Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất, 38 (1), 1-13

(VAST)

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất
Website: http://www.vjs.ac.vn/index.php/jse

Phân tích mối tương quan giữa các chỉ số địa mạo và hoạt động Kiến tạo hiện đại của đới đứt gãy Sông Lô khu vực rìa tây nam dãy Tam Đảo

Ngô Văn Liêm*[1], Phan Trọng Trịnh[1], Hoàng Quang Vinh[1], Nguyễn Văn Hướng[2], Nguyễn Công Quân[1], Trần Văn Phong[1], Nguyễn Phúc Đạt[3]

[1]*Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

[2]*Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội*

[3]*Phòng Kiến tạo - Địa mạo, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản*

Chấp nhận đăng: 15 - 3 - 2016

ABSTRACT

Analyze the correlation between the geomorphic indices and recent tectonic active of the Lo River fault zone in southwest of Tam Dao range

The Lo River Fault Zone in southwest of Tam Dao mountain range is believed to be manifestations of an active normal fault. We evaluated the relative active tectonics using three geomorphic indices: hypsometric curves (HC) or hypsometric integral (HI), mountain front sinuosity (Smf) and stream-length gradient (SL). SL index represents the value in the range of 4 to 1325 (gradient - meter). The higher the value SL focuses primarily on central segment. Smf index have values from 1.10 to 8.07, depending on the calculated basin and can be divided into 3 segments: north, center and south with corresponding average values of 5.57, 1.82 and 5.15, respectively. The HI indices of 28 key basins ranging from 0.039 to 0.398 and the dominantly concave hypsometric curves show a weak activity of recent tectonics, especially the vertical slips. The Lo River Fault in this area can be divided into 3 segments: north and south segments show almost inactive, central segment have expressed of recent active tectonic but also not really clear.

Keywords: Geomorphic indices, Active tectonic, Lo River Fault Zone, Tam Dao.

©2016 Vietnam Academy of Science and Technology

1. Mở đầu

Phân tích định lượng các chỉ số địa mạo có nhiều ý nghĩa trong việc xác định hoạt động kiến tạo bởi vì chúng có mối quan hệ rất chặt chẽ với nhau (Strahler, 1952; Bull and McFadden, 1977; Keller et al., 2000; Keller and Pinter, 2002; Joshi et al., 2013). Hoạt động của các đứt gãy kiến tạo sẽ tác động đến các đặc trưng địa mạo của các khu vực bị ảnh hưởng. Các đứt gãy hoạt động và các khối cấu trúc thường có các dạng địa hình đặc trưng để xác định các phân đoạn địa mạo hoặc các cấu trúc khác nhau dọc đứt gãy và xác định được phân đoạn hoạt động mạnh nhất (Azor, et al., 2002; Font et al., 2010). Nghiên cứu chi tiết về sự bất thường của mạng lưới dòng chảy cùng với các chỉ số địa mạo có thể xác định được các phân đoạn và cường độ tương đối của hoạt động kiến tạo dọc đứt gãy (Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Joshi et al., 2013).

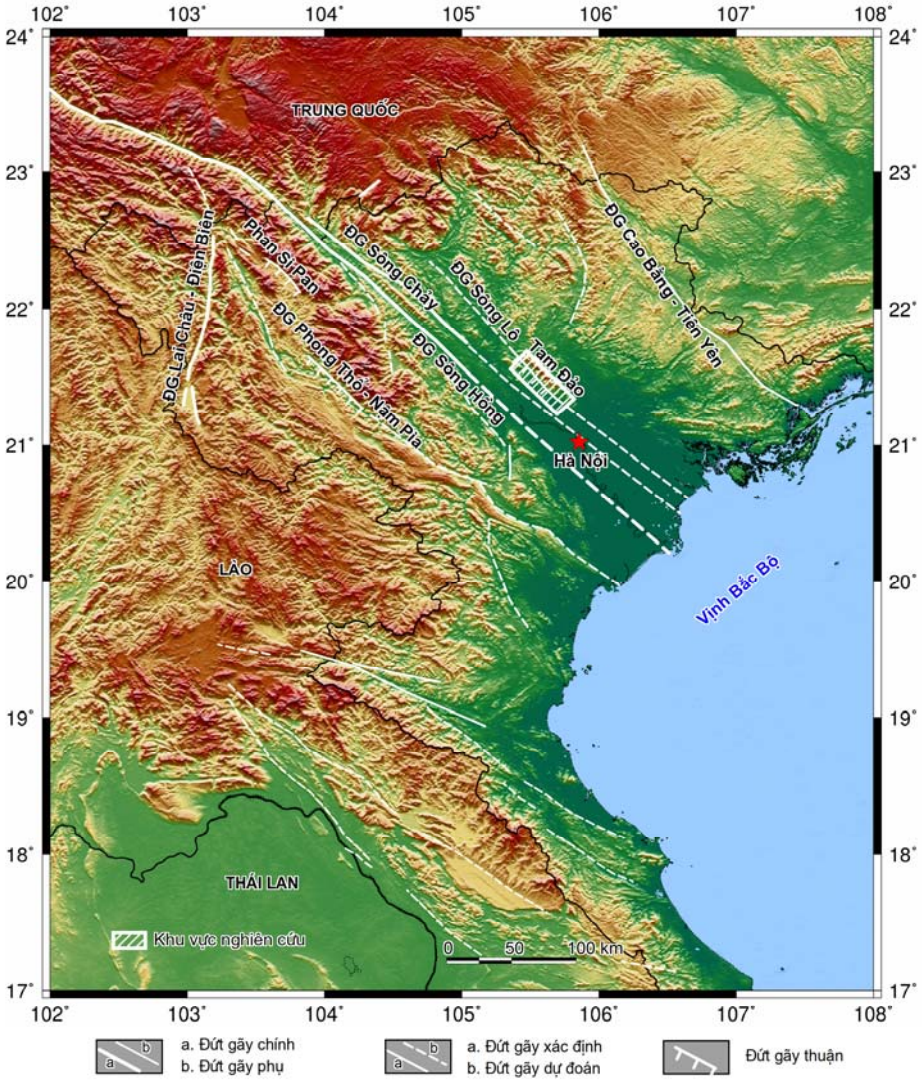
*Tác giả liên hệ, Email: liem.igsvn@gmail.com

Ngày nay, với sự phát triển mạnh mẽ của các phần mềm GIS cho phép xác định các chỉ số địa mạo một cách nhanh chóng và chính xác (Troiani and Della Seta, 2008). Vì vậy, nghiên cứu mối tương quan giữa sự biến đổi của các chỉ số địa mạo và hoạt động kiến tạo đã được thực hiện ở nhiều khu vực với nhiều đới đứt gãy có mức độ hoạt động kiến tạo khác nhau như nghiên cứu ở phía nam địa hào Rhine ở Trung Âu (Giamboni và nnk, 2005), khu vực nội mảng Normandy ở tây bắc nước Pháp (Font et al., 2010, miền trung Italia (Troiani and Della Seta, 2008), tây nam nước Mỹ (Bull and McFadden, 1977), bờ biển Thái Bình Dương của Costa Rica (Wells et al., 1988), bờ biển Địa Trung Hải của Tây Ban Nha (Silva et al., 2003), khu vực Midcontinent của Mỹ (Adams, 1980), lưu vực Ventura phía nam California (Azor et al., 2002), khu vực Marrakech High Atlas của Ma Rốc (Delcaillau et al., 2010), đứt gãy Central Range phía đông Đài Loan (Bruce et al., 2006) và đứt gãy Narmada-Son phía tây Ấn Độ (Joshi et al., 2013),... Tuy nhiên, ở Việt Nam việc nghiên cứu phân tích định lượng các chỉ số địa mạo vẫn còn rất hạn chế, các nghiên cứu địa mạo phần lớn mới chỉ dừng lại ở mức độ định tính. Bài báo này sẽ trình bày các phân tích, đánh giá định lượng các chỉ số địa mạo và mối liên quan của chúng đối với hoạt động kiến tạo hiện đại dọc đới đứt gãy Sông Lô, khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo. Đây là khu vực được cho là có biểu hiện rõ nét của hoạt động đứt gãy thuận trong giai đoạn kiến tạo trẻ - hiện đại (N.Q. Cuong, et al., 1999, 2001; Vũ Văn Chinh, 2001; Witold et al., 2013; P.T. Trinh, 1994, 2004).

