



Một số yếu tố liên quan đến sự xuất hiện của động đất khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 giai đoạn 2011-2014

Bùi Văn Duẩn*, Hà Thị Giang, Nguyễn Ánh Dương, Phạm Đình Nguyên

Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Chấp nhận đăng: 20 - 9 - 2015

ABSTRACT

About factors related to the occurrence of earthquakes in the Song Tranh 2 hydropower area in period 2011-2014

This article focuses on analysis of the relationship between the occurrence of earthquakes in Song Tranh 2 reservoir area in period 2011-2014 and factors: (1) Fault locations and features in the reservoir area; (2) The incremental stress caused by reservoir loads; (3) The slip-tendency of faults in the reservoir area. Methods of analysis of geological maps, tectonic documents, earthquake data; calculation of incremental stress caused by reservoir loads; assessment of the effects of oscillating reservoir loads on major faults; the slip-tendency analysis on a fault surface are used for this goal. The obtained results indicate that the aforementioned factors have interacted with each other and significantly contributed to the occurrence of earthquakes in the study area. Faults of NW-SE directions within the reservoir area have the advantageous location and mechanism for slip process when they are affected by oscillating reservoir loads. Moreover, reservoir loads have significantly increased stress of rocks under the bottom of the reservoir. These provide explanations for the fact that most reservoir-induced earthquakes occurred in the Song Tranh 2 hydropower reservoir area (including event M4,7 occurred on 15 December 2012) are related to the activity of faults of NW-SE directions.

©2015 Vietnam Academy of Science and Technology

1. Mở đầu

Hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 được xây dựng trên địa bàn hai huyện Bắc Trà My và Nam Trà My, tỉnh Quảng Nam. Hồ chứa nằm trên sông Tranh thuộc hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn, một trong những hệ thống sông lớn có tiềm năng thủy điện đứng vào hàng thứ tư trong cả nước. Sông Tranh bắt nguồn từ núi Ngọc Linh cao 2598m thuộc huyện Đăk Glei, tỉnh Kon Tum chảy qua các huyện Nam Trà My, Bắc Trà My, Tiên Phước, Hiệp Đức của tỉnh Quảng Nam và chảy ngược lên phía Bắc. Khi đi qua đây, sông nhận thêm nước của nhiều chi lưu do các sông và suối nhỏ đổ vào.

Diện tích lòng hồ nằm trên địa bàn các xã Trà Đốc, Trà Bui, Trà Tân, Trà Giác, Trà Leng, Trà Đơn và Trà Mai. Hồ chứa có cao trình thiết kế tích nước 175m, dung tích hồ chứa 0,7292 tỷ m³, chiều cao đập 96m.

Hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 bắt đầu được tích nước vào ngày 29/11/2010. Đến tháng 3/2011 ở khu vực Bắc Trà My thấy xuất hiện những rung động nhẹ kèm theo tiếng nổ. Ngày 03/11/2011, hồ chứa được tích nước đến cao trình 175m. Sau đó, động đất xảy ra nhiều và rõ ràng hơn, điển hình là trận động đất với độ lớn M=3,4 xảy ra ngày 17/11/2011. Cuối tháng 11/2012, do động đất xảy ra nhiều và xuất hiện hiện tượng thấm nước qua hệ thống khe nhiệt ở thân đập chính nên nước hồ được xả bớt đến cao trình 140m (mức nước chết)

*Tác giả liên hệ, Email: buivanduan77@yahoo.com

để theo dõi và xử lý. Từ đó đến nay, việc tích nước đến cao trình thiết kế chưa được lặp lại và hồ chứa chỉ tích nước dao động trong khoảng 140m - 165m. Tuy nhiên, hệ thống trạm quan trắc động đất của Viện Vật lý Địa cầu vẫn ghi nhận được rất nhiều động đất xảy ra ở khu vực Bắc Trà My, lớn nhất trong số đó là trận động đất với độ lớn $M=4,7$ xảy ra ngày 15/12/2012. Các trận động đất này được các nhà khoa học đánh giá là động đất kích thích, liên quan tới việc tích nước hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 (P.T. Trinh, 2012; L.H. Minh, 2012; C.Đ. Triều và nnk, 2013; L.T.T. Hoài và nnk, 2014; Wiszniowski et al., 2015; N.V. Giang et al., 2015). Trong bối cảnh đã nêu, việc nghiên cứu các yếu tố liên quan đến hoạt động động đất ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 thời gian vừa qua là cần thiết.

Các kết quả nghiên cứu về động đất kích thích hồ chứa trước đây (Carder, 1970; Gough & Gough, 1970a, 1970b; Gupta et al., 1972a, 1972b; Nikolaev, 1974; Bell & Nur, 1978; Roeloffs, 1988; Talwani, 1997b; Qiu, 2012; Qiu & Fenton, 2015;...) đã đề cập đến một loạt các yếu tố có đóng góp trong việc kích hoạt động đất xảy ra. Nghiên cứu này sẽ tập trung phân tích, đánh giá ba yếu tố quan trọng trong điều kiện cụ thể của khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2. Đó là: (i) vị trí và đặc trưng của các đứt gãy liên thông với hồ chứa; (ii) ứng suất gia tăng do tải trọng nước của hồ chứa; (iii) xu hướng trượt của các đứt gãy trong phạm vi hồ chứa. Mục đích chính là nhằm đưa ra giải thích đối với hoạt động động đất tại hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 trong thời gian vừa qua.

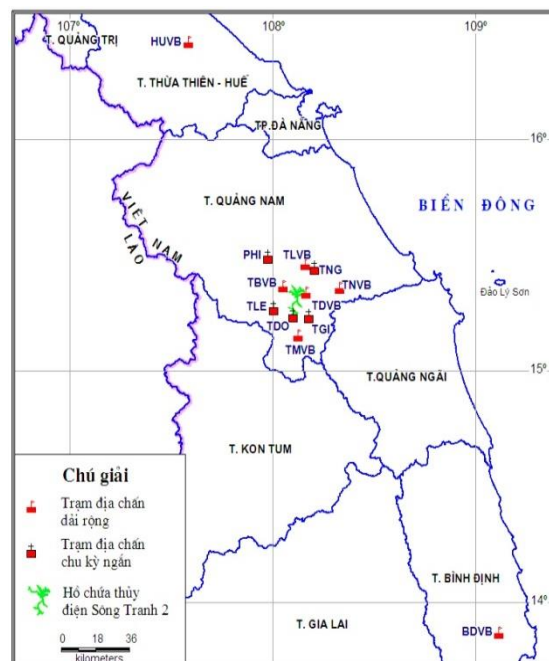
2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Các tài liệu về địa chất, kiến tạo đứt gãy, ảnh mô hình số độ cao sử dụng cho nghiên cứu này được thu thập từ các nguồn khác nhau như: N.V. Trang (1996, 1997); P.V. Hùng (2001, 2004, 2010); P.Đ. Nguyễn, 2014; L.T.T. Hoài và nnk. (2014); <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>; <http://www.geomapapp.org/>.

