

Evidence of active tectonic activity in Muong Te area illuminated by geomorphic analysis



Dao Anh Vu^{1,2,*}, Hai Thanh Tran^{1,2}, Thanh Xuan Ngo^{1,2}, Hung Quoc Nguyen^{1,2}, Hien Thu Thi Bui¹, Van Quoc Dinh³, Binh Van Phan^{1,2}, Hiep Huu Nguyen^{1,2}

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Tectonics and Geodynamics for Geo-resources, Environment and Sustainable Development (TGREEN), Hanoi, Vietnam

³ Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 06th Apr. 2023

Revised 28th July 2023

Accepted 22nd Aug. 2023

Keywords:

Active tectonic,
ALOS,
Da River fault,
 k_{sn} ,
Muong Te.

Muong Te area is located in the northwest part of the Da River valley is seismically active with numerous recent earthquakes and associated geohazard as the consequences of tectonic collisions between the Indian plate and the Eurasian plate. The most dominant lineament system alogate in NW - SE trending which is about several kilometer to several ten kilometer. However, there has been little research regarding neotectonics deformation in this area. This study compiles remote sensing images observation data with new extracted geomorphic indices of the fluvial network to illustrate deformation patterns and potential active movements in the Muong Te. Previous study noticed that although river channels occupy a small part of the land surface, a longitudinal river profile is a more sensitive indicator of rock uplift rate than other morphological properties (Whipple et al. 2007; Dinh et al. 2019). Relationship between faults and geomorphology is quantified using 12.5 - m ALOS DEM to extract channel and basin metrics including drainage basin normalized steepness index (k_{sn}) is greater than 200 ($m^{0.9}$), and knickpoints of modeled river longitudinal profiles. The results of the normalized steepness index also show that several knickpoints arise locally from lithological boundaries of different erodibility; however, many high values of k_{sn} the river were truncated by the NW - SE lineamets system which is suggesting that Da River fault system seem to be active. The results proposed that the strike - slip and normal motions alternated because of a permutation of σ_1/σ_2 under the same extensional stress regime of σ_3 in the northeast - southwest direction. The existence of the active tectonics in the area might pose many geological hazards and it threat to regional habitants.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: vuanhdao@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(4).08



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Biểu hiện của kiến tạo hoạt động khu vực Mường Tè dựa trên phân tích đặc điểm địa mạo - kiến tạo sử dụng chỉ số độ dốc chuẩn hóa

Vũ Anh Đạo^{1,2,*}, Trần Thanh Hải^{1,2}, Ngô Xuân Thành^{1,2}, Nguyễn Quốc Hưng^{1,2},
Bùi Thị Thu Hiền¹, Đinh Quốc Văn³, Phan Văn Bình^{1,2}, Nguyễn Hữu Hiệp^{1,2}

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Nhóm Nghiên cứu mạnh TGREEN, Hà Nội, Việt Nam

³ Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 06/4/2023

Sửa xong 28/7/2023

Chấp nhận đăng 22/8/2023

Từ khóa:

ALOS,

Đứt gãy sông Đà,

Kiến tạo hoạt động,

k_{sn} ,

Mường Tè.

TÓM TẮT

Khu vực Mường Tè nằm trong phần tây bắc thượng sông Đà, nơi được ghi nhận có hoạt động địa chất, tai biến rất phức tạp với tổ hợp các dạng địa hình mang dấu ấn rõ nét do hệ quả của va chạm kiến tạo giữa mảng Ấn Độ và mảng Á - Âu. Trong đó, hệ thống lineament sắc nét nhất trong khu vực này kéo dài theo phương tây bắc đông nam từ vài km đến vài chục km và cho thấy chúng đang tác động mạnh mẽ lên sông, suối theo cả phương ngang và phương thẳng đứng. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng số liệu định lượng độ dốc chuẩn hóa của nhiều hệ thống sông suối khu vực Mường Tè được trích suất mô hình DEM ALOS từ ảnh 12,5 m ALOS để ghi nhận những biến đổi theo phương thẳng đứng của dòng chảy gây ra bởi hoạt động kiến tạo hiện đại. Kết quả cho thấy rằng khu vực có thể chịu ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo hiện đại tương đối mạnh bởi sự tập trung các giá trị độ dốc chuẩn hóa (k_{sn}) lớn hơn 200 ($m^{0.9}$) tại các vị trí giao cắt với đứt gãy theo phương tây bắc - đông nam. Chúng cũng là hệ quả của việc các dòng sông được làm trẻ hóa bởi hoạt động tân kiến tạo tác động đến mực xâm thực cơ sở. Việc chỉ ra sự có mặt của kiến tạo hiện đại cho thấy khu vực có các vùng sinh chấn cao dọc theo các hệ thống đứt gãy này và có khả năng gây ra nhiều rủi ro về tai biến địa chất.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: vuanhdao@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(4).08

1. Mở đầu

Mường Tè nằm trên phần tây bắc đới đứt gãy sông Đà, phía nam của đới biến dạng do va chạm giữa lục địa Âu - Á và Ấn Độ (Lai và nnk., 2012), khu vực này có hoạt động kiến tạo khá mạnh mẽ, vùng có tiềm năng động đất với cường độ lớn và nguy hiểm (Hình 1a). Cho đến gần đây, các nghiên cứu về biến dạng kiến tạo và kiến tạo hoạt động của khu vực tây bắc nói chung và khu vực Mường Tè nói riêng đã xác nhận sự tồn tại các đới đứt gãy hoạt động trong khu vực (Dinh và nnk., 2019; Khuong và nnk., 2016; 2021). Hoạt động của các đứt gãy hiện đại gây nên các rung chấn động đất, đồng thời tạo ra các đới phá hủy xung yếu là tiền đề dẫn đến các tai biến địa chất như: đá đổ, đá lở, trượt lở, nứt đất và xói mòn bề mặt. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng chỉ số độ dốc chuẩn hóa để kiểm chứng sự có mặt của đứt gãy hoạt động dựa trên sự giao cắt trên bề mặt địa hình của các hệ thống đứt gãy hoạt động đối với hệ thống các dòng chảy.