2. Khái quát về kiến tạo - địa mạo khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu là dải sườn, thung lũng và đồng bằng trước núi phía tây nam dãy núi Tam Đảo, kéo dài gần 70km theo phương tây bắc-đông nam từ phía nam Sơn Dương (Tuyên Quang) đến phía tây bắc Sóc Sơn (Hà Nội) (hình 1). Đóng vai trò kiến tạo chính, khống chế và tác động đến lịch sử hình thành, phát triển các dạng địa hình trong khu vực là đới đứt gãy Sông Lô. Đới đứt gãy này nằm gần như trùng với dải địa hình thấp dưới chân sườn của dãy núi Tam Đảo, có phương tây bắc - đông nam, phát triển cắt qua một loạt các thành tạo địa chất có tuổi từ Paleozoi sớm đến Kainozoi và gần như song song với đới đứt gãy Sông Hồng. Nhiều nghiên cứu cho rằng, nó là một trong những hợp phần của hệ thống đứt gãy Sông Hồng (N.Q. Cuong et al., 1999, 2001; Zuchiewicz et al., 2013; Phan Trọng Trịnh và nnk, 2004). Đới đứt gãy thể hiện rõ trên ảnh vệ tinh và mô hình số địa hình bởi một dải trũng, độ cao dưới 200m, bắt đầu từ Bắc Quang chạy dọc thung lũng sông Lô, sông Đáy, chiều rộng trung bình trong khoảng 5-7km; hẹp nhất là 2km; rộng nhất ở khu vực thành phố Tuyên Quang, tới 10-11km. Bên phải các dải trũng là các dãy núi có độ cao trung bình 200-500m, còn bên trái là các dãy núi Khao Nhi và Tam Đảo có độ cao trên 1000m (hình 1).

Trong Kainozoi, giống như đới đứt gãy Sông Hồng, đới đứt gãy Sông Lô cũng trải qua hai pha kiến tạo chính. Pha sớm (trước Pliocen) chuyển động với cơ thức trượt bằng trái và pha muộn (từ Pliocen - Đệ tứ) chuyển động với cơ thức trượt bằng phải - thuận. Theo Vũ Văn Chinh (2001), biên độ trượt trái có thể trên 2km ứng với tốc độ lớn hơn 0,2 mm/năm. Biên độ trượt bằng phải theo trầm tích Đệ tứ có thể tới 5km, ứng với tốc độ trên 3 mm/năm, và theo biến dạng dòng chảy là 1,8 km, với tốc độ trên 1 mm/năm. Theo chiều từ tây bắc xuống đông nam, tính chất trượt bằng phải giảm, thay vào đó là sự tăng dần của tính chất trượt thuận. Theo đó, khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo, được coi là sự thể hiện rõ nhất về tính chất trượt thuận của đứt gãy này thông qua các quan sát, phân tích trên ảnh vệ tình, mô hình số độ cao và trên địa hình thực tế với sự tồn tại của các vách kiến tạo, các mặt facet tam giác,... (P.T. Trinh, 1994; 2004; N.Q. Cuong, et al., 1999; Vũ Văn Chinh, 2001; Witold Zuchiewicz et al., 2013).



Hình 1. Sơ đồ các đứt gãy có khả năng hoạt động chính Miền Bắc Việt Nam và khu vực nghiên cứu

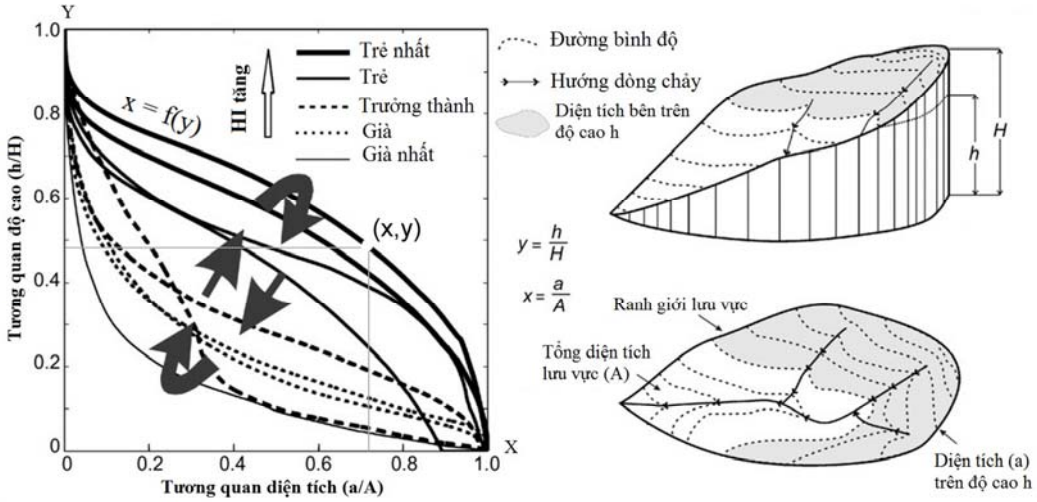
3. Phương pháp nghiên cứu

Ở nghiên cứu này, để đánh giá mức độ hoạt động của của đứt gãy Sông Lô, chúng tôi phân tích chi tiết các chỉ số địa mạo của khu vực rìa tây nam dãy Tam Đảo sử dụng mô hình số độ cao (DEM) và các phần mềm GIS. Chúng tôi sử dụng dữ liệu DEM có độ phân giải 30m được cung cấp bởi Cơ quan Địa chất Mỹ (United States Geological Survey - USGS). DEM được phân tích bởi phần mềm GIS, đây là công cụ rất hữu hiệu, đảm bảo tính chính xác, nhanh chóng và ít tốn kém trong việc tính toán các thông số hình thái. Các tính toán trong nghiên cứu này được thực hiện bằng phần mềm ArcGIS 10.1 và MATLAB 2012a. Các chỉ số địa mạo được tính toán, phân tích bao gồm: đường cong độ cao (Hypsometric Curve - HC, dưới đây gọi là đường cong HC) hay tích phân độ cao (Hypsometric Integral - HI), độ uốn khúc trước núi (Mountain - front sinuosity - S_{mf}) và gradient chiều

dài dòng chảy (SL - Stream Length - Gradient Index). Đây là các chỉ số rất nhạy cảm với hoạt động kiến tạo hiện đại (Keller and Pinter, 2002).

