

Nguy hiểm nứt sụt đất, trượt lở đất và động đất ở khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ

Cao Đình Triều^{1*}, Đặng Thanh Hải¹, Nguyễn Hồng Phương¹, Đinh Quốc Văn¹,
Phạm Văn Hùng², Lê Văn Dũng¹, Cao Đình Trọng¹, Phạm Nam Hưng¹,
Mai Xuân Bách¹, Phạm Thị Hiền¹, Phan Thanh Quang¹

¹ Viện Địa vật lý Ứng dụng, Liên hiệp các Hội Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam

² Viện Địa chất, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

Ngày nhận bài 3.6.2015, ngày chuyển phản biện 8.6.2015, ngày nhận phản biện 3.7.2015, ngày chấp nhận đăng 6.7.2015

Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả tiến hành nghiên cứu đánh giá nguy hiểm nứt sụt đất, trượt lở đất và động đất khu vực công trình thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ, tỉnh Nghệ An. Kết quả cho thấy:

Tại công trình thủy điện Khe Bó: nguy cơ động đất lớn nhất có cấp độ mạnh $M_{max}=6,0$; gia tốc dao động nền cực đại tại nền đập là 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$); nguy cơ nứt sụt đất và trượt lở đất cao tại khu vực lòng hồ; tại tuyến đập nguy cơ nứt sụt đất cao, trong khi nguy cơ trượt lở đất ở mức trung bình.

Trong phạm vi công trình thủy điện Bản Vẽ: nguy cơ động đất lớn nhất có cấp độ mạnh $M_{max}=6,0$; gia tốc dao động nền cực đại tại nền đập là 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$); nguy cơ nứt sụt đất và trượt lở đất rất cao tại khu vực lòng hồ; tại tuyến đập nguy cơ nứt sụt đất trung bình và trượt lở đất rất cao.

Nguy cơ xảy ra động đất kích thích tại vùng hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ hầu như không có. Nếu động đất kiến tạo xảy ra với $M=6,0$ tại khu vực gần hồ Khe Bó và Bản Vẽ cũng sẽ không gây nên hoá lỏng nền đáng kể.

Từ khóa: động đất, động đất kích thích, nứt sụt đất, thủy điện Bản Vẽ, thủy điện Khe Bó, trượt lở đất.

Chỉ số phân loại 1.5

Mở đầu

Khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ (hình 1) có vị trí quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội (KT-XH) ở Nghệ An. Nơi đây có các điều kiện tự nhiên thuận lợi, tài nguyên khoáng sản phong phú và đa dạng. Tuy nhiên, khu vực này thường xuyên gặp không ít những khó khăn do tai biến nứt sụt đất (NSĐ), trượt lở đất (TLĐ) và động đất (ĐĐ) gây nên.

Trong thời gian qua đã có nhiều công trình nghiên cứu vấn đề này, nhưng ở tỷ lệ nhỏ, mức độ nghiên cứu còn khá quát, sơ sài, và theo những khía cạnh nhất định [1-11]. Do đó, chưa có được những kết quả nghiên cứu có độ chi tiết cao phục vụ cho phòng tránh giảm nhẹ thiệt hại do các dạng tai biến gây ra. Đứng trước thực trạng các tai biến NSĐ, TLĐ, ĐĐ đã và đang diễn ra với tần suất lớn, cường độ ngày càng gia tăng, gây nên những hậu quả khó lường đối với an toàn hoạt động của thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ, đề tài nghiên cứu cấp nhà nước "Nghiên cứu địa động lực hiện đại,

đứt gãy hoạt động và tai biến tự nhiên có liên quan (ĐĐ, TLĐ, NSĐ) ở các lưu vực sông Cả - Rào Nậy, đề xuất các biện pháp ứng phó giảm nhẹ thiên tai phục vụ quy hoạch xây dựng các công trình trên khu vực", mã số KC08.11/11-15 đã được triển khai. Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả trình bày một phần nghiên cứu về đánh giá độ nguy hiểm NSĐ, TLĐ và ĐĐ khu vực các công trình thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ ở tỷ lệ 1/50000 [8].

Nguy hiểm NSĐ khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ

Hiện trạng NSĐ

NSĐ khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ chủ yếu được hình thành và phát triển bởi tập hợp các khe nứt kiến tạo hoạt động với những kiểu nguồn gốc khác nhau [7, 8]: khe nứt cắt, khe nứt tách giãn và khe nứt nén ép. Chúng được hình thành và phát triển trong bối cảnh địa động lực hiện đại với trường ứng suất nén ép theo phương á kinh tuyến, kiểu trường là trượt - giãn;

* Tác giả chính: Email: cdtrieu@gmail.com

FRACTURE, LANDSLIDE AND EARTHQUAKE HAZARDS OF THE KHE BO - BAN VE HYDROPOWER AREA

Summary

In this paper, the authors present some results of assessments on fracture, landslide and earthquake hazards of the Khe Bo - Ban Ve Hydropower area, Nghe An Province. The results have shown that:

- *In the Khe Bo Hydropower area:* the earthquake occurrence could reach the maximum magnitude of 6.0 ($M_{max}=6.0$); the maximum ground acceleration of the dam basement gains the value of 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$); the high fracture and landslide hazards belong to the reservoir; meanwhile, along to the dam profile, the fracture hazard is high, and the landslide hazard is at the average level.