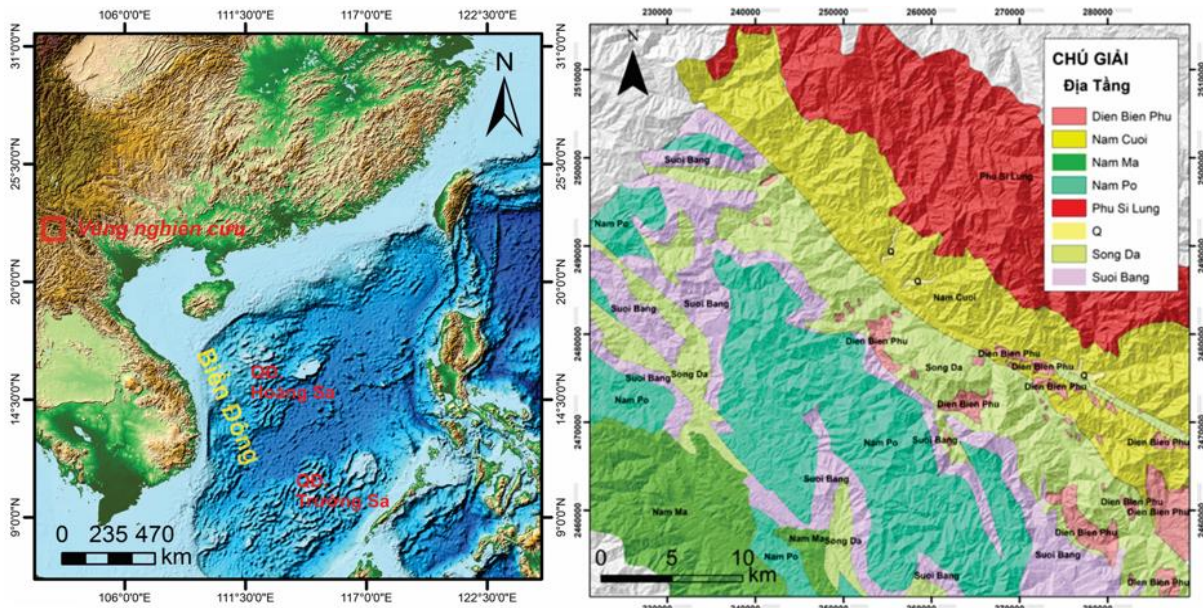
2. Đặc điểm địa chất - kiến tạo khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu thuộc về miền uốn nếp tây bắc Việt Nam và yếu tố Thượng Lào (Tri & Khuc, 2011) được cấu thành chủ yếu từ các đá lục nguyên của các hệ tầng Suối Bàng, Nậm Pô, Nậm Mạ, sông Đà và hệ tầng Lai Châu. Hoạt động bề mặt

như phong hóa, rửa trôi tác động lên yếu tố địa chất như thạch học và hoạt động kiến tạo, độ dốc dòng chảy, do đó cần đánh giá mức độ phong hóa của các hệ tầng để đánh giá địa hình lòng sông bị ảnh hưởng bởi sự sai khác thạch học hay do đứt gãy. Các phức hệ Điện Biên Phủ và phức hệ Phu Si Lung (aC₁pl) bao gồm các đá xâm nhập granit, có khả năng chống xói mòn tương đối mạnh, trong khi đó, các đá tương đối bền dưới điều kiện phong hóa như đá vôi, đá phiến và đá cát silic nằm dưới xen kẽ. Khả năng xói mòn của đá thay đổi theo sự liên tiếp, nhưng về trung bình, đơn vị này có khả năng chống xói mòn kém. Nhóm các đá có khả năng chống chịu phong hóa trung bình - kém như các đá trầm tích cơ học, cát kết, bột kết, đá phiến sét, đá phiến sét và đá phiến sét vôi vôi thuộc hệ tầng sông Đà (P_{1-2sd}), Suối Bàng (T_{3n-rsb}), Nậm Pô (Jnp) và hệ tầng Nậm Mạ (Knm) (Hình 1b). Trong phạm vi khu vực Mường Tè tồn tại nhiều loại hình đứt gãy có tính chất, quy mô khác nhau với phương kéo dài chủ đạo là phương á kinh tuyến và tây bắc - đông nam. Đứt gãy Điện Biên - Lai Châu là một đứt gãy khu vực có độ sâu xuyên cắt lớn.

3. Phương pháp

3.1. Phân tích hình thái địa hình dựa trên mô hình DEM/ALOS



Hình 1. a) Sơ đồ vị trí vùng nghiên cứu (Chỉnh sửa theo Faure và nnk., 2014). b) Bản đồ địa chất khu vực nghiên cứu (Chỉnh sửa theo Tri & Khuc, 2011).

Để tìm hiểu các đặc điểm địa hình - địa mạo, nghiên cứu này đã xử lý dữ liệu DEM độ phân giải 12,5 m lấy từ hình ảnh ALOS (<https://search.asf.alaska.edu/#/>). Dựa vào cấu trúc mô hình DEM ALOS có thể nhận dạng lineament trên cơ sở: đường sống núi hoặc thung lũng; những đoạn thẳng không bình thường của đường bờ biển, của dòng sông, hồ; sự sắp xếp thẳng hàng của từng phần các thung lũng; ranh giới thẳng giữa hai kiểu địa hình: núi và đồi, đồi và đồng bằng (Hình 2).

Dựa trên mô hình DEM ALOS ban đầu, nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng các bản đồ thể hiện các yếu tố địa hình mang tính định lượng: Bản đồ độ dốc thể hiện cường độ phân cắt địa hình, bản đồ tương quan giữa đứt gãy chính mạng lưới thủy văn, xác lập mặt cắt địa hình dọc sông để mô phỏng bề mặt đáy sông và giải thích sự tồn tại của các đứt gãy chính.