3.1. Phương pháp đường cong HC và chỉ số HI

Đường cong độ cao (Hypsometric Curve-HC) mô tả sự phân bố của độ cao dọc một khu vực mặt đất với quy mô khác nhau, có thể từ một lưu vực sông cho đến toàn bộ trái đất. Đường cong được xác định bởi mối quan hệ giữa tương quan độ cao (h/H) và tương quan diện tích (a/A) của lưu vực (Strahler, 1952; Keller àn Pinter, 2002) (hình 2).



Hình 2. Các đường cong HC cơ bản và chu trình phát triển địa mạo thể hiện qua sự thay đổi của đường cong HC (Theo Strahler, 1952; Mahmood và Gloaguen, 2012)

Một cách đơn giản để mô tả hình dạng của đường cong HC đối với một lưu vực sông suối là tính chỉ số HI. Chỉ số này được xác định như là phần diện tích phía dưới đường cong HC và có thể được tính như sau:

$$HI = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad (1)$$

Trong đó: HI là tích phân độ cao; H_{max} là giá trị độ cao lớn nhất; H_{min} là giá trị độ cao nhỏ nhất và H_{mean} là giá trị độ cao trung bình.

Các giá trị trong công thức (1) có thể xác định được bằng việc phân tích DEM bởi các phần mềm GIS. Đường cong HC và chỉ số HI là công cụ rất hữu ích để xác định các giai đoạn phát triển của lưu vực sông suối (Strahler, 1952). Nếu đường cong HC có dạng lồi thể hiện đặc trưng địa hình lưu vực tương đối trẻ; đường cong có hình dạng chữ "S" đặc trưng cho các lưu vực bị xói mòn tương đối và khi đường cong có dạng lõm đặc trưng cho địa hình lưu vực sông suối tương đối cổ (Strahler, 1957; Delcaillau et al., 1998; Keller and Pinter, 2002) (hình 2).

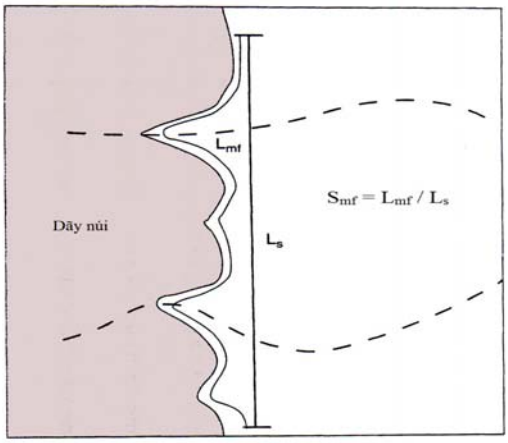
3.2. Độ uốn khúc trước núi (Mountain - front sinuosity)

Độ uốn khúc trước núi được tính theo công thức (Bull and McFadden, 1977; Keller and Pinter, 2002):

$$S_{mf} = L_{mf} / L_s \quad (2)$$

Trong đó: S_{mf} - là độ uốn khúc trước núi; L_{mf} - là chiều dài của mặt trước núi dọc theo đường chân núi, nơi có sự thay đổi rõ rệt nhất của độ dốc; và L_s - là chiều dài theo đường thẳng của mặt trước núi (hình 3).

S_{mf} là một chỉ số phản ánh mối tương quan giữa các lực gây xói mòn dẫn đến hình thành các "vịnh" (embayment) trước núi và các lực kiến tạo để hình thành các mặt trước núi có dạng đường thẳng trùng với phạm vi hoạt động của đứt gãy. Như vậy, khi chỉ số S_{mf} nhỏ nó thể hiện hoạt động kiến tạo và nâng mạnh; ngược lại, khi chỉ số S_{mf} lớn nó thể hiện hoạt động xói mòn mạnh và hoạt động kiến tạo yếu, nhiều khi là ngừng hẳn (Keller and Pinter, 2002; Joshi et al., 2013).



Hình 3. Sơ đồ tính toán giá trị độ uốn khúc trước núi (theo Keller và Pinter, 2002)

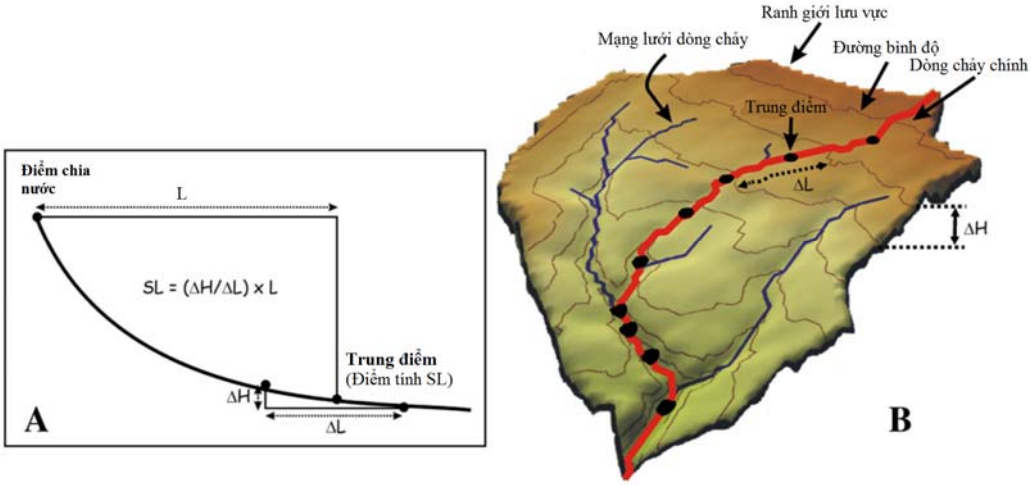
3.2. Chỉ số gradient chiều dài dòng chảy

Chỉ số gradient chiều dài dòng chảy (Stream length-gradient index - SL) được xác định bởi công thức (Hack, 1973):

$$SL = (\Delta H/\Delta L)L \quad (3)$$

Trong đó: SL là chỉ số gradient chiều dài dòng chảy; $\Delta H/\Delta L$ là độ dốc dòng chảy trên đoạn ΔL hay là gradient (ΔH là sự thay đổi độ cao của đoạn dòng chảy ΔL), L là chiều dài của dòng chảy và được tính từ điểm cao nhất của dòng chảy tới điểm tính giá trị SL (hình 4).

Như vậy, chỉ số SL liên quan tới năng lượng của dòng chảy và tính nhạy cảm với sự thay đổi của độ dốc lòng. Chính sự nhạy cảm này cho phép đánh giá mối quan hệ giữa khả năng hoạt động kiến tạo, độ bền của đá và địa hình khu vực.



Hình 4. Mô hình tính toán SL; (A)- Gradient chiều dài dòng chảy theo Hack (1973); (B)- Các yếu tố lưu vực trong tính toán SL

Chỉ số này tăng rõ rệt khi dòng chảy chạy qua các loại đá có độ bền cao. Tuy nhiên, khi dòng chảy trên các đá có độ bền thấp mà có giá trị SL cao thì đó là biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại bởi vì khi đó sự điều chỉnh trắc diện dọc của dòng chảy đối với độ kháng cắt của đất đá được coi là khá nhanh chóng (Keller and Pinter, 2002). Do đó, chỉ số SL được dùng để xác định hoạt động kiến tạo hiện đại. Các khu vực nâng lên được xác định bởi các dị thường cao của giá trị SL trong một phân đoạn dòng chảy với một loại đất đá đặc trưng (Merritts and Vincent, 1989; Brookfield, 1998; Azor et al., 2002; Keller and Pinter, 2002; Chen et al., 2003; Troiani and Della Seta, 2008; Joshi et al., 2013).