Tài liệu về động đất sử dụng cho nghiên cứu được ghi nhận bởi hệ thống các trạm địa chấn do Viện Vật lý Địa cầu và các đối tác thiết lập trong các giai đoạn khác nhau. Từ tháng 1/2011 đến tháng 10/2012 hoạt động động đất ở khu vực thủy

điện Sông Tranh 2 được ghi nhận bởi 2 trạm địa chấn Huế (HUVB) và Bình Định (BDVB). Đây là 2 trạm địa chấn dải rộng được lắp đặt từ năm 2008 nằm trong hệ thống mạng trạm địa chấn Quốc gia của Việt Nam. Trong khuôn khổ thực hiện đề tài độc lập cấp Nhà nước mã số ĐTDL. 2012-G/57, tháng 10/2012 Viện Vật lý Địa cầu phối hợp cùng Tập đoàn Điện lực Việt Nam lắp đặt thêm 5 trạm địa chấn dải rộng (TDVB, TNVB, TLVB, TMVB, TBVB) ở xung quanh khu vực thủy điện Sông Tranh 2 để quan trắc động đất ở đây. Tiếp theo đến tháng 8/2013, trong khuôn khổ hợp tác quốc tế với Viện Vật lý Địa cầu Vacsava, Ba Lan của đề tài nêu trên, hệ thống mạng trạm địa chấn ở xung quanh khu vực thủy điện Sông Tranh 2 được tăng cường thêm 5 trạm địa chấn chu kỳ ngắn (TLE, TDO, TGI, PHI, TNG) (N.V. Giang et al., 2015). Vị trí các trạm địa chấn quan trắc thủy động đất ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2 được thể hiện ở hình 1, thông tin chi tiết được đưa ra ở bảng 1. Hệ thống 10 trạm địa chấn này bao quanh khu vực thủy điện Sông Tranh 2 cùng với trạm Huế và trạm Bình Định đã cung cấp một tập số liệu rất đầy đủ và có chất lượng cao, phục vụ tốt việc quan sát hoạt động động đất tại đây.



Hình 1. Hệ thống mạng trạm quan trắc động đất ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2

Bảng 1. Thông tin về vị trí các trạm địa chấn quan trắc thấy động đất ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2 qua từng thời kỳ

STT	Tên trạm	Code	Vĩ độ	Kinh độ	Cao độ (m)	Máy ghi / Đầu thu
Từ 01/2011 đến nay						
1	Huế	HUVB	16,416	107,569	20	Q330 / Trillium - 40
2	Bình Định	BDVB	13,865	109,111	61	Q330HRS / STS-2
Từ 10/2012 đến nay						
1	Trà Đốc	TDVB	15,334	108,163	113	Q330/Trillium - 40; Guralp CMG -6TD
2	Trà Nú	TNVB	15,356	108,327	126	SAMTAC/Guralp; Guralp CMG -6TD
3	Tiên Lãnh	TLVB	15,496	108,120	325	SAMTAC/Guralp; Guralp CMG -6TD
4	Trà Mai	TMVB	15,148	108,120	202	SAMTAC/Guralp; Guralp CMG -6TD
5	Trà Bui	TBVB	15,367	108,050	224	SAMTAC/Guralp; Guralp CMG -6TD
Từ 8/2013 đến nay						
1	Trà Leng	TLE	15,272	108,023	192	NDL / LE-3DLite
2	Trà Don	TDO	15,243	108,085	185	NDL / LE-3DLite
3	Trà Giác	TGI	15,240	108,176	328	NDL / LE-3DLite
4	Phước Hiệp	PHI	15,495	107,977	56	NDL / LE-3DLite
5	Tiên Ngọc	TNG	15,447	108,204	97	NDL / LE-3DLite

Trước khi 10 trạm địa chấn địa phương tại khu vực thủy điện Sông Tranh 2 được lắp đặt, do hai trạm địa chấn Huế và Bình Định nằm khá xa khu vực nghiên cứu nên số liệu ghi nhận về hoạt động động đất tại đây rất hạn chế. Từ tháng 10/2012, với hệ thống 5 trạm quan sát động đất được lắp đặt ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2, số liệu quan trắc hoạt động động đất ở đây đã được cải thiện rõ rệt. Từ tháng 8/2013 đến nay, với hệ thống 10 trạm địa chấn bố trí quanh khu vực thủy điện Sông Tranh 2, hoạt động động đất tại đây đã được ghi nhận đầy đủ hơn trước rất nhiều, kể cả những trận động đất có độ lớn (magnitude) rất nhỏ cỡ $M_L=0,3$ (N.V. Giang et al., 2015). Từ tháng 11/2011 đến tháng 7/2014 đã ghi nhận được 100 trận động đất có độ lớn $M_L \geq 2$ (xem Phụ lục). Phân bố của các trận động đất này được thể hiện trên hình 2. Chấn tâm động đất tập trung phần lớn ở khu vực phía bắc - tây bắc của hồ chứa, chấn tiêu của động đất tập trung chủ yếu ở độ sâu từ 4 đến 7km.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

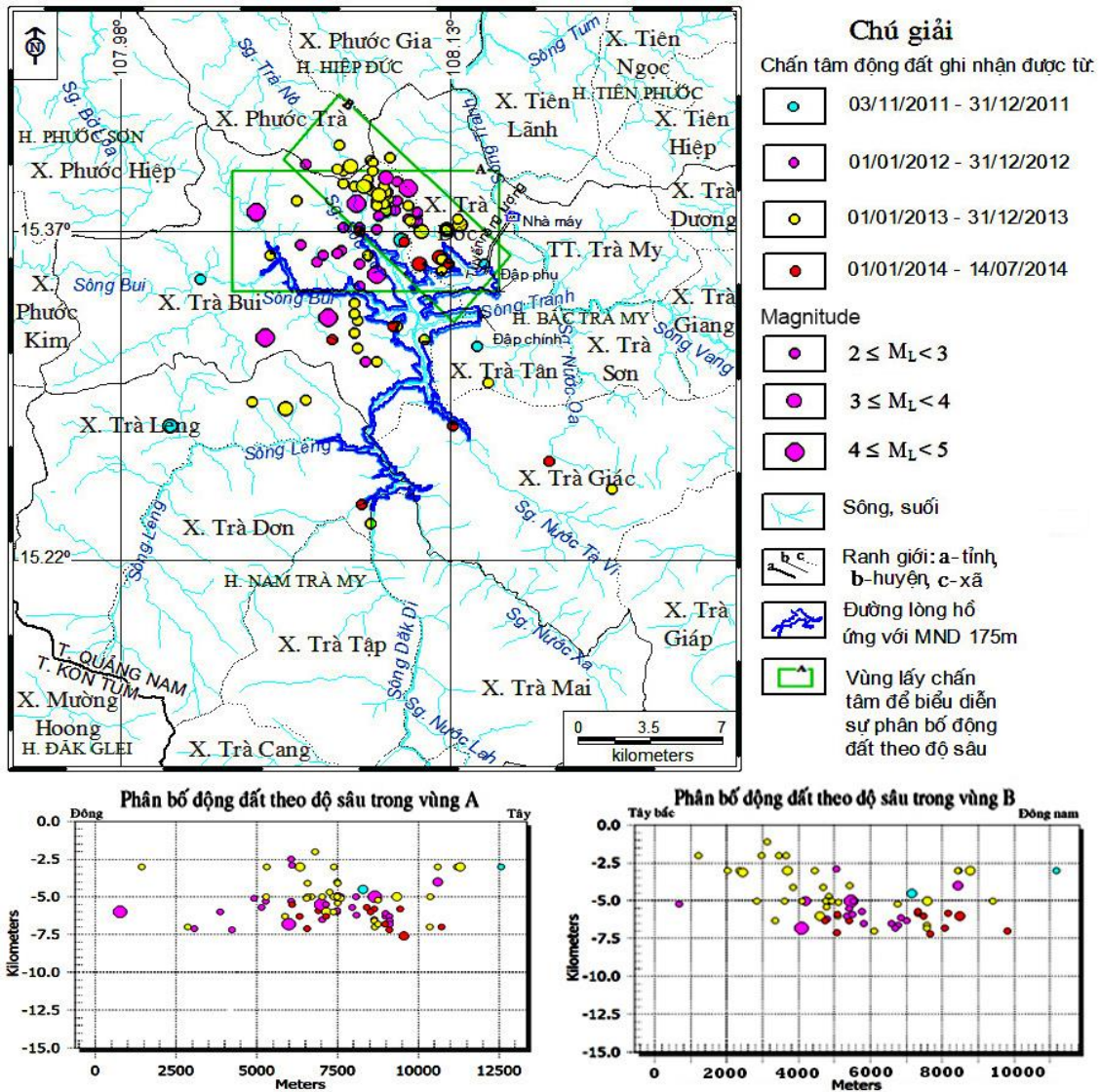
Bên cạnh các phương pháp truyền thống như phân tích bản đồ địa chất, phân tích tài liệu kiến tạo, phân tích tài liệu động đất, trong nghiên cứu này còn sử dụng một số phương pháp sau đây:

- Phương pháp tính ứng suất gia tăng dưới đáy hồ chứa do tải trọng nước gây ra: Cơ sở chi tiết về phương pháp và thuật toán được đưa ra trong

Gough & Gough (1970a). Phương pháp cho phép tính ứng suất gia tăng dưới đáy hồ chứa do tải trọng nước gây ra theo các thành phần khác nhau trong không gian 3D. Phương pháp được T.D. Trí (2004) sử dụng để phát triển Chương trình tính toán độ lún đàn hồi và ứng suất gia tăng của đất đá dưới đáy hồ chứa theo bài toán 2D và 3D (Incremental Stress and Deflection in the 2D and 3D Lake) và đã được áp dụng tính toán thành công cho hồ chứa thủy điện Hòa Bình, Sơn La (N. Đ. Xuyên và nnk., 2005; N.T. Tùng và B.V. Duẩn, 2007).

- Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của dao động tải trọng hồ chứa trên các đứt gãy dựa vào vị trí và đặc trưng của đứt gãy nêu ra trong Roeloffs (1988).

- Phương pháp phân tích xu hướng trượt trên bề mặt đứt gãy: Phương pháp được Neves et al. (2009) phát triển thành một chương trình con thêm vào chương trình COULOMB cho phép phân tích xu hướng trượt của đứt gãy trong không gian 3D. Các tính toán được xây dựng dựa trên định nghĩa về xu hướng trượt trên bề mặt đứt gãy do Morris et al. (1996) nêu ra. Theo đó, xu hướng trượt trên bề mặt của đứt gãy được định nghĩa là tỷ số của ứng suất pháp tuyến (τ) và ứng suất tiếp tuyến (σ_n) tác động lên bề mặt đứt gãy và được ký hiệu là T_s . Đứt gãy có xu hướng trượt khi $0,6 \leq T_s \leq 0,85$ (Neves et al., 2009).



Hình 2. Phân bố của 100 trận động đất có $M_L \geq 2$ ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 (giai đoạn từ 11/2011 đến 7/2014)

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Về vị trí và đặc trưng của đứt gãy liên thông với hồ chứa

Trên cơ sở phân tích và giải đoán ảnh mô hình số độ cao (ảnh SRTM - Shuttle Radar Topography Mission, ảnh GMRT - Global Multi Resolution Topography), các đứt gãy trong khu vực nghiên cứu đã được xác lập với 3 phương là tây bắc - đông nam (TB-ĐN), á vĩ tuyến (AVT) và đông bắc

- tây nam (ĐB-TN). Vị trí và tính chất của các đứt gãy này được chỉ ra ở hình 3.

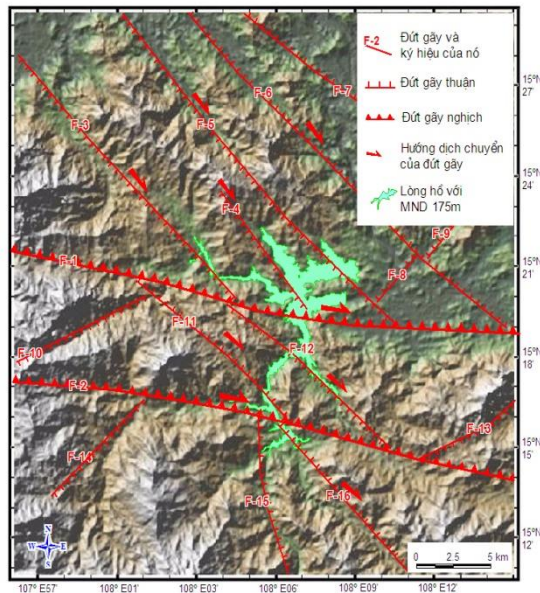
Để xem xét mối quan hệ giữa đứt gãy và động đất gây ra ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 trong thời gian qua, chúng tôi xem xét chi tiết nhóm các đứt gãy nằm ở vị trí liên thông với hồ chứa. Nhóm các đứt gãy này được ký hiệu trên hình vẽ là F-1, F-2, F-3, F-4, F-5, F-11, F-12 và F-16 (hình 4).

- Đứt gãy F-1 và F-2 là hai đứt gãy có phương á vĩ tuyến có quy mô lớn nhất trong khu vực nghiên cứu. Đứt gãy F-1, F-2 thường được gọi lần lượt với tên là đứt gãy Trà Bồng và đứt gãy Hung Nhượng - Tà Vi (N.N. Thủy, 2003) hoặc cả hai đứt gãy được gộp thành một đới và gọi là đới Sông Bung - Trà Bồng (P.V. Hùng, 2001); hoặc trong L.T.T. Hoài và nnk. (2014) được gọi lần lượt là đứt gãy Trà Bui - Trà Núi và đứt gãy Suối Trà Leng - Trà Khê.

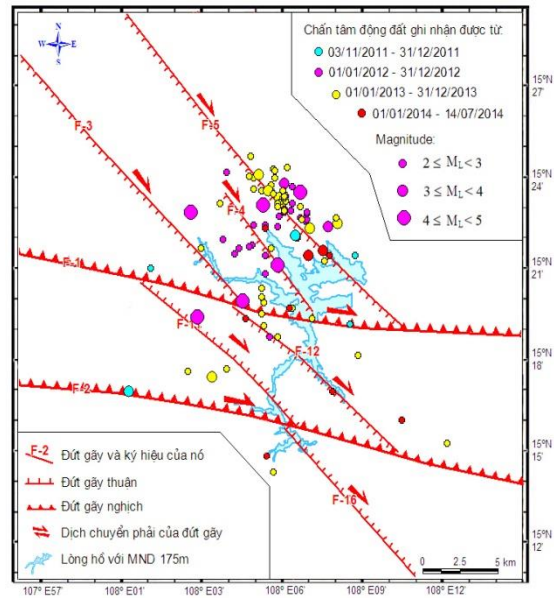
- Các đứt gãy F-3, F-4, F-5, F-12, F-11 và F-16

có phương TB - ĐN. Đây là các đứt gãy sinh kèm của đứt gãy F-1 và F-2. Trong nghiên cứu của L.T.T. Hoài và nnk (2014) các đứt gãy F-3, F-4, F-5, F-12 có tên lần lượt là Phước Hiệp-Trà Bui, Trà Tân, Phước Trà-Trà Sơn, Suối Tà Vi, còn đứt gãy F-11 và F-16 có tên là Trà Leng.

Kế thừa các kết quả nghiên cứu trước đây của P.V. Hùng (2001, 2004, 2010); N.N. Thủy (2003); L.T.T. Hoài (2014); P.Đ. Nguyễn (2014), đặc trưng cơ bản của các đứt gãy liên thông với hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 được tổng hợp và đưa ra ở bảng 2.