3.2. Chỉ số độ dốc chuẩn hóa trích xuất từ mô hình DEM ALOS

Mặt cắt của một dòng suối trưởng thành khi không bị xáo trộn có hình dạng lõm, tổng thể có dạng cong đều (DiBiase và nnk., 2012). Tuy nhiên, khi dòng chảy bị nhiễu động, chẳng hạn như hạ thấp mức xâm thực cơ sở hay sự dư thừa lượng cung cấp trầm tích từ các sườn đồi cùng với động

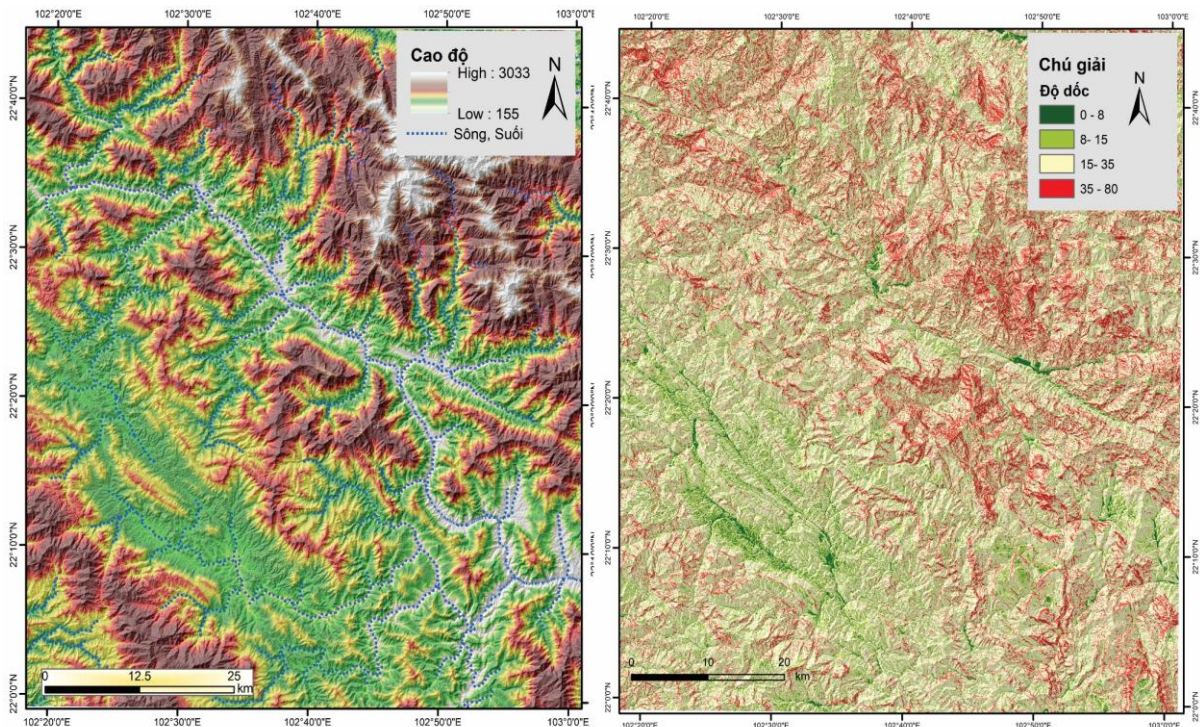
năng dòng chảy suy giảm và từ đó cản trở hoặc tắc dòng (lũ bùn đá); hay có sự tác động của đứt gãy hoạt động hay sự phong hóa bóc mòn chênh lệch do thay đổi thạch học đáy sông, dẫn tới mặt cắt này không còn đồng nhất là một mặt cắt lõm đều nữa mà chúng tạo ra các điểm giao (knickpoints) bất thường dọc theo mặt cắt sông (Hình 3), thường những điểm giao là chỉ dấu hữu ích cho hệ thống đứt gãy đối với địa hình đáy sông (Hình 3, Snyder và nnk., 2000).

Tại một khu vực bất kì trên vỏ trái đất là sự vận động mang xu hướng cân bằng của sự bóc mòn và sự nâng trời. Điều này được thể hiện qua phương trình tương quan sau:

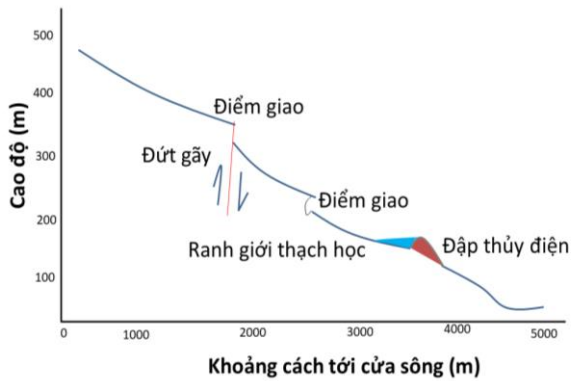
$$dz / dt = U(x, t) - \varepsilon(x, t) \quad (1)$$

Trong đó: dz / dt - xác định sự thay đổi độ cao theo thời gian; x - khoảng cách theo phương ngang dọc theo sông; U - tốc độ nâng bề mặt; ε - tốc độ bóc mòn.

Quá trình hoạt động của đứt gãy thông thường gây ra sự tạo thành địa hình dạng bậc do sự hạ xuống của cánh nằm đứt gãy, chúng gây ra sự trẻ hóa của các dòng chảy cụ thể và sự nâng lên cục bộ thay đổi độ dốc của dòng chảy (Kirby & Whipple, 2001).



Hình 2. Mô hình DEM ALOS và bản đồ độ dốc khu vực nghiên cứu.



Hình 3. Mặt cắt mô phỏng sự tương tác giữa địa hình dòng chảy và đứt gãy, thạch học hoặc công trình nhân sinh. Sự tương tác này có thể tạo ra 3 loại điểm giao dọc theo mặt cắt này bao gồm đứt gãy, sự sai khác về thạch học giữa ranh giới thạch học và các trình xây dựng như đường xá, taluy, đập thủy điện.