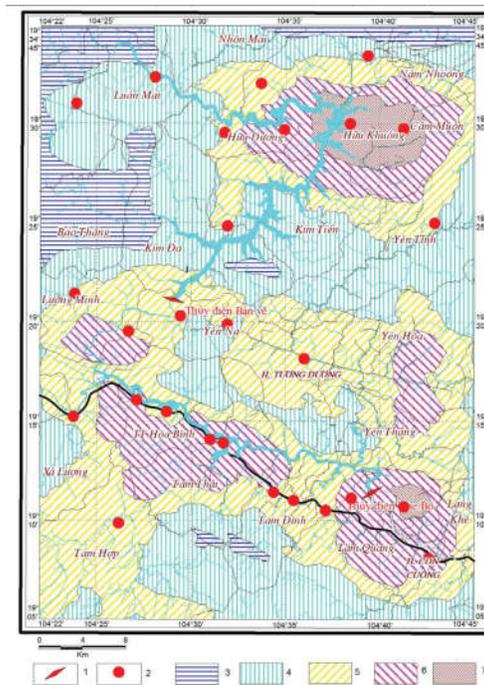
- *In the Ban Ve Hydropower area:* the earthquake occurrence could reach the maximum magnitude of 6.0 ($M_{max}=6.0$); the maximum ground acceleration of the dam basement has the value of 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$); the very high fracture and landslide hazards belong to the reservoir; and along to the dam profile, the fracture hazard is at the average level, but the landslide hazard is at the very high level.

- There is insignificant risk of triggered earthquake occurrence in the Khe Bo and Ban Ve reservoirs. If the natural earthquake occurs near by the Khe Bo and Ban Ve dams with the magnitude 6.0, it cannot cause the remarkable ground liquefaction.

Keywords: Ban Ve Hydropower, earthquake, fracture, Khe Bo Hydropower, landslide, triggered earthquake.

Classification numbers 1.5

hoạt động trượt bằng - thuận của các đứt gãy hoạt động có phương tây bắc - đông nam, tách sứt của các đứt gãy có phương á kinh tuyến. NSĐ bộc lộ rõ ở những điểm nút giao nhau của các đứt gãy hoạt động, nơi mật độ khe nứt hiện đại đạt giá trị lớn. Trong các điểm NSĐ, phần lớn các khe nứt chính đều là những khe nứt cắt có phương tây bắc - đông nam. Các khe nứt phụ là các khe nứt tách giãn có phương á kinh tuyến, khe nứt nén ép có phương á vĩ tuyến và đông bắc - tây nam. NSĐ diễn ra từ lâu, có xu hướng ngày càng gia tăng cả về mức độ và quy mô phân bố trong không gian, gây tổn thất không nhỏ về kinh tế. NSĐ đã nhiều lần phá huỷ các đoạn đường, gây ách tắc giao thông nghiêm trọng (tỉnh lộ, huyện lộ, QL7A); phá huỷ ruộng vườn, nhà cửa, gây nguy hiểm cho nhiều khu dân cư, thậm chí phải di dời. Trong phạm vi khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ đã xác lập 30 điểm NSĐ. Chúng phân bố tập trung thành những dải dọc các đới đứt gãy hoạt động và trong đới ảnh hưởng động lực của chúng. Trong đó nổi lên các đới đứt gãy có phương tây bắc - đông nam Sông Cả, Nậm Non và Nậm Châu (hình 1) [8].



Hình 1: hiện trạng và nguy hiểm NSĐ khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ: 1- Vị trí thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ; 2- Vị trí NSĐ; cấp độ NSĐ: 3- Rất thấp, 4- Thấp, 5- Trung bình, 6- Cao, 7- Rất cao

Nguy hiểm NSĐ

Cơ sở phương pháp luận xây dựng bản đồ nguy hiểm NSĐ khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ là dựa

vào các đặc trưng chủ yếu sau đây [7, 8]: 1) mức độ phá huỷ gây biến dạng các loại đất đá tạo các đới cà nát, xiết ép vỡ vụn; 2) mức độ phá huỷ địa hình thể hiện ở các quá trình địa mạo - tân kiến tạo; 3) mức độ hình thành khe nứt hiện đại, thể hiện ở mật độ khe nứt, đứt gãy; 4) biên độ và tốc độ dịch chuyển của đứt gãy; 5) vai trò phân định các bậc kiến trúc; 6) mức độ phá huỷ các đối tượng trên bề mặt của tai biến NSĐ đã diễn ra (phá huỷ công trình giao thông, xây dựng dân dụng, đê đập, núi, đồi, ruộng vườn).