Hình 3. Các đứt gãy trong khu vực nghiên cứu được xác lập từ ảnh GMRT



Hình 4. Các đứt gãy liên thông với hồ chứa và chấn tâm động đất

Bảng 2. Đặc trưng cơ bản của các đứt gãy liên thông với hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2

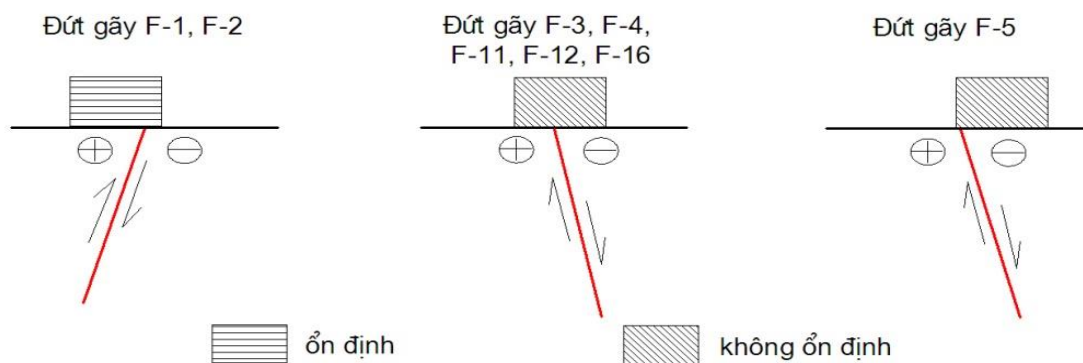
STT	Tên đứt gãy	Phương	Góc dốc/Hướng cắm	Độ sâu (km)	Kiểu dịch trượt chủ đạo trong Neogen-Đệ tứ	Theo nguồn tài liệu
1	F-1	AVT	75°/ N - 90°	25-30	Trượt bằng phải-nghịch	(a), (b), (c), (d)
2	F-2	AVT	60-80°/B, ĐB	25-30	Trượt bằng phải-nghịch	(a), (b), (c), (d)
3	F-3	TB-ĐN	70-80°/TN	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)
4	F-4	TB-ĐN	70-80°/TN	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)
5	F-5	TB-ĐN	70-80°/TN	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)
6	F-11	TB-ĐN	65°/ĐB - 90°	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)
7	F-12	TB-ĐN	60-70°/TN	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)
8	F-16	TB-ĐN	65°/ ĐB - 90°	10-15	Trượt bằng phải-thuận	(b), (c)

Chú thích: (a) - (P.V. Hùng, 2001, 2004, 2010); b) - (N.N. Thủy - chủ biên, 2003); c) - (L.T.T. Hoài và nnk., 2014); d) - (P.Đ. Nguyễn - chủ biên, 2014)

Mối liên quan giữa các đứt gãy với vị trí chấn tâm của các trận động đất xảy ra ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 trong thời gian qua được thể hiện ở hình 4. Phần lớn chấn tâm động đất phân bố dọc theo đứt gãy F-4 và F-5.

Dựa theo phương pháp đánh giá ảnh hưởng của dao động tải trọng hồ chứa đến các đứt gãy mà

Roeloffs (1988) đề xuất, từ hình 4 chúng ta thấy trên các đứt gãy ở vùng hồ thủy điện Sông Tranh 2 đều chịu tác động nhất định từ sự dao động tải trọng hồ chứa (hình 5). Tính ổn định được duy trì trên các đứt gãy F-1, F-2 và tính không ổn định xảy ra trên các đứt gãy F-3, F-4, F-5, F-11, F-12, F-16.



Hình 5. Các ảnh hưởng của sự dao động tải trọng hồ chứa trên các đứt gãy ở vùng hồ chứa Sông Tranh 2

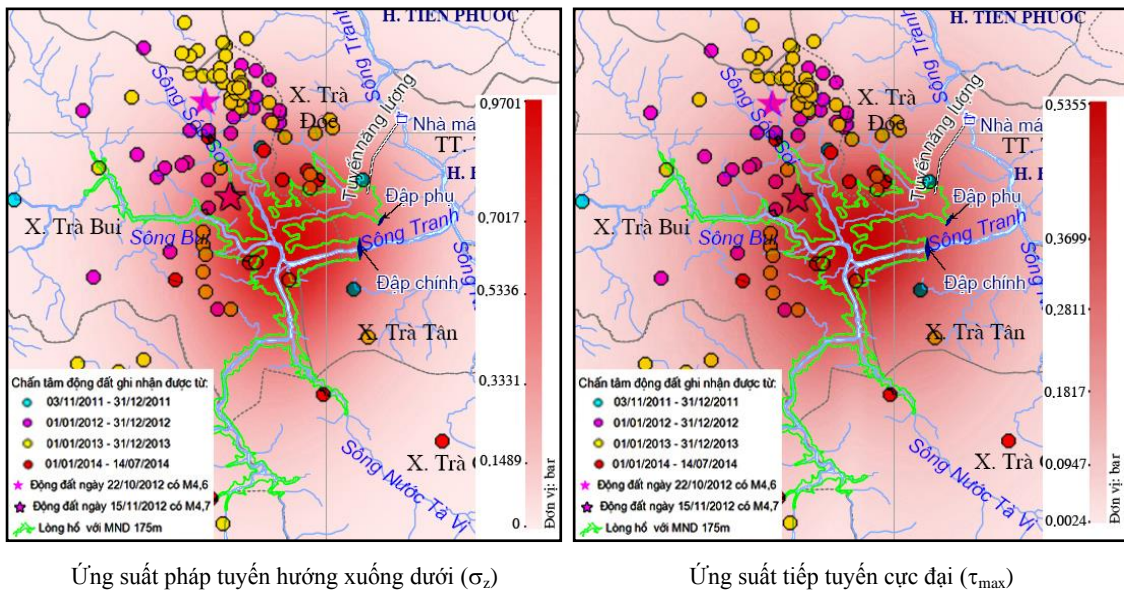
Mặt khác, ta thấy trên hình 4, động đất ghi nhận được trong thời gian qua tập trung chủ yếu trên các đứt gãy F-4, F-5. Đây là các đứt gãy hoạt động trong giai đoạn Hiện đại theo kiểu trượt bằng phải - thuận. Kết quả này không chỉ phù hợp với các đánh giá theo phương pháp của Roeloffs (1988) mà còn phù hợp với kết quả thống kê của Qiu (2012) rằng 79% các trận động đất hồ chứa xảy ra trong môi trường đứt gãy trượt bằng hay thuận. Như vậy, với đặc điểm phân bố không gian và kiểu hình hoạt động của các đứt gãy ở vùng hồ chứa Sông Tranh 2, hoạt động động đất tại đây trong thời gian qua chủ yếu liên quan đến các đứt gãy phương TB-ĐN.

3.2. Về ứng suất gia tăng do tải trọng nước hồ chứa

Chương trình tính toán độ lún đàn hồi và ứng suất gia tăng của đất đá dưới đáy hồ chứa theo bài toán 2D và 3D (T.D. Trí, 2004) được chúng tôi sử dụng để tính toán ứng suất gia tăng dưới đáy hồ Sông Tranh 2 do tải trọng nước tương ứng với mực

nước dâng ở cao trình 175m. Toàn bộ mặt thoáng hồ chứa Sông Tranh 2 được phủ bởi lưới tính gồm 8664 ô vuông, cạnh của mỗi ô vuông là 0,05km. Kết quả tính toán cho thấy phạm vi gia tăng ứng suất nằm trong khoảng độ sâu 0,067 - 4,61km. Tại độ sâu 4,6km dưới đáy hồ chứa Sông Tranh 2 chúng tôi tiến hành tính toán ứng suất pháp tuyến hướng xuống dưới (σ_z) và ứng suất tiếp tuyến cực đại (τ_{max}). Kết quả thể hiện ở hình 6 cho thấy ứng suất gia tăng ở độ sâu nghiên cứu có giá trị lớn hơn 0,1 bar tập trung trong phạm vi bán kính 6 - 7km tính từ vị trí hợp lưu của sông Sóc Soi, sông Bui và sông Tranh.