Thông qua hệ thống điểm giao, 1 hệ thống sông được chia ra nhiều đoạn và mỗi đoạn có chỉ số độ dốc chuẩn (k_{sn}) khác nhau. Wobus và nnk (2006) chỉ ra rằng chỉ số độ dốc chuẩn là thông số quan trọng để ghi biến động của dòng chảy thông qua U (tốc độ nâng bề mặt) và ϵ (tốc độ bóc mòn) để chứng tỏ sự có mặt hay không của các đứt gãy hoạt động. Việc phân tích chỉ số độ dốc chuẩn hóa theo phương pháp của Wobus và nnk. (2006) và Whipple và nnk. (2007), ý tưởng cơ bản là sự thay đổi tương đối về độ cao cân bằng với sự nâng lên

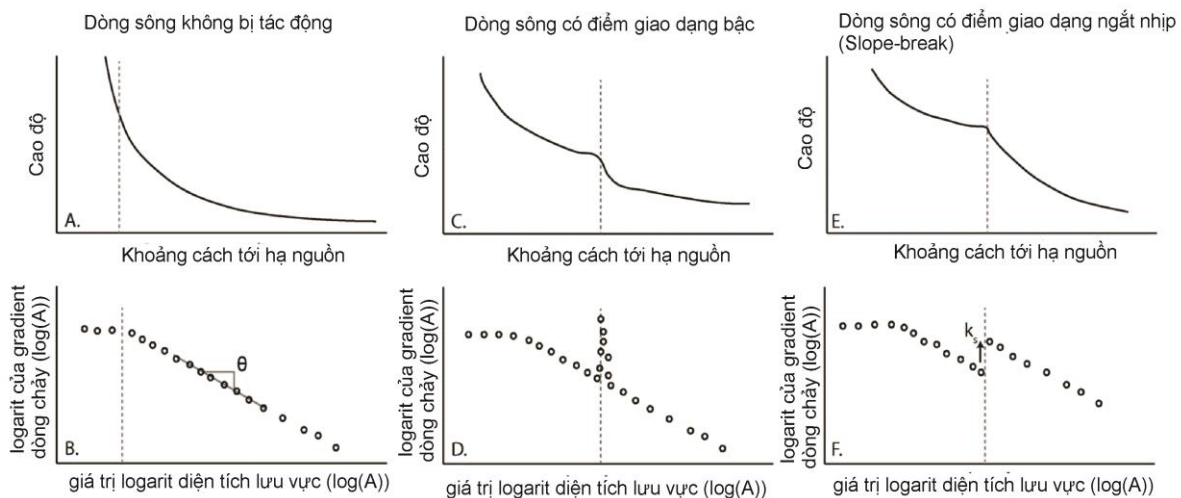
và bóc mòn theo phương trình phía trên và biến đổi thành phương trình sau:

$$S = k_{sn}A^{-\theta} \quad (2)$$

Trong đó: K_{sn} - chỉ số độ dốc chuẩn hóa; θ - độ lõm của dòng được xác định bằng hồi quy tuyến tính của dữ liệu gradient (S) và diện tích lưu vực (A).

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu sử dụng độ lõm dòng chảy tham chiếu $\theta = 0,45$. Đánh giá kết quả chỉ số độ dốc của dòng chảy chính trong khu vực Mường Tè giúp xem xét sự tương tác của các hệ thống lineament với hệ thống thủy văn để phân chia chúng thành các hệ thống đứt gãy hoạt động hay không trên một số các đặc điểm hình thái như hình dạng, chiều dài và độ dốc dựa vào một số dấu hiệu ban đầu về sự phân tán của giá trị log - bin của A và S (Hình 4).

Quá trình xử lý dữ liệu mạng lưới sông được mô tả ngắn gọn như sau: mạng sông suối được trích xuất từ dữ liệu DEM ALOS gốc bằng các công cụ Hydrology trong phần mềm ArcGIS với giá trị ngưỡng của bồn thu nước nằm trong giới hạn khoảng $10^5 m^2$. Sau đó tiến hành quá trình chuyển dữ liệu của mô hình DEM ALOS sang mã ASCII để tiến hành xử lý dữ liệu theo nguyên lý địa mạo để thu được chỉ số độ dốc của dòng chảy. nhóm nghiên cứu cũng phân tích các mặt cắt theo diện tích (swath profile, Wobus và nnk., 2006) bởi biểu diễn các giá trị thống kê như độ cao tối thiểu, trung bình và tối đa của địa hình bằng cách sử dụng công



Hình 4. AB - một con sông với mặt cắt lý thuyết bình thường khi không bị nhiễu động bởi cho đường cong trơn và giá trị θ phân bố tuyến tính; CD - mặt cắt thể hiện con sông bị tác động bởi lũ bùn đá hoặc tích lũy dư thừa trầm tích, hoặc thủy điện sẽ tạo nên sự tập trung bất thường của giá trị log - bin (A - S); EF - sông bị tác động do đứt gãy tương ứng (Wobus và nnk. 2006).

cụ Swath Profiler trong phần mềm ArcGIS. Mặt cắt theo diện tích là sự chồng chập của nhiều mặt cắt độc lập song song nhau trong bán kính vùng đệm (buffer) một trục địa hình xác định. Mặt theo diện tích là công cụ hữu hiệu để phân tích mức độ ổn định địa hình dựa trên mức độ bóc mòn, xâm thực tại vị trí phân tích. Với khu vực ít chịu tác động của hoạt động kiến tạo hiện đại, hoạt động xâm thực yếu thì các đường mặt cắt độc lập có xu hướng có cùng về một xu hướng và ngược lại. Mặt cắt qua cấu trúc địa hình với mục đích nghiên cứu quy luật địa hình như tính đối xứng hay bất đối xứng, tính khuếch tán của cấu trúc theo một trục xác định. Ví dụ, một dạng không đối xứng của địa hình bề mặt địa hình ở Himalaya có thể được hiểu là kết quả của quá trình tạo núi với lực đẩy kiến tạo không cân bằng như đã đề cập trong mô hình CHILD (Burbank & Anderson, 2011).