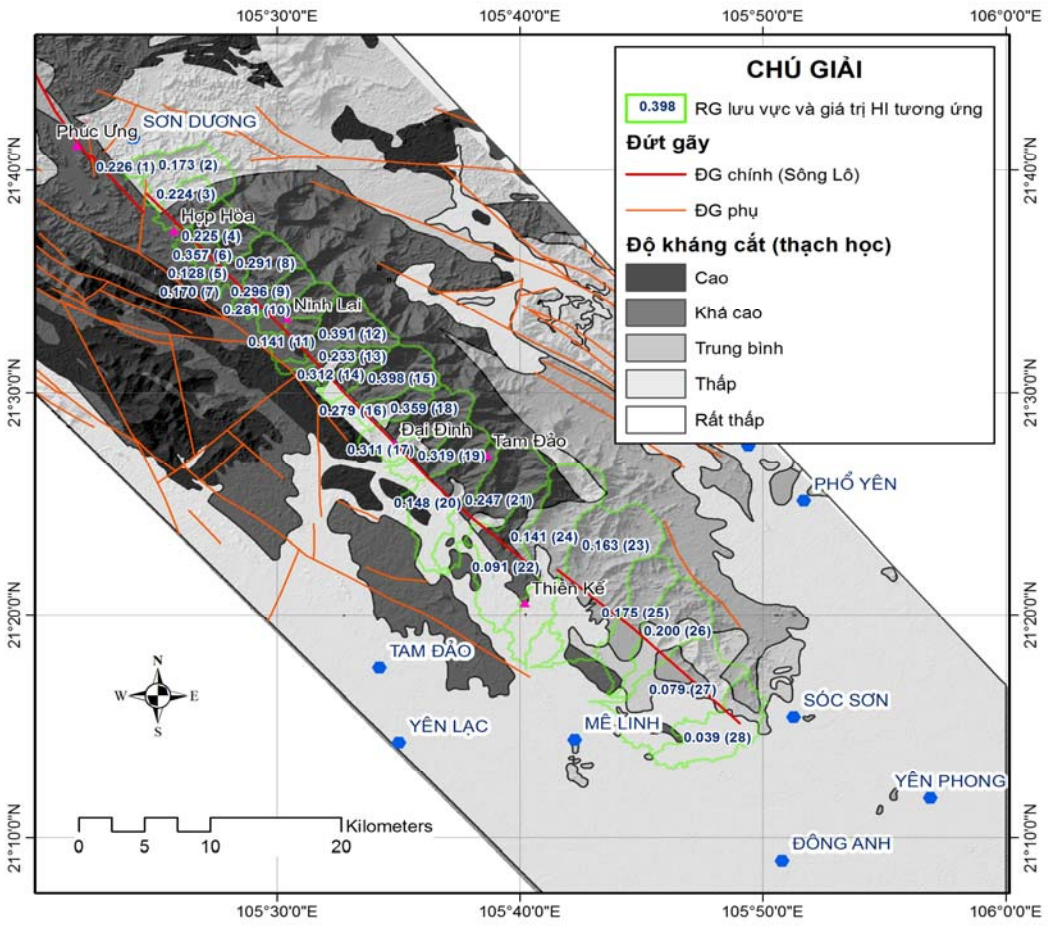
Dị thường thấp của giá trị SL cũng thể hiện của hoạt động kiến tạo khi dòng chảy trong thung lũng có dạng tuyến tính được hình thành do hoạt động của đứt gãy trượt bằng trẻ. Bởi vì các đá trong thung lũng thường bị nghiền nát bởi sự chuyển động của đứt gãy và các dòng chảy qua các thung lũng này có độ dốc nhỏ (Keller and Pinter, 2002).

4. Kết quả

4.1. Phân tích đường cong HC và chỉ số HI

Để xác định đường cong HC và tính các giá trị HI khu vực rìa tây nam dãy Tam Đảo, chúng tôi

tính toán đối với 28 lưu vực chính (hình 5) bằng việc phân tích DEM bởi các công cụ của phần mềm ArcGIS 10.1. Kết quả được thể hiện như bảng 1 và hình 5, 6 (a, b).



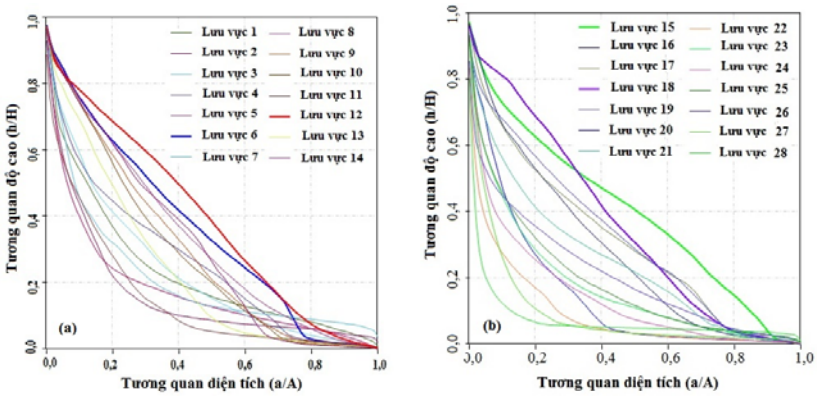
Hình 5. Sơ đồ phân bố các lưu vực và kết quả tính giá trị HI khu vực nghiên cứu

Bảng 1. Kết quả tính giá trị HI của các lưu vực chính trong khu vực nghiên cứu

Lưu vực	H_{Max}	H_{Min}	H_{Mean}	HI	Độ kháng cắt	Lưu vực	H_{Max}	H_{Min}	H_{Mean}	HI	Độ kháng cắt
1	469,0	53,0	147,2	0,226	T	15	1434,0	34,0	590,9	0,398	KC
2	751,0	52,0	173,2	0,173	T	16	1209,0	37,0	363,5	0,279	KC+T
3	750,0	47,0	204,6	0,224	KC+T	17	1410,0	36,0	529,9	0,359	KC+T
4	1242,0	46,0	350,6	0,255	KC	18	1044,0	36,0	349,9	0,311	KC+T
5	550,0	43,0	107,7	0,128	KC	19	1342,0	32,0	450,4	0,319	KC
6	1245,0	43,0	471,7	0,357	KC	20	1268,0	20,0	204,8	0,148	KC+T
7	449,0	41,0	110,3	0,170	KC	21	1300,0	20,0	335,6	0,247	KC+T
8	1373,0	40,0	428,3	0,291	KC	22	1105,0	10,0	109,2	0,091	KC+TB
9	1409,0	39,0	443,9	0,296	KC	23	1296,0	10,0	190,9	0,141	TB+RT
10	1577,0	38,0	471,0	0,281	KC	24	542,0	10,0	96,9	0,163	TB+RT
11	720,0	36,0	132,5	0,141	KC	25	382,0	10,0	75,0	0,175	TB+T
12	1588,0	32,0	641,0	0,391	KC	26	444,0	10,0	96,9	0,200	TB+T
13	1247,0	37,0	318,8	0,233	KC+T	27	460,0	10,0	45,6	0,079	RT+T+TB
14	1429,0	33,0	468,1	0,312	KC	28	295,0	11,0	22,1	0,039	RT+T+TB