So sánh kết quả tính toán ứng suất gia tăng (hình 6) với phân bố động đất theo độ sâu (hình 2) có thể thấy sự tương quan. Động đất đã xuất hiện ở nơi mà ứng suất gia tăng do tác động của tải trọng nước. Điều này phù hợp với kết quả mà Rajendran (1995) đã nêu ra, rằng sự thay đổi ứng suất dưới đáy hồ chứa nhỏ cỡ 0,01MPa (0,1bar) có liên quan với động đất kích thích.



Hình 6. Phân bố chấn tâm động đất, ứng suất gia tăng tại độ sâu 4,6km do tải trọng nước

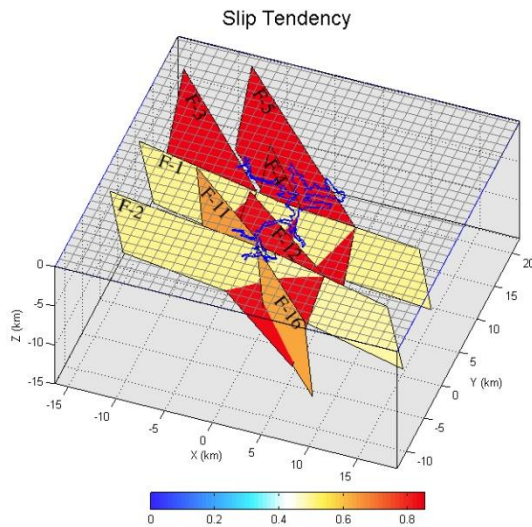
3.3. Về xu hướng trượt của đứt gãy trong phạm vi hồ chứa

Đa số các trường hợp động đất hồ chứa được gây ra do sự tái hoạt động của các đứt gãy đã tồn tại từ trước chứ không phải là sự phát sinh các đứt gãy mới (Morris et al., 1996). Khả năng tái hoạt động của những đứt gãy lớn trong khu vực Sông Tranh 2 có thể đánh giá dựa trên đặc trưng động hình học của chúng có liên quan đến trường ứng suất kiến tạo khu vực trong giai đoạn Hiện đại. Trường ứng suất kiến tạo trong giai đoạn Hiện đại của khu vực nghiên cứu được xác định có trục nén ép cực đại (σ_1) phương á kinh tuyến, trục tách giãn cực đại (σ_3) phương á vĩ tuyến và trục trung gian (σ_2) gần thẳng đứng (P.V. Hùng, 2004; L.T.T. Hoài và nnk., 2014). Các đứt gãy ở vùng hồ chứa của thủy điện Sông Tranh 2 sẽ chịu tác động của trường ứng suất kiến tạo này.

Kết quả phân tích khe nứt bằng phương pháp kiến tạo động lực giai đoạn Pliocen - Đệ tứ của P.V. Hùng (2004) đã xác định được định hướng của ba trục ứng suất chính tại 22 điểm khảo sát trên đới đứt gãy Sông Bung - Trà Bồng. Trong số 22 điểm khảo sát này, giá trị ba trục ứng suất

chính tại điểm khảo sát số 3 với σ_1 ($\psi=351, \delta=50$), σ_2 ($\psi=192, \delta=38$), σ_3 ($\psi=94, \delta=10$) được chọn làm đại diện cho khu vực nghiên cứu và dùng để phân tích xu hướng trượt của các đứt gãy vùng hồ Sông Tranh 2. Sử dụng giá trị của ba trục ứng suất vừa nêu cùng với các thông số về đặc trưng cơ bản của đứt gãy ở bảng 2, chúng tôi đưa vào chương trình do Neves et al. (2009) xây dựng (một chương trình con thêm vào chương trình COULOMB của Toda et al., 2011) để phân tích xu hướng trượt của các đứt gãy khu vực hồ chứa Sông Tranh 2 trong không gian 3D.

Kết quả phân tích xu hướng trượt của các đứt gãy ở khu vực hồ chứa Sông Tranh 2 đưa ra ở hình 7 chỉ ra rằng dưới tác động của trường ứng suất khu vực giai đoạn hiện đại các đứt gãy F-3, F-4, F-5, F-12 có xu hướng trượt mạnh ($T_s = 0,8 - 0,85$), các đứt gãy F-11, F-16 có xu hướng trượt trung bình ($T_s = 0,65 - 0,7$), đứt gãy F-1 và F-2 không có xu hướng trượt ($T_s < 0,6$). Như vậy, với khả năng trượt mạnh của các đứt gãy phương TB-ĐN ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2, chắc chắn có liên quan chặt chẽ với hoạt động động đất tại đây.



Hình 7. Xu hướng trượt của đứt gãy ở khu vực hồ chứa Sông Tranh 2 trong lưới 3D (màu đỏ thể hiện xu hướng trượt mạnh)

4. Thảo luận

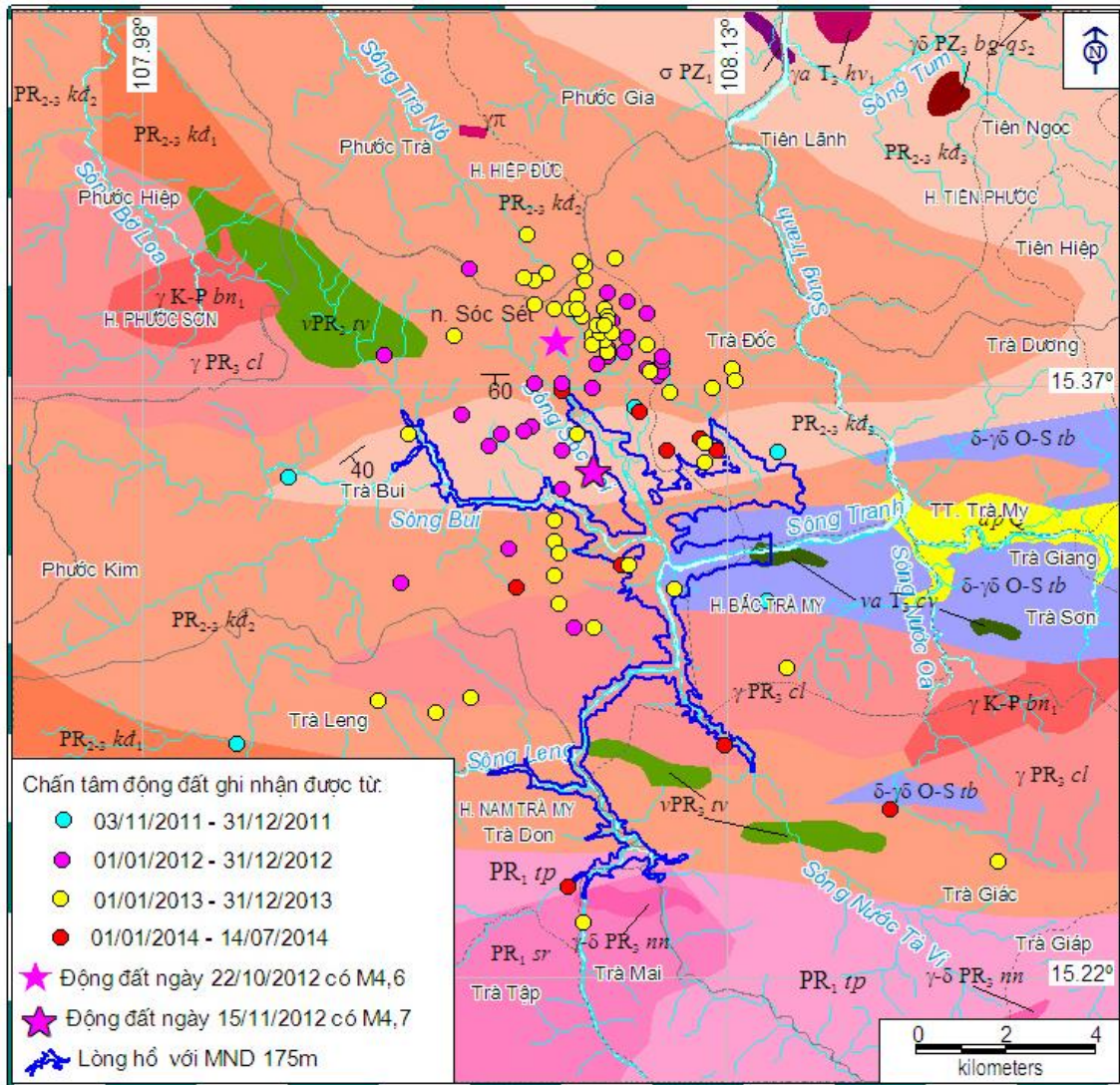
Về lý thuyết, xác suất hồ chứa gây ra động đất tăng theo chiều cao đập cũng như dung tích hồ chứa (Qiu, 2012). Trường hợp hồ chứa Sông Tranh 2, với chiều cao đập là 96m, dung tích 0,7292 tỷ m³ thì khả năng hồ gây động đất là rất thấp. Rõ ràng yếu tố chiều cao đập và dung tích hồ chứa Sông Tranh 2 không phải là điều kiện thuận lợi để động đất xảy ra. Đây là lý do để chúng tôi hướng nghiên cứu tập trung vào phân tích những yếu tố khác có thể dẫn đến xuất hiện động đất kích thích, như đã nêu trong bài báo này, trong những điều kiện cụ thể của khu vực hồ chứa Sông Tranh 2.