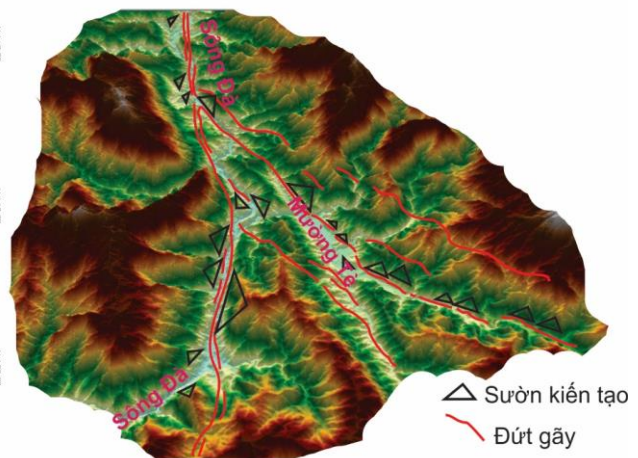
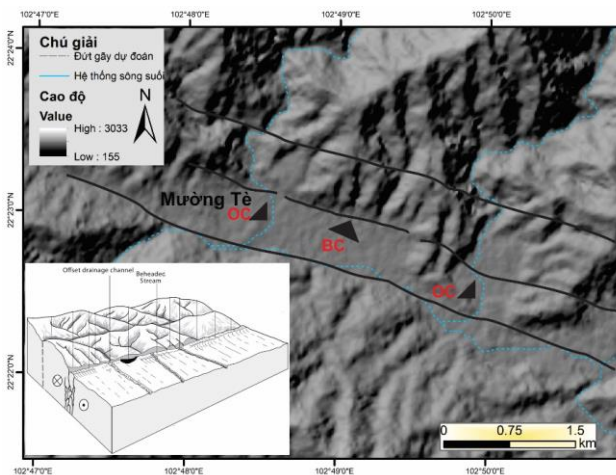
4. Kết quả

4.1. Kết quả phân tích địa hình

Trên mô hình DEM ALOS (Hình 5), các vách sườn bóc mòn kiến tạo phát triển dọc theo các hệ thống lineament phương tây bắc - đông nam, sườn dốc > 35°, tương đối thẳng. Chúng thường kéo dài từ vài trăm mét đến vài km, dưới chân sườn thường là các đoạn suối thẳng. Các đặc điểm này cho thấy chúng bị khống chế bởi hệ thống đứt gãy trượt bằng (Hình 5, Burbank & Anderson, 2011).

Nghiên cứu này đã tiến hành phân tích 3 mặt cắt theo diện tích với mặt cắt A - A' phương vuông góc với sông Đà, mặt cắt B - B' có phương vuông góc với thung lũng Mường Tè và mặt cắt C - C' chạy xuyên suốt toàn vùng theo diện tích vùng đệm (buffer) 2 km (Hình 6). Trên hình 6, các dải núi dọc 2 thung lũng Mường Tè có tính không cân xứng. Sườn dốc được nhận biết bằng độ nổi địa hình địa phương (Local relief - đường màu đỏ trong mặt cắt theo diện tích Hình 6). Các vách dốc này là sườn bóc mòn kiến tạo thuộc kiểu địa hình có nguồn gốc kiến tạo. Các đường mặt cắt độc lập trên A - A' và B - B' có phân tán mạnh nên biểu thị khu vực có nền địa hình chịu chế độ bóc mòn mạnh, thiếu tính ổn định do tác động của hoạt động kiến tạo hiện đại.

Trên cơ sở phân tích đặc điểm địa hình, địa mạo, nhóm nghiên cứu chia khu vực nghiên cứu thành 3 vùng với các đặc trưng cơ bản như sau: Vùng I. Trên mô hình DEM, đường đứt gãy thể hiện rõ nét tuy nhiên chúng không định hướng theo các phương cố định và bị phân cắt bởi thung lũng hẹp kéo dài, độ nổi địa hình khá thấp và thung lũng này cũng là nơi tập trung của hệ thống lineament tây bắc đông nam (Hình 6a). Vùng II. Có độ nổi thấp hơn 2 vùng kề cận nhưng chúng cũng có biểu hiện nâng rõ rệt khi các hệ thống núi có mật độ mạng lưới rãnh sỏi dày đặc có thể do hoạt động kiến tạo của hệ thống đứt gãy tây bắc - đông nam khiến mực xâm thực cơ sở thay đổi và từ đó gây ra các thung lũng sông có vách dốc.



Hình 5. Mô hình các dạng địa liên quan tới hệ thống trượt bằng (Burbank & Anderson, 2011). (OC - offset channel: các sông núi và dòng chảy bị dịch chuyển, BC - beheaded channel and ridges: dòng chảy và sông núi bị cắt đứt).

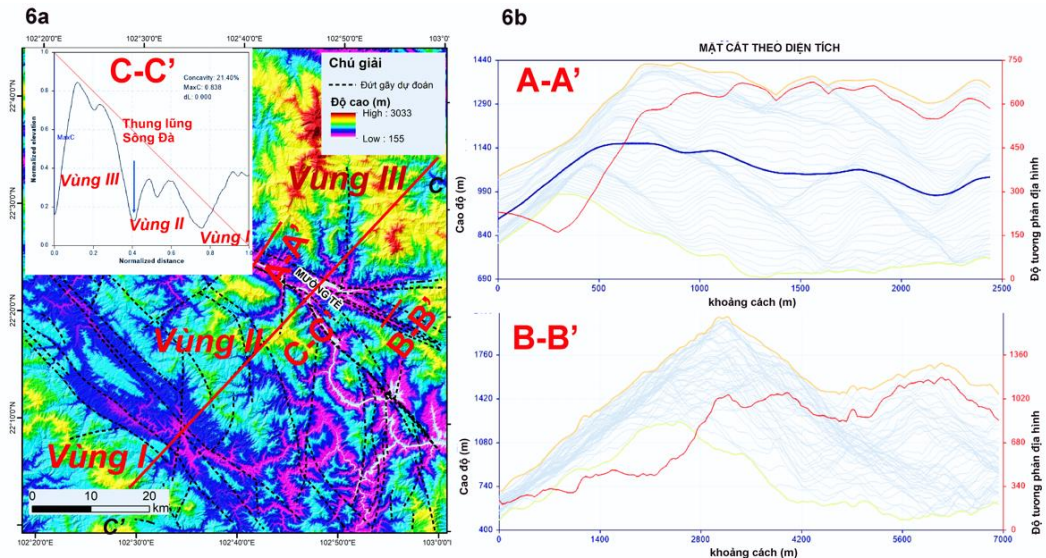
Cánh phía đông có địa hình cao hơn với vách đá dựng đứng tạo nên bởi các hệ tầng sông Đà và Suối Bàng khi đối chiếu với bản đồ địa chất. Dọc theo đới này cũng phát triển kiểu địa hình khuếch tán mạnh do đặc điểm thạch học hai hệ tầng sông Đà và Suối Bàng có tính dễ bị bóc mòn đồng thời có sự tác động bởi nhiều đới dăm kết kiến tạo làm cho quá trình phong hóa xảy ra rất mạnh. Vùng III. Cấu thành kiểu địa hình này chủ yếu là các đá granit của phức hệ Phu Si Lung có mức độ chịu phong hóa bóc mòn cao. Đây là vùng có địa hình cao nhất trong vùng bao gồm các dải núi chạy theo một phương tây bắc - đông nam và chúng bị phân cắt bởi các hệ thống lineament theo hướng á kinh tuyến tạo thành miền địa hình riêng biệt và nổi bật so với vùng lân cận. Trên cơ sở các kết quả giải đoán như vách kiến tạo, sự phân dải định hướng của địa hình, cũng như sự phân bố về độ dốc và quá trình phân tích diễn động dòng chảy sông nhóm nghiên cứu tiến hành xác định và xây dựng bản đồ về sự phân bố của các hệ thống lineament trong khu vực nghiên cứu (Hình 6).