Kết quả nghiên cứu cho phép rút ra một số nhận định sau (hình 1) [8]:

1- Vùng có nguy hiểm NSĐ rất cao phân bố dọc đới đứt gãy hoạt động Sông Cả. Chuyển dịch của hai cánh đứt gãy đã thúc đẩy phát sinh tai biến NSĐ phát triển. Đoạn Tương Dương - Anh Sơn hoạt động tích cực với biên độ và tốc độ dịch chuyển lớn, mức độ phá huỷ đất đá lớn, mật độ khe nứt, đứt gãy đạt trên 0,372 km/km². Vùng có nguy hiểm NSĐ rất cao tạo thành 2 dải: dải Tương Dương - Anh Sơn và dải Quế Phong - Quỳnh Châu. Dải Tương Dương - Anh Sơn chạy dài theo phương tây bắc - đông nam, có chiều dài khoảng 50 km, rộng từ 10-15 km. Các điểm NSĐ có quy mô lớn phân bố ở huyện Tương Dương, Con Cuông, Anh Sơn và Quỳnh Châu.

2- Nằm trong phạm vi ảnh hưởng của đới đứt gãy Sông Cả nên nguy cơ NSĐ cao tại khu vực lòng hồ (gần thị trấn Hòa Bình) và tuyến đập (Tam Quang) của công trình thủy điện Khe Bó.

3- Đối với công trình thủy điện Bản Vẽ thì nguy cơ NSĐ rất cao nằm ở khu vực trung tâm lòng hồ (tại Hữu Khuông), trung bình tại tuyến đập.

Nguy hiểm TLĐ khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ

Hiện trạng TLĐ

Trên khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ, TLĐ diễn ra có xu hướng ngày càng gia tăng cả về mức độ và quy mô phân bố trong không gian, gây tổn thất không nhỏ về kinh tế (hình 2) [7, 8]. TLĐ chủ yếu diễn ra trong các vỏ phong hoá của các thành tạo biến chất, có chiều dày lớn (>20 m) và trong các thành tạo cacbonat.

Mật độ TLĐ lớn tập trung ở dọc đới ảnh hưởng động lực đứt gãy và những nơi có vỏ phong hoá dày. Trên địa bàn các xã Mai Sơn, Mường Lống, Luân Mai, Bảo Thắng, Luông Minh, Yên Na, Thạch Giám, Tam Thái, Tam Định, TLĐ phân bố rải rác dọc theo một số đứt gãy hoạt động có phương tây bắc - đông nam và đông bắc - tây nam. TLĐ diễn ra khá mạnh mẽ dọc theo tuyến QL7 từ Con Cuông đến cửa khẩu Nậm Cắn (bản Tiên Tiêu, xã Nậm Cắn, huyện Kỳ Sơn, đất đá bên taluy dương và âm QL7 bị trượt sụt kéo dài làm hỏng đoạn đường dài 250 m). Đặc biệt, 120 hộ dân thuộc khu tái định cư của thủy điện Bản Vẽ nằm tại khu vực bản Khe Choóng, xã Yên Na, huyện Tương Dương bị đất đá sụt xuống, đổ ập vào nhà, làm nứt tường, gây nguy hiểm đến tính mạng người dân, buộc 8 hộ dân ở đây phải di lánh nạn, 24 hộ khác đang ở trong khu vực có nguy hiểm TLĐ cao.

Nguy hiểm TLĐ

Cơ sở phương pháp luận thành lập bản đồ độ nguy hiểm TLĐ khu vực công trình thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ được mô tả chi tiết trong [7, 8]. Các yếu tố tác động đối với TLĐ gồm: đặc điểm độ dốc sườn; mật độ chia cắt sâu địa hình; mật độ chia cắt ngang địa hình; vỏ phong hoá; đặc điểm địa chất thủy văn; đặc điểm đứt gãy hoạt động.

Trên cơ sở phân tích tổng hợp hiện trạng TLĐ, xác lập mối quan hệ của hiện trạng TLĐ đối với từng yếu tố tác động phát sinh cho phép xây dựng bản đồ nguy hiểm TLĐ khu vực công trình thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ. Kết quả nghiên cứu cho thấy [8]:

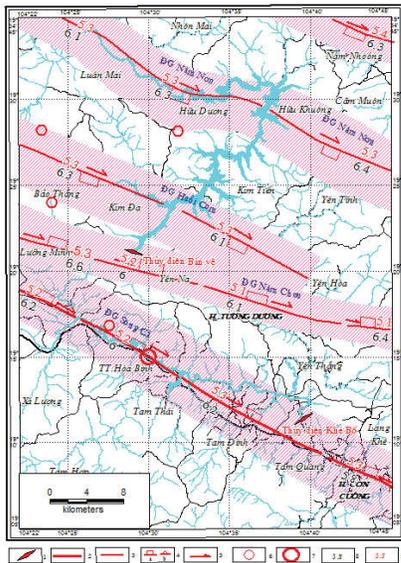
1- Đối với công trình thủy điện Khe Bó: khu vực lòng hồ chịu ảnh hưởng TLĐ cao; nguy cơ TLĐ tại tuyến đập ở mức trung bình.