Kết quả thống kê toàn cầu từ 115 trường hợp hồ chứa gây ra động đất nêu ra trong Qiu (2012) cho thấy đá kết tinh bên dưới hồ chứa dễ dàng được trải nghiệm động đất kích thích, chiếm tỷ lệ 39,13% trong số bốn loại đá: đá kết tinh, đá vôi, đá núi lửa và đá mảnh vụn. Vị trí hồ chứa Sông Tranh 2 trên bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam, tỷ lệ 1:200.000 (các tờ Bà Nà, Đắc Tô, Hội An và Quảng Ngãi) nằm trong khu vực gồm chủ yếu là

các loại đá kết tinh. Chúng gồm đá biến chất của các hệ tầng Khâm Đức (PR_{2,3} *kđ*), Sông Re (PR₁ *sr*) và Tắc Pò (PR₁ *tp*); đá magma xâm nhập của phức hệ Trà Bồng (δ - γ đ O-S *tb*) và phức hệ Chu Lai (γ PR₃ *cl*) (N.V. Trang - chủ biên, 1996; 1997). Số liệu quan trắc động đất ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2 thời gian qua cũng cho thấy rằng động đất kích thích đã xảy ra ở những nơi có mặt của đá kết tinh (hình 8). Tuy vậy, trong khuôn khổ nghiên cứu này chúng tôi chưa có điều kiện xem xét, đánh giá cụ thể việc tồn tại của đá kết tinh nằm dưới đáy hồ chứa Sông Tranh 2 có thực sự là môi trường thuận lợi để động đất kích thích xuất hiện trong thời gian qua hay không. Việc đưa ra giải thích cho vấn đề này được để lại cho các nghiên cứu tiếp theo.

Nghiên cứu này có thể được thực hiện và thu được những kết quả như đã trình bày trước hết là nhờ kế thừa được các kết quả điều tra, nghiên cứu rất giá trị về địa chất, kiến tạo liên quan đã được công bố (P.V. Hùng, 2001, 2004, 2010; N.N. Thủy - chủ biên, 2003; L.T.T. Hoài và nnk., 2014; P.Đ. Nguyễn - chủ biên, 2014), đặc biệt là nguồn số liệu quan trắc mới về động đất khu vực hồ chứa Sông Tranh 2 thời gian qua. Rõ ràng, việc bố trí các trạm quan trắc động đất địa phương tại các vùng hồ chứa lớn, tương tự như đã lắp đặt tại vùng hồ thủy điện Sông Tranh 2, là vô cùng cần thiết và hết sức hữu ích cho các nghiên cứu về động đất kích thích. Tuy nhiên, để tối đa hóa các ích lợi này, cần thiết phải thiết lập các trạm sớm, trước khi hồ tích nước và đi vào hoạt động.

Các kết quả thu được từ nghiên cứu này là một kinh nghiệm tốt, có thể áp dụng cho các đánh giá, nghiên cứu sau này nhằm hạn chế các mối nguy hiểm từ động đất có thể xảy ra do việc ngăn đập hình thành hồ chứa. Tất cả các yếu tố liên quan đến động đất như đã nêu cần được đồng thời xem xét và đánh giá một cách kỹ lưỡng.



Hình 8. Phân bố chấn tâm động đất ở khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2 trên nền bản đồ ĐC và KS Việt Nam tỷ lệ 1:200.000 của N.V. Trang - chủ biên (1996, 1997)

5. Kết luận

Các kết quả thu được trong nghiên cứu này đưa đến một số kết luận sau đây:

- Hoạt động động đất ở khu vực thủy điện Sông Tranh 2 trong giai đoạn 2011-2014 là do đóng góp tích cực của các yếu tố sau đây: (1) Vị trí và đặc trưng của nhiều đứt gãy liên thông với hồ chứa có đặc tính không ổn định, thuận lợi cho quá trình dịch trượt xảy ra khi hồ tích nước; (2) Ứng suất gia

tăng do tải trọng nước hồ chứa Sông Tranh 2 (khi hồ tích nước tới cao trình 175m) là rất đáng kể; (3) Nhiều đứt gãy trong phạm vi hồ chứa có xu hướng trượt cao trong bối cảnh trường ứng suất kiến tạo khu vực giai đoạn Hiện đại.

- Các đứt gãy phương TB-ĐN (F-3, F-4, F-5, F-12) tại khu vực thủy điện Sông Tranh 2 chi phối và định hướng sự phân bố các trận động đất kích thích xảy ra ở đây trong thời gian qua, bao gồm cả trận động đất có M4,7 xảy ra ngày 15/12/2012.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới Ban chủ nhiệm Đề tài độc lập cấp Nhà nước mã số ĐTDL. 2012-G/57 và các đồng nghiệp phòng Địa chấn, Viện Vật lý Địa cầu đã hỗ trợ và có nhiều ý kiến đóng góp quý báu trong quá trình thực hiện nghiên cứu này. Xin cảm ơn những góp ý mang tính xây dựng của các phản biện đã giúp cho bài báo được hoàn thiện hơn.