Hệ thống lineament phương tây bắc - đông nam: hệ thống lineament này phát triển xuyên suốt qua toàn khu vực nghiên cứu và có biểu hiện về mặt địa hình rõ nét bởi chính các sườn kiến tạo và sự tập trung của kiểu địa hình có độ dốc cao. Theo phương này, lineament phát triển dọc theo các thung lũng cùng phương tây bắc - đông nam phân chia địa hình thành các khối tương phản rõ

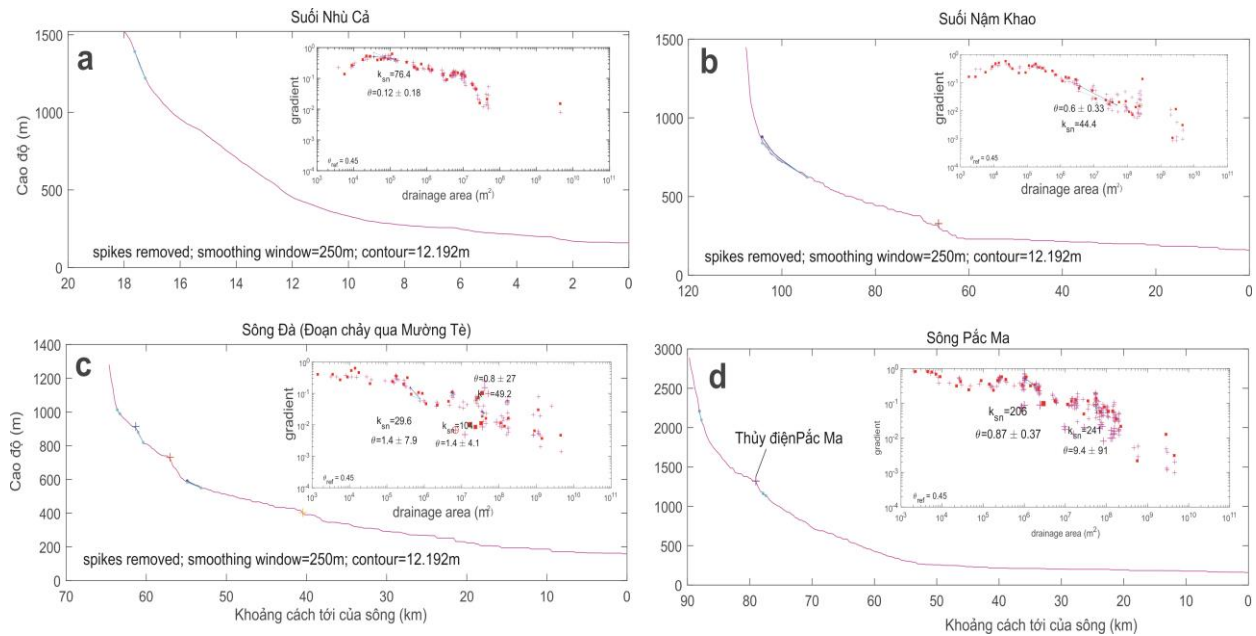
ràng ngăn cách bởi các thung lũng hẹp kéo dài. Hệ thống lineament phương đông bắc - tây nam phân bố chủ yếu ở phía Đông khu vực Mường Tè, bao gồm các hệ thống lineament cắt ngang thung lũng sông Đà. Theo phương này, lineament chủ đạo phát triển theo phương cấu trúc đứt gãy, ít khi liên quan tới phương của cấu trúc thạch học. Hệ thống này có thể là hệ thống đứt gãy kéo theo cộng sinh dọc đứt gãy sông Đà theo mô hình cấu tạo Enchelon (Burbank & Anderson, 2011). Hệ thống lineament phương á kinh tuyến bao gồm hệ thống đứt gãy khu vực phía bắc kéo tới trung tâm khu vực nghiên cứu, các hệ thống lineament này liên quan đến đứt gãy có tính chất thuận/nghịch nhiều hơn và chúng cũng hình thành kiểu cộng sinh với hệ thống tây bắc đông nam trong hệ thống Reidel. Hệ thống lineament này kéo dài có biểu hiện dịch trượt cắt qua các hệ thống đông bắc - tây nam. Về kích thước các lineament có thể rất nhỏ từ vài đến vài chục km, biểu hiện các đường nét rất rõ ràng (Hình 6).

4.2. Kết quả phân tích các chỉ số địa mạo dòng chảy

Các giá trị k_{sn} dọc theo các con sông riêng lẻ được biến đổi trong các mặt cắt phía dưới (Hình 7), dòng chảy thể hiện 1÷2 giá trị k_{sn} khác nhau liên quan đến các phân đoạn hồi quy khác nhau được phân tách bởi các điểm giao của sông. Dải địa hình Vùng I và Vùng III cho thấy địa hình nâng cao



Hình 6. Mặt cắt theo diện tích A - A', B - B' và C - C'. Vị trí mũi tên chỉ màu đen là khu vực thung lũng sông Đà và thung lũng Mường Tè. Sườn thung lũng này chỉ rõ phân cắt của địa hình liên quan tới bề mặt sườn kiến tạo (triangular facet).