2- Đối với công trình thủy điện Bản vẽ: khu vực lòng hồ chịu ảnh hưởng TLĐ từ trung bình đến rất cao, đặc biệt là tại Hữu Khuông có nguy cơ lở đá; nguy cơ TLĐ tại tuyến đập ở mức rất cao, điểm sạt lở nghiêm trọng tại Bản Vẽ nằm ở hạ du tuyến đập.

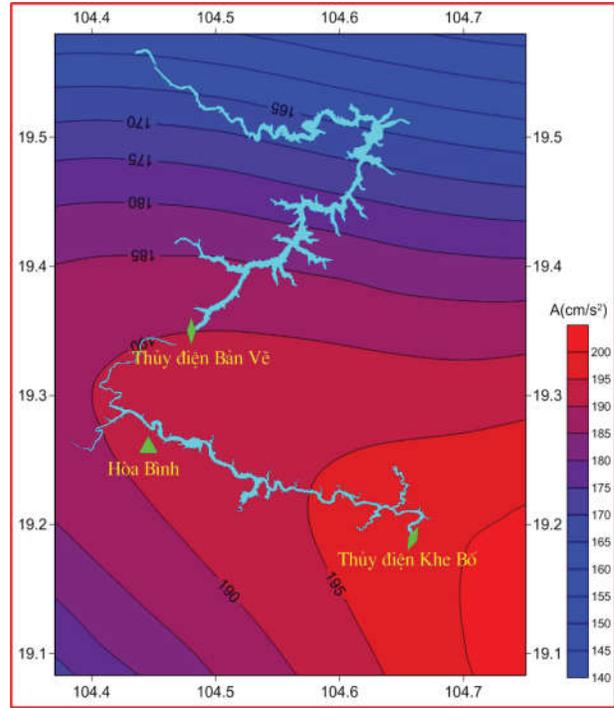
từ 190 cm/s^2 ($\text{PGA}=190 \text{ cm/s}^2$) đến trên 290 cm/s^2 ($\text{PGA}=290 \text{ cm/s}^2$). Kết quả xác định độ nguy hiểm ĐĐ theo tiếp cận tất định mới cho thấy gia tốc dao động nền cực đại (A_{max}) thay đổi từ $80 \div 240 \text{ cm/s}^2$. Tương đương với cường độ chấn động từ cấp VI đến VIII theo thang cường độ chấn động MSK-64.

2. Công trình thủy điện Khe Bó chịu ảnh hưởng trực tiếp của đoạn nguồn thuộc vùng nguồn Sông Cả và với nguy cơ ĐĐ lớn nhất có cấp độ mạnh tối đa là 6,0 (theo Coulomb là 5,3 và theo tất định mới là 6,0). Với chu kỳ lặp lại ĐĐ 500 năm, gia tốc dao động nền tại nền đập là 280 cm/s^2 ($\text{PGA}=280 \text{ cm/s}^2$). Theo kết quả tính toán dự báo cực đoạn (tiếp cận tất định mới) thì tại nền đập thủy điện Khe Bó có giá trị gia tốc dao động nền là 210 cm/s^2 ($\text{PGA}=210 \text{ cm/s}^2$).

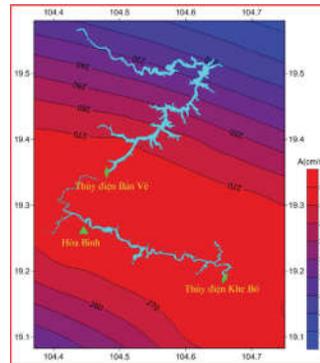
3. Công trình thủy điện Bản Vẽ chịu ảnh hưởng trực tiếp của đoạn nguồn thuộc vùng nguồn Nậm Châu và với nguy cơ ĐĐ lớn nhất có cấp độ mạnh tối đa là 6,0 (theo Coulomb là 5,2 và theo tất định mới là 6,0). Với chu kỳ lặp lại ĐĐ 500 năm, gia tốc dao động nền tại nền đập là 280 cm/s^2 ($\text{PGA}=280 \text{ cm/s}^2$). Theo kết quả tính toán dự báo cực đoạn (tiếp cận tất định mới) thì tại nền đập thủy điện Bản Vẽ có giá trị gia tốc dao động nền là 210 cm/s^2 ($\text{PGA}=210 \text{ cm/s}^2$).