Tài liệu dẫn

- Bell M.L. & Nur A., 1978: Strength changes due to reservoir-induced pore pressure and stresses and application to Lake Oroville. *J. Geophys. Res.* 83, p.4469-4483.
- Carder D.S., 1970: Reservoir loading and local earthquakes, in engineering seismology-the works of man, *Geol. Soc. Am. Eng. Geol. Case Histories* 8, p. 51-61.
- Nguyen Van Giang, Jan Wiszniowski, Beata Plesiewicz, Grzegorz Lizurek, Dinh Quoc Van, Le Quang Khoi, 2015: Some Characteristics of Seismic Activity in the Song Tranh 2 Reservoir, Quang Nam, Vietnam by Local Seismic Network Data. *Earth Sciences*.Vol. 4, No. 3, 2015, p.101-111
- Gough D.I. & Gough W.I., 1970a: Stress and deflection in the lithosphere near Lake Kariba. *Geophys. J.R. Astro. Soc.* 21, p.65-78.
- Gough D.I. & Gough W.I., 1970b: Load induced earthquakes at lake Kariba-II. *Geophys. J.R. Astro. Soc.* 21, p.79-101.
- Gupta H.K., Rastogi B.K., Narain H., 1972a: Common features of the reservoir associated seismic activities. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 62, p.481-492.
- Gupta H.K., Rastogi B.K., Narain H., 1972b: Some discriminatory characteristics of earthquakes near the Kariba, Kremasta and Koyna artificial lakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 62, p.493-507.
- Lường Thị Thu Hoài, Nguyễn Văn Vượng, Bùi Văn Đông, 2014: Đặc điểm đứt gãy và mối quan hệ với động đất kích thích khu vực hồ chứa thủy điện Sông Tranh 2, huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*, Tập 30, Số 2S, tr.21-32.
- Phạm Văn Hùng, 2001: Đặc điểm hoạt động của các đứt gãy kiến tạo ở rìa Bắc địa khối Kon Tum. *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*. T.24, (4), tr.370-377.
- Phạm Văn Hùng, 2004: Đặc điểm chuyển động của đứt gãy Sông Bung - Trà Bồng trong Kainozoi. *Tạp chí Các khoa học về Trái đất*, T.26, (4PC), tr.447-453.
- Phạm Văn Hùng, 2010: Đánh giá hiện trạng và khoanh vùng cảnh báo nguy cơ nứt đất tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*, T.32, (4), tr.348-356.
- Lê Huy Minh, 2012: Kết quả khảo sát động đất tháng 9/2012 khu vực thủy điện Sông Tranh 2. Nghiên cứu và phát triển công nghệ - Điều tra cơ bản, website Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam ([http://www.vast.ac.vn/...](http://www.vast.ac.vn/)).
- Morris A., Ferril D. & Henderson D., 1996: Slip-tendency analysis and fault reactivation. *Geology* 24, p.275-278.
- Neves M., Paiva L. & Luis J., 2009: Software for slip-tendency analysis in 3D: A plug-in for Coulomb. *Computers & Geosciences*, 35, p.2345-2352.
- Phạm Đình Nguyên (chủ biên), 2014: Báo cáo khảo sát, nghiên cứu đứt gãy, động đất và núi lửa. Dự án nhà máy điện hạt nhân mới ở Việt Nam địa điểm Quảng Ngãi. Giai đoạn nghiên cứu tiền khả thi. Quyển số 1.1; Lưu trữ Viện Vật lý Địa cầu; 61tr.
- Nikolaev N.I., 1974: Tectonic conditions favourable for causing earth quakes occurring in connection with reservoir filling. *InsSeismic effects of reservoir impounding; de JUDD,W.R.,Eng. Geol.*, 3 (1-2), p.171-139.
- Nguyễn Ngọc Thùy (chủ biên), 2003: Báo cáo Đánh giá độ nguy hiểm động đất ở khu vực công trình thủy điện Sông Tranh 2. Giai đoạn phục vụ lập báo cáo nghiên cứu khả thi. Lưu trữ Viện Vật lý Địa cầu.
- Nguyễn Thanh Tùng và Bùi Văn Duẩn, 2007: Đánh giá trường ứng suất gia tăng, độ lún lòng hồ và động đất kích thích khu vực hồ chứa thủy điện Hoà Bình. Báo cáo chuyên đề thuộc đề tài NCKH&PTCN cấp NN mã số ĐTDL - 2005/19G.
- Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Thanh Tùng, Trần Dương Trí, Bùi Văn Duẩn, 2005: Sự thay đổi trường ứng suất, biến dạng và khả năng phát sinh động đất kích thích khu vực hồ chứa Sơn La. Báo cáo đánh giá tác động môi trường. Lưu trữ Viện Vật lý Địa cầu.
- Qiu X., 2012: Factors controlling the occurrence of reservoir-induced seismicity. *Proceedings of 1st Civil and Environmental Engineering Student Conference, Imperial College London*, 25-26 June 2012.
- Qiu X. & Fenton C., 2015: Factors Controlling the Occurrence of Reservoir-Induced Seismicity. In: Lollino G., Giordan D., Thuro K., Carranza-Torres C., Wu F., Marinos P., Delgado C. (eds.), *Engineering Geology for Society and Territory - Volume 6: Springer International Publishing, Cham*, p.567-570.

Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, 37 (3), 228-240

- Rajendran K., 1995: Sensitivity of a Seismogenic Reservoir to Low Amplitude Fluctuations - Observations from Lake Jocassee, South Carolina, Pure and Applied Geophysics, Vol.145, p.87-95.
- Roeloffs E.A., 1988: Fault stability changes induced beneath a reservoir with cyclic changes in water level. J. Geophys. Res. 93, p.2107-2124.
- Talwani P., 1997b: On the nature of reservoir - induced seismicity. Pure Appl. Geophys. 150, p.473-492.
- Nguyễn Văn Trang (chủ biên), 1996: Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam, tờ Hội An (D-49-I) và tờ Bà Nà (D-48-VI) tỷ lệ 1:200.0000. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.
- Nguyễn Văn Trang (chủ biên), 1997: Bản đồ địa chất và khoáng sản Việt Nam, tờ Quảng Ngãi (D-49-VII và D-49-VIII) và tờ Đắc Tô (D-48-VII), tỷ lệ 1:200.0000. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội.
- Trần Dương Trí, 2004: Chương trình tính toán độ lún đàn hồ và ứng suất gia tăng của đất đá dưới đáy hồ chứa theo bài toán 2D và 3D trong môi trường Matlab (Incremental Stress and Deflection in the 2D and 3D Lake). Lưu trữ Phòng Địa chấn, Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội.
- Cao Đình Triều, Đinh Quốc Văn, Bùi Anh Nam, Hà Vĩnh Long, 2013: Một số kết quả nghiên cứu bước đầu về động đất kích thích hồ thủy điện Sông Tranh 2. Tạp chí Địa chất, loạt A, số 333, 1-2/2013, tr.1-14.
- Phan Trọng Trịnh, 2012: Lịch sử động đất kích thích liên quan tới hồ chứa. Tin khoa học - công nghệ trong nước, website Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam ([http://www.vast.ac.vn/...](http://www.vast.ac.vn/)).
- Toda S., Stein R.S., Sevilgen V., and Lin J., 2011: Coulomb 3.3 graphic-rich deformation and stress-change software-user guide: U.S. Geological Survey Open-Report 2011-1060, XX p.
- Wiszniewski J., Giang N.V., Plesiewicz B., Lizurek G., Van D. Q., Khoi L. Q., and Lasocki S., 2015: Preliminary results of anthropogenic seismicity monitoring in the region of Song Tranh 2 reservoir, Central Vietnam. Acta Geophysica, Vol 63, no.3, p.843-862.
- <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- <http://www.geomapapp.org/>

Phụ lục. Danh mục động đất khu vực thủy điện Sông Tranh 2 (giai đoạn từ 11/2011 đến 7/2014; $M_L \geq 2$)

