách thức trên, cần thiết có các nghiên cứu cập nhật, đánh giá tổng thể tác động nhân sinh tới cảnh quan môi trường karst nhằm lượng hóa mức độ tác động của con người tới môi trường tự nhiên. Chỉ số xáo trộn môi trường karst (KDI) lần đầu tiên áp dụng và được cải biến phù hợp với điều kiện tự nhiên đặc thù của Vườn nói riêng và karst Việt Nam nói chung.

Việc lựa chọn, xây dựng các chỉ thị KDI tại VQG PNKB được dựa trên cơ sở kế thừa bộ chỉ thị của Van Beynen and Townsend đề xuất theo mô hình khái niệm PSR, tính khách quan phù hợp với điều kiện tự nhiên, đảm bảo tính dễ dàng định lượng và cập nhật. Theo đó, bộ chỉ thị KDI áp dụng tại khu vực nghiên cứu gồm 27 chỉ thị được xác định dựa vào các kết quả khảo sát ngoài thực tế thu thập số liệu, thông tin về các hoạt động nhân sinh, các mối đe dọa, áp lực tới cảnh quan môi trường karst, hiện trạng bảo tồn và giải pháp, mục tiêu quản lý của VQG PNKB. Các chỉ thị được định lượng theo phương pháp của Van Beynen & Townsend dựa trên các giá trị thực tế hoặc số liệu thu thập ngoài thực địa và giá trị mục tiêu cụ thể của các chỉ thị này.

Kết quả lượng hóa các chỉ thị cho thấy nhóm chỉ thị kinh tế - xã hội có giá trị lớn nhất (từ 8 đến 17 điểm), nhóm chỉ thị địa chất - địa mạo (1-9 điểm), sinh vật (0-5 điểm), thủy văn (0-3 điểm), và nhóm chỉ thị không khí (0-3 điểm). KDI tổng điểm được tính toán cho giá trị từ 9 đến 30 điểm; KDI tại VQG PNKB có giá trị 0,12 đến 0,4. Giá trị định lượng này thể hiện rõ ràng môi trường karst tại VQG PNKB được bảo vệ, bảo tồn tốt và ít bị xáo trộn. Hơn thế nữa, bản đồ KDI còn cung cấp thông tin toàn cảnh về hiện trạng bảo tồn của VQG PNKB theo không gian. Đồng thời kết quả nghiên cứu đã xác định được các chỉ thị hoạt động nhân sinh, cốt kết nền tảng, giáo dục cộng đồng, xả vứt rác, hệ thống chiếu sáng trong hang tác động mạnh nhất và gây xáo trộn lớn nhất tới cảnh quan, môi trường karst tại VQG PNKB. Do vậy, để bảo tồn cảnh quan karst tại VQG PNKB các giải pháp cần tập trung giảm thiểu mức độ tác động của các hoạt động nhân sinh này ở mức thấp nhất. Đây là những thông tin hữu ích, định hướng cho việc xác định các giải pháp bảo vệ tài nguyên karst hiệu quả và phù hợp với khu vực VQG PNKB. Với các kết quả trên, cần mở rộng áp dụng xác định chỉ số KDI cho các khu vực karst tại Việt Nam phục vụ công tác quản lý đồng thời cung cấp thông tin minh chứng, đối sánh khách quan mức độ bảo tồn cảnh quan với các khu vực karst trên thế giới, đặc biệt tại các khu vực karst đã được UNESCO công nhận là Di sản thế giới, công viên Địa chất và Di sản thiên nhiên hỗn hợp.

Lời cảm ơn: Kết quả này được thực hiện trong khuôn khổ các hoạt động của nhiệm vụ KHCN “Nghiên cứu xác định chỉ số xáo trộn môi trường karst khu vực Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng góp phần bảo vệ và quản lý bền vững tài nguyên thiên nhiên”- Mã số: VAST - CTG.07/14-16 do Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam cấp kinh phí thực hiện. Tập thể tác giả xin cảm ơn Viện Địa chất, Viện Địa lý và Ban quản lý VQG PNKB đã tạo điều kiện và ủng hộ việc triển khai nghiên cứu. Chân thành cảm ơn sự hỗ trợ, đóng góp ý kiến, chia sẻ kinh nghiệm xác định KDI của TS. Leslie North và TS. Jason Polk.

Văn liệu

Angulo B, Morales T, Uriarte J.A, Antigüedad I, 2013. Implementing a comprehensive approach for evaluating significance and disturbance in protected karst areas to guide management strategies. *Journal of Environmental Management*, 130:386-396.

Van Beynen P, Townsend K, 2005. A Disturbance Index for karst Environments. *Environmental Management*, 36/1:101-116.

Van Beynen P, Feliciano N, North L, Townsend K, 2007. Application of a karst Disturbance Index in Hillsborough County, Florida. *Environmental Management*, 39/2:261-277.

Ban quản lý VQG PNKB 2013. Kế hoạch quản lý, hoạt động Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng giai đoạn 2013-2020.

Calo F, Parise M, 2006. Evaluating the human disturbance to karst environments in southern Italy. *Acta Carsologica*, 35/2:47-56.

Kovarik J, Van Beynen P, 2015. Application of the Karst Disturbance Index as a raster-based model in a developing country, 63, 396-407.

Trần Nghi (Chủ biên), 2003. Di sản thiên nhiên thế giới - Vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng, Quảng Bình, Việt Nam. *Lưu trữ Địa chất. Hà Nội*

North L.A, Van Beynen and Townsend P.E, Parise M, 2009. Interregional comparison of karst disturbance: West-central Florida and southeast Italy. *Journal of Environmental Management*, 90/5:1770-1781.

North Leslie, Vu T.M. Nguyet, Polk Jason, Tong P. Tuan, Nguyen M. Quang, 2016. Evaluating Human-Environmental Impacts to the karst landscape of Phong Nha - Ke Bang National Park, Vietnam using a modified Karst Disturbance Index Methodology. GSA Abstract Vol.8, No 7 and Oral presentation in session "Intersections oh Sustainability and Geosciences". 2016 GSA Colorado, USA.

OECD, 2003. OECD Environmental Idicators. Development, Measurement and Use. *Reference Paper*.

Tạ H. Phương, 2016. Mục từ Vườn Quốc gia Phong Nha-Kẻ Bàng (Di sản thiên nhiên thế giới). Bách khoa thư Địa chất trang 911-918. *Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội*.

Tạ H. Phương, Vũ V. Phái, Vũ T.M. Nguyệt, 2016. Mục từ Karst. Bách khoa thư Địa chất trang 889-901. *Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội*.

Porter B.L, North L.A, Polk J.S, 2016. Comparing and refining karst disturbance index methods through application in an island karst setting. *Environmental Management* 58/6:1027-1045

Waele J.D, 2007. Evaluating disturbance on mediterranean karst areas: the example of Sardinia (Italy). *Environmental Geology*, 58:239-255.

Trần V. Ý, Nguyễn V. Thịnh (Đồng Chủ biên), 2016. Phát triển bền vững lãnh thổ Tây Nguyên: Đánh giá và Giải pháp. *Nxb Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*.

Từ khóa: chỉ số xáo trộn môi trường karst, chỉ thị môi trường, bảo tồn cảnh quan karst, hoạt động nhân sinh, Phong Nha - Kẻ Bàng.