Ghi chú: (Độ kháng cắt: RT- Rất thấp, T- Thấp, TB- Trung bình, KC- Khá cao)

Các kết quả trên cho thấy, phần lớn các đường cong HC có hình dạng lõm và tương ứng là các chỉ số HI cũng rất nhỏ (đều nhỏ hơn 0,4). Điều này thể hiện các lưu vực hay địa hình trong khu vực này phần lớn trong giai đoạn ổn định. Tuy nhiên, hình dạng lồi của đường cong cũng xuất hiện trong một số các lưu vực như lưu vực 15, 12, 17 và 6; các chỉ số HI tương ứng lần lượt là 0,398; 0,391; 0,359 và 0,357 (hình 6a, b). Các đường cong và chỉ số này phản ánh giai đoạn hoạt động trẻ hơn ở các lưu vực này.



Hình 6. Đường cong độ cao của các lưu vực trong khu vực nghiên cứu: (a) lưu vực phía bắc (từ lưu vực 1-14); (b) lưu vực phía nam (từ lưu vực 15 - 28); Vị trí lưu vực xem hình 5

4.2. Phân tích độ uốn khúc trước núi (S_{mf})

Đánh giá mức độ trẻ hay cổ của các vách đứt gãy kiến tạo được định lượng thông qua chỉ số S_{mf} (Joshi et al., 2013). Trong nghiên cứu này, giá trị S_{mf} được chúng tôi xác định cho từng lưu vực (phân tích chi tiết) và tính trung bình cho 3 phân đoạn chính bằng việc sử dụng DEM và các công cụ phân tích, tính toán trong ArcGIS. Qua phân tích DEM và đường đẳng cao khu vực chúng tôi thấy các đường có giá trị 80m, 50m, 30m và 20m là nơi có sự thay đổi rõ rệt nhất của độ dốc (đường chân sườn) (hình 7) của các lưu vực tương ứng: 1÷22, 23÷26, 27 và 28. Vì vậy, chiều dài theo đường này (80m, 50m, 30m và 20m) tại các lưu vực được chúng tôi sử dụng trong tính giá trị L_{mf} ở công thức 2. Kết quả tính giá trị S_{mf} khu vực nghiên cứu được thể hiện như trên hình 7 và bảng 2, 3.

Theo các kết quả trên, giá trị S_{mf} của khu vực thay đổi từ 1,10 đến 8,07 tùy theo lưu vực tính toán. Tuy nhiên, có thể chia làm 3 phân đoạn đặc trưng: 1 (phía bắc), 2 (trung tâm) và 3 (phía nam) với giá trị S_{mf} trung bình tương ứng là 5,57; 1,82 và 5,15 (bảng 2, hình 7).

Bảng 2. Kết quả tính độ uốn khúc trước núi đối với các lưu vực

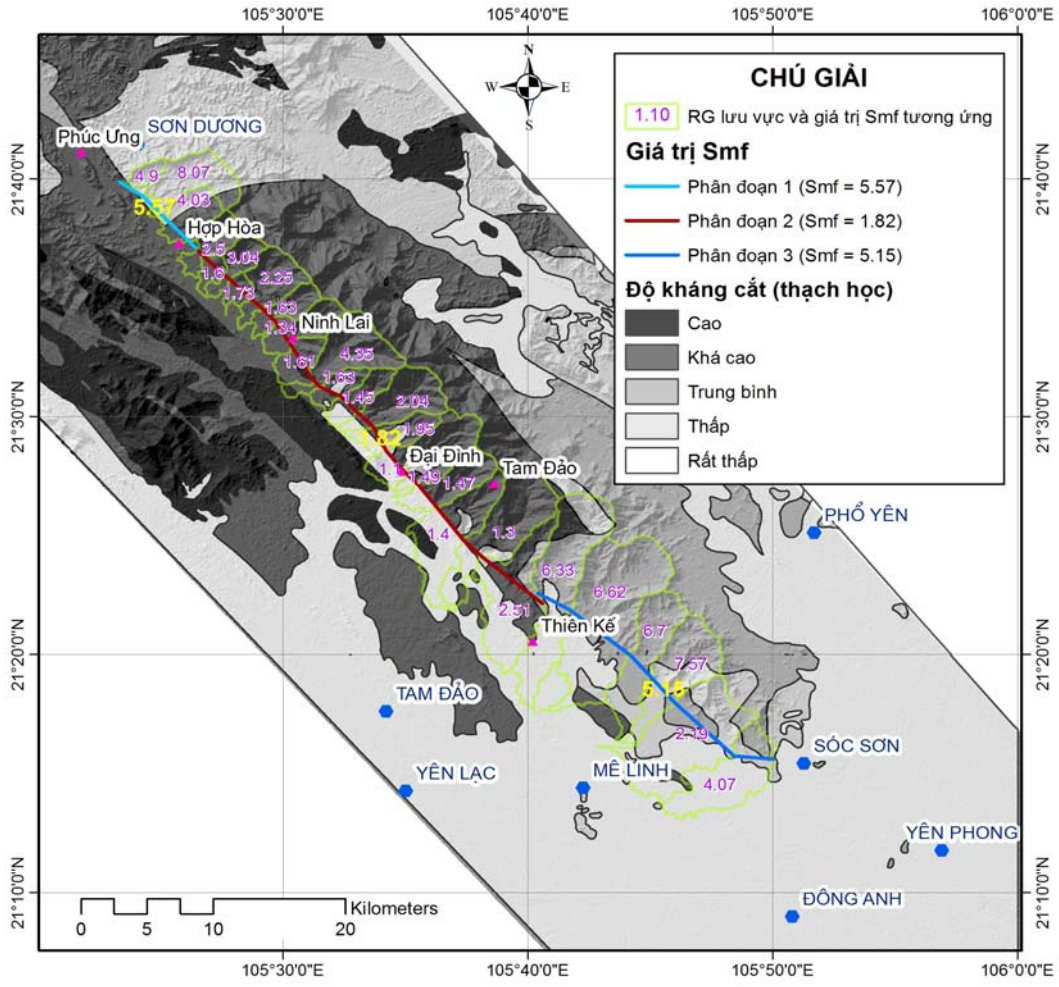
TT	L_{mf}	L_s	S_{mf}	Độ kháng cắt	TT	L_{mf}	L_s	S_{mf}	Độ kháng cắt
1	9701,0	1981,0	4,90	T	15	3080,1	1512,7	2,04	KC
2	19885,3	2464,0	8,07	T	16	4013,1	2053,9	1,95	KC+T
3	12381,7	3075,1	4,03	KC+T	17	3078,1	2066,7	1,49	KC+T
4	2124,7	851,5	2,50	KC	18	1420,7	1287,1	1,10	KC+T
5	3172,6	1984,5	1,60	KC	19	3409,7	2320,8	1,47	KC
6	1546,2	508,6	3,04	KC	20	4402,2	3139,3	1,40	KC+T
7	3527,8	2034,9	1,73	KC	21	2692,6	2069,7	1,30	KC+T
8	2812,2	1249,5	2,25	KC	22	13517,3	5378,2	2,51	KC+TB
9	1898,5	1162,2	1,63	KC	23	18002,5	2720,4	6,62	TB+RT
10	3153,4	2356,4	1,34	KC	24	34541,2	5453,6	6,33	TB+RT
11	4760,7	2960,6	1,61	KC	25	14946,8	2230,3	6,70	TB+T
12	3835,7	882,0	4,35	KC	26	19799,2	2615,7	7,57	TB+T
13	2711,4	1658,7	1,63	KC+T	27	12836,4	5857,0	2,19	RT+T+TB
14	2496,7	1719,4	1,45	KC	28	11252,6	2762,6	4,07	RT+T+TB