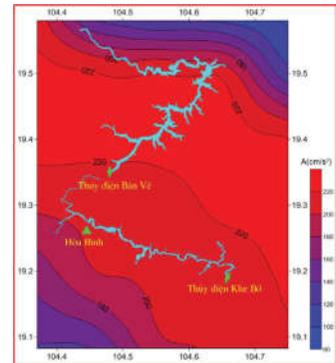
Hình 3: nguồn phát sinh ĐĐ khu vực Khe Bó - Bản Vẽ:
 1- Vị trí thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ; 2- Đứt gãy cấp 2;
 3- Đứt gãy cấp 3; 4- Góc cắm đứt gãy a: đứt gãy thuận, b: đứt gãy nghịch;
 5- Phương dịch chuyển đứt gãy; 6- Chấn tâm ĐĐ $M=3-4$; 7- Chấn tâm ĐĐ $M=5-6$; 7- M_{max} tính theo coulomb; 8- M_{max} tính theo coppersmith



Hình 4: gia tốc dao động nền khu vực Khe Bó - Bản Vẽ tính toán với chu kỳ lặp lại ĐĐ 150 năm



Hình 5: gia tốc dao động nền khu vực Khe Bó - Bản Vẽ tính toán với chu kỳ lặp lại ĐĐ 500 năm



Hình 6: dự báo gia tốc dao động nền cực đại khu vực Khe Bó - Bản Vẽ tính toán trên cơ sở tiếp cận tất định mới

Nguy cơ hoá lỏng nền khu vực thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ

Phương pháp luận đánh giá nguy cơ TLĐ và nguy cơ hoá lỏng nền do ĐĐ gây ra tại công trình thủy điện Khe Bó và Bản vẽ được đề cập chi tiết trong [8].

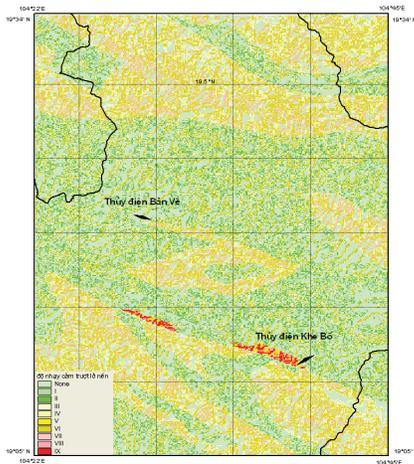
Nguy cơ TLD do ĐĐ gây ra:

Nguy cơ TLĐ do ĐĐ cực đại gây ra được xác định trong hình 7 (theo nhạy cảm trượt lở nền) và hình 8 (theo xác suất trượt lở nền). Kết quả cho thấy:

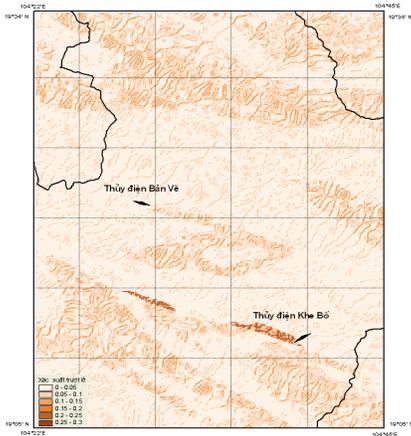
- Nhà máy thủy điện Bản Vẽ và nhà máy thủy điện Khe Bó nằm trên những vị trí có khả năng trượt lở nền khác nhau khi ĐĐ xảy ra.

- Nhà máy thủy điện Khe Bó nằm ở vị trí khá an toàn, có độ nhạy cảm trượt lở nền cấp IV trên thang đo IX cấp và với xác suất trượt lở không vượt quá 10%.

- Trong khi đó, nhà máy thủy điện Bản Vẽ nằm ở ranh giới giữa hai vùng có độ nhạy cảm trượt lở cấp V và cấp IX, với xác suất trượt lở cực đại vào khoảng 25%.



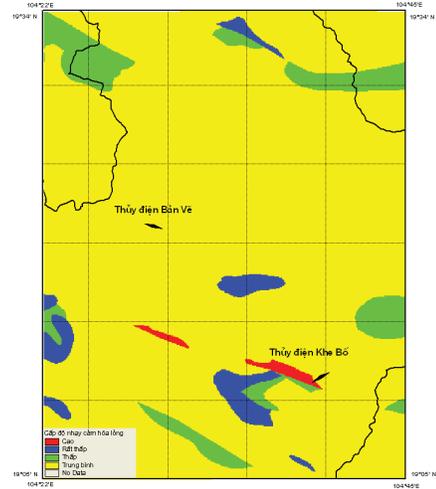
Hình 7: bản đồ độ nhạy cảm trượt lở nền khu vực Khe Bó - Bản Vẽ