Hình 7. Phân tích mặt cắt dòng chảy của một số sông, suối điển hình đi kèm giá trị độ dốc chuẩn hóa (k_{sn}) được thể hệ cho từng đoạn dòng chảy riêng biệt. a) Suối Nhù Cả đặc trưng cho dòng chảy ổn định với đường cong trơn. b) Suối Nậm Khao có một điểm giao (dấu cộng đỏ) tại ranh giới thạch học. c) Đoạn thượng sông Đà có các điểm giao (dấu cộng đỏ) liên quan tới đứt gãy hoạt động. d) Sông Pắc Ma có điểm giao (dấu cộng đỏ) liên quan tới thủy điện Pắc Ma.

mạnh hơn vùng trung tâm tạo nên các sông dốc và sông ngắn, các giá trị chỉ số độ dốc chuẩn hóa cao, điều này cho thấy độ nâng tương đối về mặt không gian với cánh phải của đứt gãy sông Đà. Ở Vùng II, các con sông phát triển dài và các giá trị chỉ số độ dốc tương đối thấp, biểu thị mức độ hoạt động kiến tạo mờ nhạt hơn so với 2 vùng lân cận, sự phân hóa này có thể là hệ quả liên quan đến hoạt động đứt gãy dọc thung lũng sông Đà tạo ra sự nâng hạ cục bộ trên từng vùng địa hình. Cụ thể, giá trị k_{sn} tính toán đều cao hơn $150 \text{ m}^{0,9}$ phổ biến hơn nhiều ở phía bắc, nơi của dải địa hình tiếp giáp với sông Đà (Hình 8). Ngược lại, ở trung tâm của khu vực nghiên cứu, chỉ một số đoạn sông có giá trị k_{sn} cao còn lại hầu hết các đoạn sông ở hai bên này cho giá trị k_{sn} thấp (khoảng 20 đến dưới $100 \text{ m}^{0,9}$). Hầu hết các điểm giao được xác định ở các vị trí có sự thay đổi chỉ số k_{sn} và có liên quan tới các đứt gãy dự đoán (Hình 8).

Những kết quả này cho thấy sự thay đổi không gian trong các mô hình nâng hạ kiến tạo có tính chuyển tiếp khi cắt qua thung lũng sông Đà từ Vùng II sang Vùng III. Rõ ràng rằng, chỉ số độ dốc có tính phân hóa trong thành từng miền giá trị

riêng biệt và bị phân hóa bởi các sườn kiến tạo, tương ứng với với từng khối địa hình có tính chất nâng - hạ kiến tạo khác nhau (Hình 8).

5. Thảo luận

Hình thái động học của cấu trúc cấu kiến tạo khu vực này có dấu ấn rõ nét bởi hệ quả của va chạm kiến tạo giữa mảng Ấn Độ và mảng Á - Âu (Faure và nnk., 2014), chuyển động kiến tạo gần đây ở miền Bắc Việt Nam phản ánh nhiều pha hoạt động của đứt gãy trượt bằng như gãy sông Hồng, Điện Biên - Lai Châu, đứt gãy sông Đà. Trong khi đó, các đặc tính dòng chảy như đã phân tích thì khu vực này còn phản ánh sự nâng - hạ cục bộ vẫn xảy ra phổ biến, chúng là dấu hiệu của các hệ thống đứt gãy thuận - nghịch đang hoạt động trong khu vực này. Kết quả nghiên cứu của gần đây (Dinh và nnk., 2019) cho thấy rằng khu vực có thể chịu ảnh hưởng của sự hoán vị của giá trị σ_1/σ_2 trong cùng 1 trường căng giãn σ_3 theo phương đông bắc - tây nam. Cơ chế kiến tạo này khiến sự có mặt đồng thời của cả hiện tượng trượt bằng và trượt thuận trong cùng một quan hệ không gian và thời gian và phù hợp với kết quả của nghiên cứu này.

Sự hoạt động của đứt gãy sông Đà trong khu vực nghiên cứu phù hợp với mô hình đứt gãy trượt bằng kèm theo việc nâng hạ cục bộ theo cấu trúc đứt gãy hoa âm - hoa dương (Burbank & Anderson, 2011) làm cho vùng thung lũng Mường Tè có dạng rất hẹp kéo dài theo phương tây bắc - đông nam phù hợp với dạng bồn trũng kéo toạc pull - apart (Hình 9). Các đứt gãy thuận nghịch mang vai trò kéo theo nhưng là đứt gãy tác động chính tới mặt cắt dòng chảy theo đã phân tích theo phương pháp địa mạo.

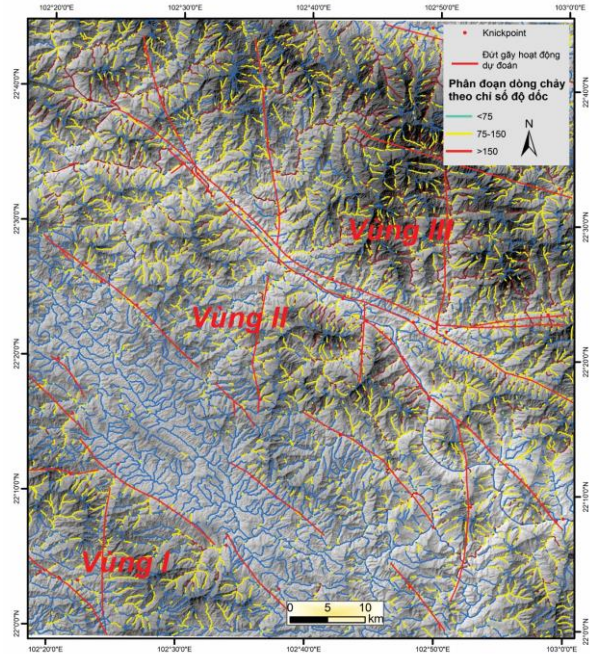
Từ các phân tích trên cho thấy, khu vực Mường Tè tồn tại nhiều hệ thống đứt gãy và chúng đang có biểu hiện hoạt động rõ nét. Các hệ thống đứt gãy trong khu vực có khả năng sinh chấn với cường độ động đất lớn hơn 6,0 độ richter xảy ra trong lịch sử được ghi lại trong khu vực tây bắc (Dinh và nnk., 2019).