STT	Thời gian xảy ra động đất (Giờ GMT)						Vị trí xảy ra động đất			Độ lớn (M_L)
	Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	Giây	Vĩ độ	Kinh độ	Độ sâu (km)	
1	2011	11	3	3	49	14.4	15.35	108.02	5	2.7
2	2011	11	16	14	40	41.3	15.36	108.15	3	2.7
3	2011	11	16	20	0	55.6	15.28	108.01	4.5	3.4
4	2011	11	26	15	58	37.1	15.32	108.15	4	2.1
5	2011	11	27	14	22	15.9	15.37	108.11	4.5	3.4
6	2012	3	2	4	7	28	15.4	108.1	5	3.9
7	2012	9	3	13	47	53.7	15.32	108.05	7.3	4.2
8	2012	9	7	2	28	4.1	15.33	108.08	3	4.1
9	2012	9	23	3	57	31.7	15.38	108.05	6	4
10	2012	9	27	6	34	12.9	15.39	108.11	5	4.1
11	2012	10	22	13	41	39.5	15.38	108.09	6.8	4.6
12	2012	11	15	7	24	8.6	15.35	108.1	5.5	4.7
13	2012	11	18	18	44	18.2	15.38	108.11	6.5	2.6
14	2012	11	18	19	1	22.3	15.37	108.12	6.3	2.3
15	2012	11	18	19	7	27.7	15.38	108.12	6.1	2.2
16	2012	11	18	19	9	57	15.38	108.12	6.3	2
17	2012	12	5	5	4	46	15.36	108.08	7.2	2.2
18	2012	12	7	4	45	58.2	15.36	108.08	5.7	2.3
19	2012	12	8	7	41	18	15.36	108.07	7.1	2.4
20	2012	12	9	2	2	59.7	15.31	108.1	5	2.3
21	2012	12	9	13	48	42.8	15.36	108.08	5.1	2.7
22	2012	12	9	13	48	43	15.36	108.09	2.5	2.7
23	2012	12	12	11	45	30.1	15.35	108.09	5.3	2.2
24	2012	12	12	17	29	18.5	15.36	108.07	6	2.2

B.V. Duân và nnk/Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, Tập 37 (2015)

25	2012	12	16	12	33	41.3	15.38	108.1	6	2.2
26	2012	12	19	10	24	37.4	15.39	108.11	6.2	2.2
27	2012	12	20	6	39	15.4	15.38	108.1	5.9	2.1
28	2012	12	21	16	58	44.2	15.4	108.07	5.2	2.2
29	2012	12	21	16	58	21.4	15.39	108.11	5	2
30	2012	12	24	7	47	6.3	15.38	108.1	5.5	2.1
31	2012	12	25	10	55	43	15.38	108.11	5.7	2.4
32	2012	12	25	11	2	36.3	15.37	108.09	2.9	2
33	2012	12	25	11	14	31.7	15.38	108.11	5	2.3
34	2012	12	26	6	15	40.3	15.37	108.09	5.3	2.6
35	2012	12	27	11	34	51.7	15.38	108.12	6.6	2.2
36	2012	12	28	2	48	19	15.37	108.13	4	3.6
37	2012	12	28	3	15	54.4	15.38	108.12	6.8	2.3
38	2012	12	30	21	30	13.8	15.37	108.1	6.5	2
39	2013	1	3	8	3	46.8	15.4	108.09	3	2.3
40	2013	1	3	9	33	36.8	15.38	108.1	4	2.1
41	2013	1	3	19	12	36.3	15.39	108.09	3	3
42	2013	1	3	19	13	41	15.4	108.08	3	2
43	2013	1	5	7	36	6.1	15.39	108.09	5	2.8
44	2013	1	21	5	26	24.8	15.39	108.1	5	2
45	2013	1	21	23	57	50.6	15.39	108.1	4.7	2.1
46	2013	1	26	14	44	47.4	15.39	108.11	5.1	2
47	2013	2	13	1	8	9.2	15.4	108.11	2	2.8
48	2013	2	15	12	52	33.6	15.39	108.1	4.1	2.1
49	2013	2	25	20	38	40.4	15.36	108.1	5.1	2.1
50	2013	2	25	23	26	20	15.39	108.1	5	2.2
51	2013	2	26	11	36	9.1	15.25	108.21	9.4	2.5
52	2013	2	26	18	52	59.9	15.39	108.1	4.1	2
53	2013	3	4	7	54	12.2	15.38	108.06	7	2.9
54	2013	3	7	8	39	52.2	15.39	108.1	6	3.2
55	2013	3	7	8	43	59.7	15.39	108.1	5.4	2
56	2013	3	7	8	48	34.3	15.39	108.1	5	2.9
57	2013	3	7	8	48	34.3	15.39	108.1	5	2.7
58	2013	3	7	8	47	22.8	15.38	108.1	6	2.4
59	2013	3	7	8	48	34.3	15.39	108.1	5	2.7
60	2013	3	8	4	16	19.9	15.35	108.13	7	2.3
61	2013	3	14	12	18	54.7	15.38	108.11	7	2.2
62	2013	3	17	9	22	59.8	15.36	108.13	5	2
63	2013	3	18	14	40	49.1	15.38	108.1	5	2.1
64	2013	3	18	14	40	49.1	15.38	108.1	5	2.1
65	2013	3	20	14	48	38.7	15.4	108.09	3.1	3
66	2013	3	20	21	40	2.8	15.4	108.1	2	2.3
67	2013	3	20	21	40	26.8	15.4	108.1	1.1	2.5
68	2013	3	20	22	18	13	15.41	108.08	2	2.1
69	2013	3	29	14	47	24.3	15.4	108.1	2	2.3
70	2013	3	30	3	13	14.6	15.39	108.1	3	2.4
71	2013	4	7	2	0	15.6	15.38	108.14	3	2
72	2013	4	7	2	33	25.9	15.37	108.14	3	3.2
73	2013	4	9	12	48	23.8	15.39	108.09	6.3	2
74	2013	4	28	6	39	28.2	15.37	108.13	3	2.3
75	2013	5	2	12	0	58.1	15.29	108.04	3	2.3
76	2013	5	9	18	25	2.7	15.36	108.05	3	2.3

Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, 37 (3), 228-240

77	2013	5	11	5	44	27	15.29	108.06	3	3
78	2013	5	11	5	45	16.1	15.32	108.12	4.3	2.7
79	2013	5	13	16	9	5.1	15.33	108.11	1	2
80	2013	5	31	11	11	0.6	15.32	108.09	3	2.1
81	2013	6	29	2	21	9.2	15.38	108.12	5.2	2.2
82	2013	7	10	11	33	36.8	15.33	108.09	3	2.2
83	2013	7	21	9	22	9.2	15.33	108.09	3	2.4
84	2013	7	23	20	51	48.7	15.31	108.1	3	2.1
85	2013	7	23	20	51	48.6	15.29	108.07	3	2.3
86	2013	8	7	20	58	45	15.34	108.09	3	2.2
87	2013	8	7	20	58	44.8	15.32	108.09	3	2.7
88	2013	9	3	0	8	19	15.37	108.12	5	3.3
89	2013	10	24	9	24	0	15.24	108.1	4	2.3
90	2013	11	25	18	55	17	15.3	108.15	10	2
91	2014	1	12	3	19	0	15.24	108.09	5.5	2.6
92	2014	4	3	14	48	0	15.36	108.12	5	3.4
93	2014	5	28	20	57	54	15.28	108.13	6.5	2.2
94	2014	6	8	7	39	0	15.33	108.11	6	2.9
95	2014	6	12	6	59	22	15.37	108.11	5	2.5
96	2014	6	30	18	18	49	15.36	108.13	7	2.6
97	2014	7	5	21	46	59	15.37	108.09	5.5	2.7
98	2014	7	6	19	54	27	15.26	108.18	6	2.5
99	2014	7	8	23	5	57	15.36	108.13	5.7	3.6
100	2014	7	11	10	16	4	15.32	108.08	6	2.4