Ghi chú: (Độ kháng cắt: RT- Rất thấp, T- Thấp, TB- Trung bình, KC- Khá cao)

Bảng 3. Kết quả tính độ uốn khúc trước núi trung bình theo 3 phân đoạn

Tên phân đoạn	L_{mf}	L_s	S_{mf}	Độ kháng cắt
TĐ 1	41998,89	7541,13	5,57	T+KC
TĐ 2	67622,61	37175,45	1,82	KC+T
TĐ 3	111378,71	21639,65	5,15	TB+T+RT

Ghi chú: (Độ kháng cắt: RT- Rất thấp, T- Thấp, TB- Trung bình, KC- Khá cao)

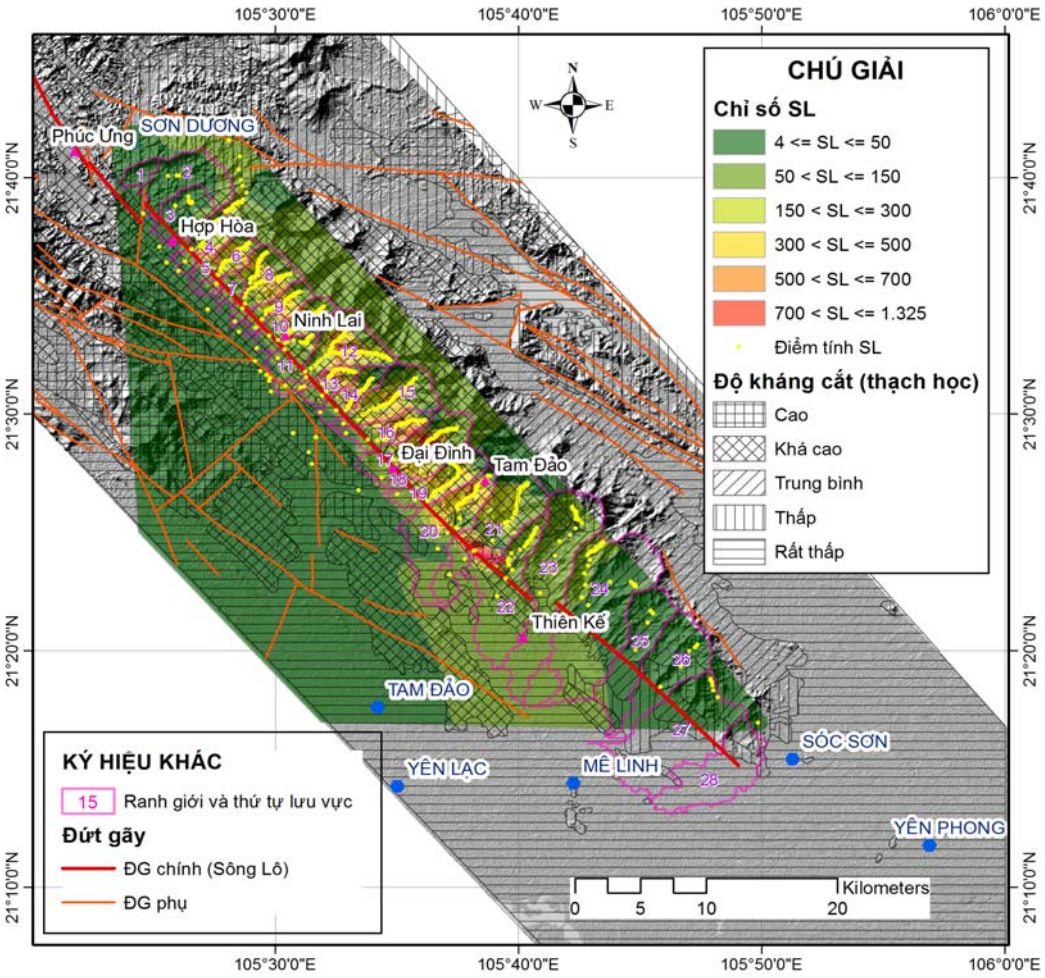


Hình 7. Kết quả tính giá trị Smf khu vực nghiên cứu

4.2. Phân tích chỉ số gradient chiều dài dòng chảy (SL)

Trong nghiên cứu này, giá trị SL được tính bằng phần mềm MATLAB sử dụng công cụ TecDEM (Shahzad et al.; Gloaguen, 2011a, b; Shahzad et al., 2009) với khoảng cao đều 15m (ΔH = 15m) đối với 28 dòng chảy chính.

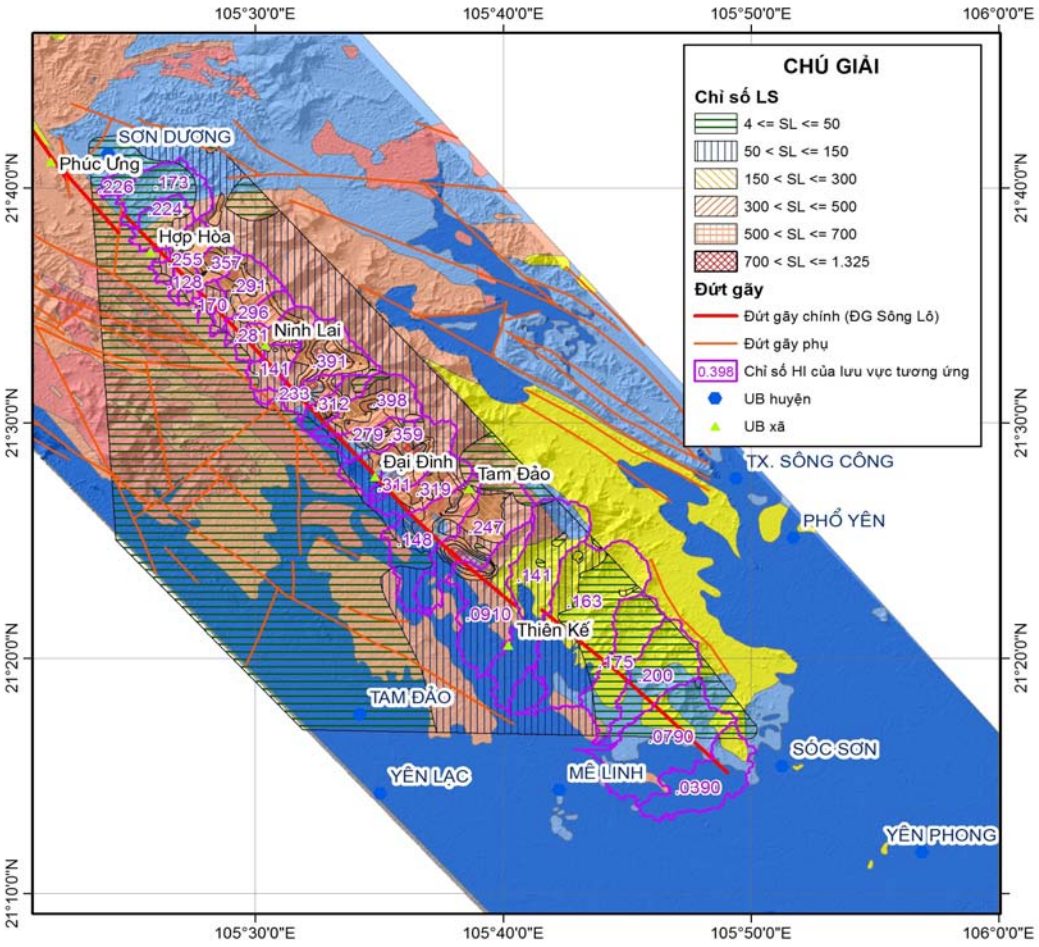
Kết quả xác định được 1082 điểm tính với giá trị SL nằm trong khoảng từ 4 đến 1325 (gradient - m) và được chia làm 6 cấp mức độ như được thể hiện trên hình 8. Theo đó thì giá trị 300<SL<1325 tập trung chủ yếu ở các lưu vực từ 4 đến 22.