6. Kết luận

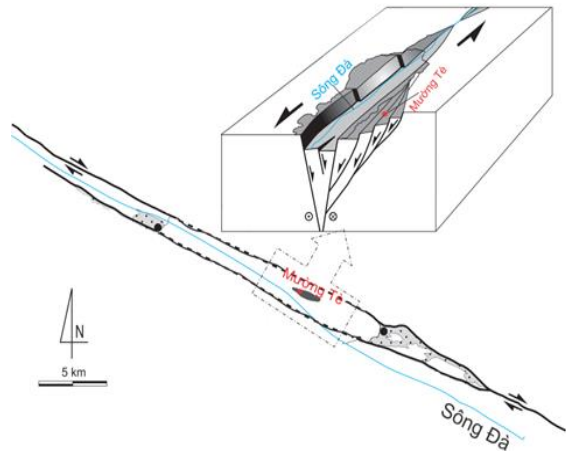
Kết quả giải đoán mô hình DEM ALOS từ ảnh 12,5 m ALOS và phân tích biến động dòng chảy sông trên quan điểm địa mạo - tân kiến tạo trong khu vực Mường Tè cho phép phân chia vùng nghiên cứu thành 3 miền địa hình với độ tương phản rõ rệt kèm theo đặc tính dòng chảy khác biệt đi cùng với hệ thống lineament tin cậy. Hệ thống dòng chảy được trẻ hóa mạnh mẽ dưới tác động của hoạt động kiến tạo rõ nét trong khu vực làm thay đổi mực xâm thực cơ sở của hệ thống thủy văn. Hoạt động đứt gãy kiến tạo có vai trò thành tạo và khống chế địa hình, tạo thành các dải địa hình với độ nổi cao kéo dài theo phương tây bắc - đông nam. Đứt gãy sông Đà đoạn chảy qua Mường Tè - Lai Châu có dấu hiệu hoạt động khá mạnh mẽ và mang tính động lực chính trong khu vực và kéo theo quá trình trượt đã hình thành nên các hệ thống đứt gãy cộng ứng dọc có tính chất khác nhau theo đứt gãy sông Đà. Từ các biểu hiện hoạt động kiến tạo hiện đại của các hệ thống đứt gãy hoạt động cho thấy khu vực nghiên cứu có khả năng sinh chấn cao và chứa nhiều rủi ro về tai biến địa chất.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài cấp cơ sở mã số T23 - 21 do trường Đại học Mỏ - Địa chất chủ trì và sự hỗ trợ tài liệu từ đề tài mã số



Hình 8. Bản đồ phân đoạn dòng chảy theo giá trị chỉ số độ dốc chuẩn hóa (k_{sn}) và vị trí của các điểm giao dọc theo các hệ thống dòng chảy. Các màu khác nhau đại diện cho các giá trị khác nhau của k_{sn} .



Hình 9. Mô hình giải thích sự liên quan giữa hệ thống trượt bằng và trượt thuận - nghịch của khu vực Mường Tè.

ĐTĐLCN.58/22 do Bộ Khoa học và Công nghệ hỗ trợ kinh phí.

Đóng góp của các tác giả

Vũ Anh Đạo - xử lý số liệu, xây dựng mô hình, đưa ra ý tưởng và viết bài báo; Ngô Xuân Thành và

Trần Thanh Hải - tham gia thảo luận ý tưởng, bố cục bài báo; Nguyễn Quốc Hưng - xây dựng mô hình kiến tạo; Bùi Thị Thu Hiền, Phan Văn Bình, Nguyễn Hữu Hiệp - xử lý ảnh viễn thám cho bài báo; Đinh Quốc Văn - cung cấp một phần bộ ảnh viễn và thảo luận ý tưởng bài báo.

Tài liệu tham khảo

- Burbank, D. W., & Anderson, R. S. (2011). *Tectonic geomorphology*. John Wiley & Sons.
- DiBiase, R. A., Heimsath, A. M., & Whipple, K. X. (2012). Hillslope response to tectonic forcing in threshold landscapes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(8), 855 - 865.
- Dinh, T. H., Chan, Y. C., Chang, C. P., Chen, C. T., & Hsu, Y. C. (2021). Deformation patterns and potential active movements of the Fansipan mountain range, northern Vietnam. *International Journal of Earth Sciences*, 110, 35 - 51.
- Faure, M., Lepvrier, C., Van Nguyen, V., Van Vu, T., Lin, W., & Chen, Z. (2014). The South China block - Indochina collision: Where, when, and how?. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79, 260 - 274.
- Hung The Khuong, (2016). Application of digital elevation model for interpretation of geological structures: a case study of the Dien Bien area, Northwestern Vietnam. *Journal of Mining and Earth Sciences*, vol. 56, 38-48.
- Hung The Khuong, (2021). Identification of Deep Tectonic Structures of the Pho Lu area, northwestern Vietnam using Digital Elevation Model and Earth focal mechanism, *Journal of Mining and Earth Sciences*, vol. 62(3). 75-86.
- Kirby, E., & Whipple, K. (2001). Quantifying differential rock - uplift rates via stream profile analysis. *Geology*, 29(5), 415 - 418.
- Lai, K. Y., Chen, Y. G., & Lâm, D. Đ. (2012). Pliocene - to - present morphotectonics of the Dien Bien Phu fault in northwest Vietnam. *Geomorphology*, 173, 52 - 68.
- Snyder, N. P., Whipple, K. X., Tucker, G. E., & Merritts, D. J. (2000). Landscape response to tectonic forcing: Digital elevation model analysis of stream profiles in the Mendocino triple junction region, northern California. *Geological Society of America Bulletin*, 112(8), 1250 - 1263.
- Tri, T.V., Khuc, V. (Eds.), (2011). *Geology and Earth Resources of Vietnam*. Publishing House for Science and Technology, Hanoi, Vietnam (645 pp.).
- Whipple, K. X., Wobus, C., Crosby, B., Kirby, E., & Sheehan, D. (2007). New tools for quantitative geomorphology: extraction and interpretation of stream profiles from digital topographic data. *GSA Short Course*, 506, 1 - 26.
- Wobus, C., Whipple, K. X., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropolou, K., ... & Sheehan, D. (2006). Tectonics from topography: Procedures, promise, and pitfalls. In: Special Paper 398: Tectonics, Climate, and Landscape Evolution. *Geological Society of America*, 55 - 74.