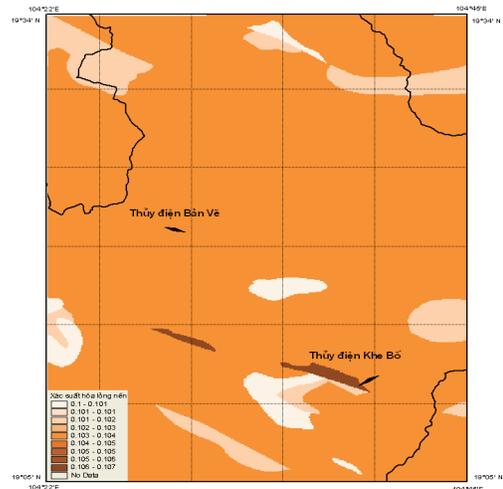
Hình 8: bản đồ xác suất trượt lở nền khu vực Khe Bó - Bản Vẽ

Nguy cơ hoá lỏng nền:

Bản đồ nguy cơ (độ nhạy cảm) hoá lỏng nền được xây dựng theo hai yếu tố là: độ nhạy cảm và xác suất (hình 9 và hình 10). Kết quả cho thấy, khả năng hoá lỏng nền do ĐĐ tại hai nhà máy thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ chỉ ở mức nhạy cảm thấp và xác suất dưới 10%.



Hình 9: bản đồ độ nhạy cảm hóa lỏng nền do ĐĐ khu vực Khe Bó - Bản Vẽ. Các ký hiệu màu đen biểu thị vị trí hai nhà máy thủy điện



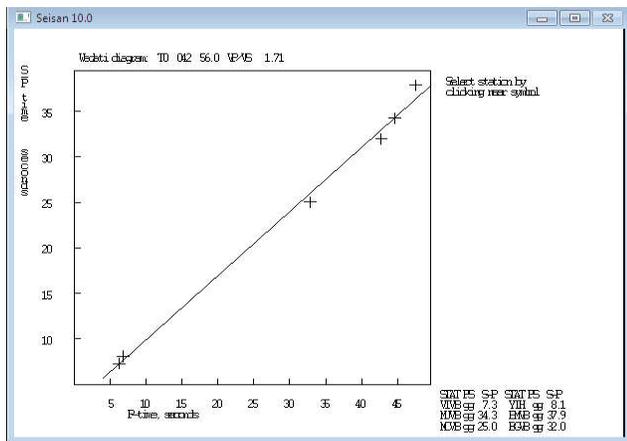
Hình 10: bản đồ xác suất hóa lỏng nền do ĐĐ khu vực Khe Bó - Bản Vẽ. Các ký hiệu màu đen biểu thị vị trí hai nhà máy thủy điện

Độ nguy hiểm ĐĐ kích thích hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ

Hoạt động ĐĐ hồ thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ năm 2012-2014:

Trong 3 năm thực hiện nhiệm vụ “Quan trắc biến động môi trường sinh chấn khu vực nhà máy thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ trong quá trình tích nước và hoạt động” thuộc đề tài KC08.11/11-15, mạng lưới trạm địa chấn vùng hồ thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ (gồm 4 trạm) đã ghi được gần 200 trận ĐĐ lớn nhỏ tại khu vực Khe Bó - Bản Vẽ và lân cận [8]. Các ĐĐ ghi được chủ yếu tập trung dọc theo hệ thống đứt gãy Sông Cả và lân cận, chỉ một số ít trận ĐĐ tập trung ở khu vực hồ thủy điện Khe Bó và hồ thủy điện Bản Vẽ.

Từ những số liệu quan trắc ĐĐ năm 2012-2014, chúng tôi tính toán tỷ số V_p/V_s cho trận ĐĐ M=3,2 ngày 30.6.2012. Kết quả tính toán được trình bày trên hình 11.



Hình 11: đồ thị Wadati xác định tỷ số vận tốc V_p/V_s .
Kết quả tập hợp cho khu vực nghiên cứu xác định $V_p/V_s = 1,71$

Kết quả cho thấy, tỷ số V_p/V_s trung bình cho khu vực nghiên cứu là 1,71. Giá trị này xấp xỉ giá trị trung bình tỷ số V_p/V_s của Bắc Việt Nam. Nó phản ánh tính đập vỡ kém của lớp sinh chấn trong khu vực hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ (trong môi trường đồng nhất giá trị V_p/V_s xấp xỉ 7,3). Đối với động đất hồ thủy điện Sông Tranh 2, ĐĐ kích thích xảy ra trong đới đập vỡ, nơi có V_p/V_s biến động trong giới hạn 1,63-1,67. Điều này cũng chứng minh một điều rằng nguy cơ thấm thấu nước dọc đới đứt gãy làm thay đổi trạng thái ứng suất, nguyên nhân chủ yếu gây nên ĐĐ kích thích tại hai hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ là rất thấp.

Tác động của việc tích nước gây nên độ lún và ứng suất gia tăng lòng hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ:

Giá trị độ lún và ứng suất gia tăng lên đáy hồ thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ được tính toán ở mức độ sâu 1, 3 và 5 km. Các thông số lòng hồ được sử dụng trong tính toán gồm [8]:

- Hồ thủy điện Khe Bó: diện tích mặt thoáng hồ 9,324 km², mực nước dâng bình thường 65 m, dung tích hồ chứa 97,8 triệu m³.