Hình 8. Sơ đồ phân bố giá trị SL khu vực nghiên cứu

5. Thảo luận

Để có đánh giá chung về hoạt động kiến tạo khu vực và các yếu tố ảnh hưởng, chúng tôi tích hợp các kết quả về chỉ số địa mạo trên với nền địa chất và đứt gãy kiến tạo. Kết quả về đứt gãy có khả năng hoạt động được chúng tôi phân tích, xác định trên ảnh vệ tinh Landsat ETM$^+$, mô hình số độ cao, ảnh vệ tinh Google Earth và các tài liệu khác. Trong vùng nghiên cứu, nhánh đứt gãy chính của đứt gãy Sông Lô có thể xác định với 3 phân đoạn (hình 9). Nền địa chất chúng tôi sử dụng là bản đồ địa chất tỉ lệ 1:200.000 do Cục Địa chất xuất bản. Để phân biệt các giá trị như các chỉ số liên quan đến nền địa chất, mức độ trung bình khác nhau về mức độ kháng cắt của đất đá được xác định theo loại đá từ thấp tới cao (Mahmood and Gloaguen, 2012). Theo đó, độ kháng cắt thấp nhất là các thành tạo trầm tích Neogen-Đệ tứ (trầm tích bở rời, cuội, sỏi, cát, cuội-sạn kết, cát kết,...), tiếp đến là các đá cuội kết, cát kết, đá phiến sét, bột kết tím đỏ,... (của hệ tầng Tam Lung, Pia Phương, Hà Cối, Phú Ngữ), tiếp nữa là các đá phiến sét, phiến sét vôi, phiến sét sericit, cát kết, bột kết,... (hệ tầng Nà Khuất, Mía Lé), rồi đến các đá đacit porphyr, ryolit, granit dạng porphyr, đá phiến thạch anh, quarzit, đá hoa,... (hệ tầng Tam Đảo, Thác Bà, phức hệ Núi Điệng, Pia Oắc) và cuối cùng là các đá granit 2 mica dạng gneis, granodioritogneis, gabro pyroxen-biotit, điorit (phức hệ Sông Chảy, Núi Chúa) (hình 9).



Hình 9. Phân cấp thạch học, phân bố đứt gãy và các chỉ số địa mạo khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo

Về cơ bản, phần trung tâm rìa tây nam dãy núi Tam Đảo (lưu vực 4 đến 22) được cấu tạo chủ yếu là các đá của hệ tầng Tam Đảo (T_2td: đacit porphyr, ryolit và tuf của chúng) và được xếp vào nhóm có độ rắn chắc cao thứ 2 (hình 9). Ở khu vực này chỉ số SL thể hiện các giá trị cao nhất. Điều này phản ánh đúng mối tương quan tuyến tính của chỉ số SL và độ kháng cắt của đất đá trong khu vực. Tuy nhiên, đi vào chi tiết hơn, chỉ số SL cao được quan sát thấy chủ yếu ở các lưu vực 12, 13, 14, 16, 17, 20, 21 và 22. Phần lớn trong các lưu vực này (5/8 lưu vực: 13, 16, 17, 21 và 22) không phải hoàn toàn được cấu tạo bởi các đá khá rắn chắc của hệ tầng Tam Đảo mà một phần diện tích

khá lớn ở phía tây nam lưu vực (phía chân sườn Tam Đảo) được cấu tạo bởi các đá cuội kết, sạn kết và cát kết tuf của hệ tầng Tam Lung (J_3-K*tl*) với độ rắn chắc kém hơn nhiều (hình 9). Những giá trị SL cao nhất lại nằm trong hoặc gần khu vực được cấu tạo bởi các đá kém ổn định này. Như vậy có thể thấy, giá trị cao của chỉ số SL khu vực này, ngoài phản ánh của độ kháng cắt của đất đá còn biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại. Theo chỉ số SL này, xét một cách tương đối thì hoạt động kiến tạo hiện đại ở khu vực trung tâm dãy Tam Đảo (phân đoạn đứt gãy trung tâm) là mạnh hơn hai phân đoạn phía bắc và phía nam.

Về chỉ số độ uốn khúc trước núi (S_{mf}), nhiều nghiên cứu (Keller, 1986; Bull, 2007; Mahmood et al., 2012) chỉ ra rằng: khi giá trị $S_{mf} < 1,4$ thể hiện cho khu vực có hoạt động kiến tạo hiện đại, khu vực có giá trị $1,4 < S_{mf} < 3$, có thể hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại nhưng ở mức độ yếu hơn và khu vực có giá trị $S_{mf} > 3$ thường thể hiện cho khu vực ổn định trong phạm vi khoảng 1km so với mặt xói mòn hiện tại. Ở khu vực nghiên cứu, phân đoạn trung tâm có giá trị độ uốn khúc trung bình $S_{mf} = 1,82$, nằm trong vùng giá trị có biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại. Tuy nhiên, do phân đoạn này phần lớn nằm trong vùng có độ kháng cắt của đất đá khá lớn, nên hoạt động kiến tạo hiện đại (nếu có) ở phân đoạn này cũng chỉ ở mức độ yếu. Các phân đoạn phía bắc và phân đoạn phía nam nằm trong vùng có độ kháng cắt yếu và giá trị S_{mf} đều ở mức cao (lần lượt là 5,57 và 5,15) (hình 7). Vì vậy có thể thấy đây là khu vực tương đối ổn định. Kết quả này thể hiện sự phù hợp với kết quả tính toán chỉ số gradient chiều dài dòng chảy.