- Hồ thủy điện Bản Vẽ: diện tích mặt thoáng hồ 45,74 km², mực nước dâng bình thường 200 m, dung tích chứa 1,8 tỷ m³.

Kết quả tính được đề cập trong bảng 1 và bảng 2 cho thấy:

- Tại trung tâm hồ thủy điện Bản Vẽ có độ lún lòng hồ tối đa đạt 0,0159 m, trong khi tại trung tâm lòng hồ Khe Bó chỉ đạt 0,036 m.

- Ứng suất gia tăng tối đa, đạt giá trị 2,7395 bar tại lòng hồ Bản Vẽ và 0,3079 bar tại lòng hồ Khe Bó.

- Với giá trị ứng suất gia tăng rất nhỏ này sẽ không trực tiếp gây ra ĐĐ mà nó chỉ có giá trị thúc đẩy mức độ thấm thấu nước xuống sâu hơn dọc theo các đới đập vỡ kiến tạo liên thông hồ. Nước thấm sâu xuống dưới gây nên thay đổi ứng suất lỗ rỗng, làm thay đổi tính chất của đá theo chiều hướng xuất hiện ĐĐ sớm hơn. Trong thực tế, việc tích nước lên cao trình tối đa của hồ thủy điện Bản Vẽ và Khe Bó đã không xảy ra hiện tượng thay đổi môi trường sinh chấn tại đây (tỷ số V_p/V_s không thay đổi). Điều đó chứng tỏ rằng việc tích nước đã không gây ảnh hưởng đáng kể đến môi trường sinh chấn nên nguy cơ phát sinh ĐĐ cũng sẽ là rất thấp.

Bảng 1: độ lún và ứng suất gia tăng lòng hồ thủy điện Khe Bó

Độ sâu (km)	Ứng suất pháp tuyến gia tăng cực đại s_{zmax} (bar)	Ứng suất tiếp tuyến gia tăng cực đại t_{max} (bar)	Độ lún đàn hồi cực đại d_{max} (m)
1	0,3079	0,1547	0,0026
3	0,1166	0,0678	0,0032
5	0,0740	0,0445	0,0036

Bảng 2: độ lún và ứng suất gia tăng lòng hồ thủy điện Bản Vẽ

Độ sâu (km)	Ứng suất pháp tuyến gia tăng cực đại s_{zmax} (bar)	Ứng suất tiếp tuyến gia tăng cực đại t_{max} (bar)	Độ lún đàn hồi cực đại d_{max} (m)
1	2,7395	1,5358	0,0159
3	1,1660	0,6705	0,0126
5	0,7399	0,4380	0,0106

Kết luận về nguy cơ ĐĐ kích thích và độ nhạy cảm về TLD và hoá lỏng nền do ĐĐ gây ra:

Trên cơ sở tính toán tỷ số vận tốc V_p/V_s đối với ĐĐ trước và sau khi tích nước đến cao trình tối đa, giá trị ứng suất gia tăng của cột nước tối đa và độ nhạy cảm trượt lở nền trong ĐĐ công trình thủy điện Khe Bó và Bản Vẽ cho thấy: V_p/V_s không thay đổi sau khi các

hồ thủy điện tích nước đến cao trình tối đa; ứng suất gia tăng lên đáy hồ là nhỏ hơn 3,0 bar và độ nhạy cảm TLĐ là rất nhỏ [8]. Điều đó chứng tỏ rằng, nguy cơ xảy ra ĐĐ kích thích tại vùng hồ thủy điện Khe Bó và Bản vẽ hầu như không có. Nếu ĐĐ kiến tạo xảy ra tại khu vực gần hồ Khe Bó và Bản Vẽ cũng sẽ không gây nên hoá lỏng nền đáng kể.

Kết luận

1. Trong phạm vi khu vực công trình thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ tồn tại 5 vùng nguồn phát sinh ĐĐ (Sông Cả, Nậm Chou, Huổi Com, Nậm Nôm và Nậm Chóng) với cấp độ mạnh của ĐĐ có nguy cơ xảy ra tối đa (dự báo cực đoan) là 6,6. Trên mỗi vùng nguồn tồn tại các đoạn nguồn khác nhau và mức độ hoạt động ĐĐ cũng khác nhau. NSĐ và TLĐ xảy ra mạnh mẽ trong phạm vi hoạt động của các đứt gãy được xác định là các vùng nguồn phát sinh ĐĐ này.

2. Công trình thủy điện Khe Bó nằm trong phạm vi ảnh hưởng của đứt gãy hoạt động Sông Cả. Nguy cơ ĐĐ lớn nhất có cấp độ mạnh $M_{max}=6,0$. Gia tốc dao động nền cực đại tại nền đập là 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$). Nguy cơ NSĐ và TLĐ cao tại khu vực lòng hồ. Tại tuyến đập nguy cơ NSĐ cao trong khi nguy cơ TLĐ ở mức trung bình.

3. Nằm trong phạm vi ảnh hưởng của đứt gãy Nậm Chou nên công trình thủy điện Bản Vẽ chịu tác động của hoạt động ĐĐ, NSĐ và TLĐ khá mạnh mẽ: nguy cơ ĐĐ lớn nhất có cấp độ mạnh $M_{max}=6,0$; gia tốc dao động nền cực đại tại nền đập là 210 cm/s^2 ($PGA=210 \text{ cm/s}^2$); nguy cơ NSĐ và TLĐ rất cao tại khu vực lòng hồ. Tại tuyến đập, nguy cơ NSĐ trung bình và TLĐ rất cao.

4. Nguy cơ xảy ra ĐĐ kích thích tại vùng hồ thủy điện Khe Bó và Bản vẽ hầu như không có. Nếu ĐĐ kiến tạo xảy ra tại khu vực gần hồ Khe Bó và Bản Vẽ cũng sẽ không gây nên hoá lỏng nền đáng kể.

Tài liệu tham khảo

[1] Nguyễn Hồng Phương (2004), “Bản đồ độ nguy hiểm ĐĐ Việt Nam và biển Đông”, *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, **26(2)**, tr.97-111.

[2] Thái Anh Tuấn, Nguyễn Đức Vinh (2013), “Dự báo độ nguy hiểm ĐĐ lưu vực Sông Cả - Rào Nậy trên cơ sở tiếp cận tất định mới”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **13(3A)**, tr.9-16.

[3] Cao Đình Triều (2010), *Tai biến động đất ở Việt Nam*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 304 trang.

[4] Cao Đình Triều, Franko V, Nguyễn Hữu Tuyên, Nguyễn Thế Hùng (2009), “Nghiên cứu tai biến ĐĐ ở Việt Nam trên cơ sở phương pháp tất định mới”, *Tạp chí Địa chất*, loạt A, **314(9-10)**, tr.56-62.

[5] Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Bùi Anh Nam, Cao Đình Trọng, Mai Thị Hồng Thắm (2013), “Một số nét về đặc điểm địa chấn kiến tạo lưu vực Sông Cả - Rào Nậy”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **13(3A)**, tr.183-191.

[6] Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Cao Đình Trọng, Phạm Nan Hưng, Thái Anh Tuấn, Mai Xuân Bách, *Tai biến địa chấn lưu vực Sông Cả - Rào Nậy*, NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 188 trang.

[7] Cao Đình Triều, Phạm Văn Hùng (2012), *Tai biến địa chất Nghệ An và Hà Tĩnh*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 172 trang.

[8] Cao Đình Triều (chủ biên) và nnk (2015), “Nghiên cứu địa động lực hiện đại, đứt gãy hoạt động và tai biến tự nhiên liên quan (ĐĐ, TLĐ, NSĐ) ở các lưu vực Sông Cả - Rào Nậy, đề xuất các biện pháp ứng phó giảm nhẹ thiên tai phục vụ quy hoạch xây dựng các công trình trên khu vực”, *Báo cáo tổng kết đề tài KC08.11/11-15*, 355 trang (lưu Viện Vật lý địa cầu).

[9] Lê Tử Sơn và nnk (2005), *Phân vùng nhỏ ĐĐ khu vực công trình thủy điện Khe Bó*, 100 trang (lưu Viện Vật lý địa cầu).

[10] Nguyễn Ngọc Thủy và nnk (2004), *Phân vùng nhỏ ĐĐ khu vực công trình thủy điện Bản Lã (Bản Vẽ)*, 68 trang (lưu Viện Vật lý địa cầu).

[11] Thái Anh Tuấn, Lê Văn Dũng, Mai Xuân Bách (2011), “Đánh giá độ nguy hiểm ĐĐ khu vực thành phố Hà Nội và lân cận trên cơ sở thuật toán tất định mới”, *Tạp chí Các khoa học về trái đất*, **33(2)**, tr.200-208.

[12] Fäh D, Suhadolc P, Mueller, Panza G.F (1994), “A hybrid method for the estimation of ground motion in sedimentary basins; quantitative modelling for Mexico City”, *Bull. Seism. Soc. Am*, **84**, pp.383-399.

[13] Giuliano F Panza (1985), “Synthetic seismograms: The Rayleigh waves modal summation”, *J. Geophysics*, **58**, pp.125-145.

[14] Giuliano F Panza, Fabio Romanelli, Franco Vaccari (2000), “Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media”, *Theory and applications to seismic zonation, Trieste*, pp.122.

[15] University of Trieste (2004), “GNDT Deterministic Seismic Zoning Reference Guide (version 0.5.4)”, *University of Trieste*, pp.68.