Đối với đường cong HC và chỉ số HI thì hầu hết kết quả cho thấy đường cong có dạng lõm và chỉ số HI nhỏ. Theo đó, về cơ bản khu vực là khá bình ổn ở hiện tại, đặc biệt là các chuyển dịch theo phương thẳng đứng bởi chỉ số này rất nhạy cảm với các chuyển dịch theo phương thẳng đứng (Strahler, 1952; Keller and Pinter, 2002). Các lưu vực có chỉ số khá cao (lưu vực 6, 12, 14, 15, 17, 18 và 19; $0,3 < HI < 0,4$) và đường cong thể hiện dạng trung gian giữa dạng lồi và chữ "S" (hình 6a, b) lại nằm trong vùng đất đá có độ kháng cắt lớn, nên sự biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại cũng không thật sự rõ ràng.

Như vậy, khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo, các lưu vực hầu hết có chỉ số HI nhỏ với đường cong HC có dạng lõm, chỉ số SL nói chung không có dị thường cao, chỉ số S_{mf} về cơ bản là lớn. Các dị thường cao của chỉ số HI, SL và dị thường thấp của chỉ số S_{mf} lại chủ yếu nằm trong vùng đất đá có độ kháng cắt lớn nên có thể thấy hoạt động kiến tạo trong giai đoạn hiện đại ở khu vực này là khá bình ổn. Chuyển động nâng mạnh tạo sự chênh cao lớn ở hai cánh đứt gãy có lẽ đã ngưng nghỉ ở hiện tại. Các vách kiến tạo, mặt facet tam giác,... được hình thành do đứt gãy thuận trong giai đoạn trước đây và còn quan sát thấy hiện nay có lẽ là do độ kháng cắt cao của đất đá chứ không phải biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại.

Các kết quả trên khá phù hợp với các nhận định về khả năng hoạt động yếu trong giai đoạn hiện đại của đới đứt gãy Sông Hồng nói chung và đứt gãy Sông Lô nói riêng (Shen e al., 2005; Trần Đình Tô và nnk, 2004; Vy Quốc Hải, 2008; Ngô Văn Liêm, 2011).

6. Kết luận

Các chỉ số địa mạo là những công cụ hữu ích để đánh giá ảnh hưởng của các hoạt động kiến tạo hiện đại thông qua việc phân tích, xác định các dị thường của chúng.

Hoạt động hiện đại của đới đứt gãy Sông Lô khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo được đánh giá thông qua 3 chỉ số địa mạo cơ bản gồm: chỉ số tích phân đo cao (HI), chỉ số độ uốn khúc trước núi (S_{mf}) và chỉ số gradient chiều dài dòng chảy (SL). Chỉ số SL thể hiện các giá trị nằm trong khoảng từ 4 đến 1325 (gradient - m). Các giá trị SL cao tập trung chủ yếu ở phân đoạn trung tâm khu vực nghiên cứu. Chỉ số S_{mf} thay đổi từ 1,10 đến 8,07, tùy theo lưu vực tính toán và có thể chia làm 3 phân đoạn: phía bắc, trung tâm và phía nam với giá trị S_{mf} trung bình tương ứng là 5,57, 1,82 và 5,15. Chỉ số HI xác định được của 28 lưu vực chính nằm trong khoảng từ 0,039 đến 0,398 và các đường cong thể hiện giá trị này chủ yếu có hình dạng lõm phản ánh mức độ hoạt động yếu của chuyển dịch kiến tạo hiện đại, đặc biệt là các chuyển dịch thẳng đứng.

Đới đứt gãy Sông Lô, khu vực rìa tây nam dãy núi Tam Đảo có thể chia thành 3 phân đoạn với mức độ hoạt động kiến tạo khác nhau: phân đoạn

phía bắc và phân đoạn phía nam gần như không có biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại, phân đoạn trung tâm có biểu hiện của hoạt động kiến tạo hiện đại nhưng cũng không thật sự rõ ràng.

Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ của đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số VAST 05.02/14-15.

Tài liệu dẫn

Adams, J., 1980: Active tilting of the United States midcontinent: geodetic and geomorphic evidence. Geology 8, 442-446.

Azor, A., Keller, E.A., Yeats, R.S., 2002: Geomorphic indicators of active fold growth: South Mountain-Oak Ridge anticline, Ventura basin, southern California. Geological Society of America Bulletin 114, 745-753.

Brookfield, M.E., 1998: The evolution of the great river systems of southern Asia during the Cenozoic India-Asia collision: rivers draining southwards. Geomorphology 22, 285-312.

Bruce, J., Shyu, H., Sieh, Kerry, Chen, Y.G., Chung, L.H., 2006: Geomorphic analysis of the Central Range Fault, the second major active structure of the longitudinal valley suture, eastern Taiwan. Geological Society of America Bulletin 118, 1447-1462.

Bull, W.B., McFadden, L.D., 1977: Tectonic geomorphology north and south of the Garlock Fault, California. In: Doehering, D.O. (Ed.), Geomorphology in Arid Regions. Proceedings at the Eighth Annual Geomorphology Symposium. State University of New York, Binghamton, NY, pp. 115-138.

Bull, W.B., 2007: Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology. Wiley-Blackwell, Oxford, 328 pp.

Chen, Y.C., Sung, Q., Cheng, K.Y., 2003: Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream gradient and hypsometric analysis. Geomorphology 56, 109-137.

Cuong. N.Q, Zuchiewicz. W, and Tokarski. A. K., 1999. Morphotectonic evidence for right-lateral normal slip in the Red River Fault Zone: insights from the study on Tam Dao fault scarp (Viet Nam), Journal of Geology, Series B, pp. 13-14, 57-59, Hanoi.

Cuong, N.Q., Tokarski, A.K., Swierczewska, A., Oliwkiewicz-Miklasinska, M., 2001: An approach to the structural history during Cenozoic of the Lo river fault (North Vietnam). Journal of Geology, Series B, pp.17-18, 45-53, Hanoi.

Vũ Văn Chinh, 2001: Đặc điểm đứt gãy tân kiến tạo vùng đông bắc Việt Nam. Luận án tiến sĩ Địa chất. Hà Nội, 2001.

Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H.T., Lee, J.F., 1998: Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. Geomorphology 24, 263-290.

Delcaillau, B., Laville, E., Amhrar, M., Namous, M., Dugué, O., Pedoja, K., 2010 : Quaternary evolution of the Marrakech High Atlas and morphotectonic evidence of activity along the Tizi N'Test Fault, Morocco. Geomorphology 118, 262-279.

Font, M., Amorese, D., Lagarde, J.L., 2010: DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: the Normandy intraplate area (NW France). Geomorphology 119, 172-180.

Giamboni, M., Wetzel, A., Schneider, B., 2005: Geomorphic response of alluvial rivers to active tectonics: example from the Southern Rhine Graben. Australian Journal of Earth Sciences 97, 24-37.

Hack, J.T., 1973: Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geological Survey Journal of Research 1, 421-429.

Vy Quốc Hải, 2008: Tiếp tục quan trắc và nâng cao độ chính xác, xác định chuyển dịch Đới đứt gãy Sông Hồng bằng công nghệ GPS, BC tổng kết đề tài cấp Viện KH&CNVN, Viện KH & CN Việt Nam, Hà Nội.

Joshi, P.N,. Maurya, D.M., Chamyal, L.S., 2013: Morphotectonic segmentation and spatial variability of neotectonic activity along the Narmada-Son Fault, Western India: Remote sensing and GIS analysis. Geomorphology 180-181, 292-306.

Keller, E.A., Pinter, N., 2002: Active Tectonics. Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice Hall, New Jersey, 362p.

Keller, E.A., Seaver, D.B., Laduzinsky, D.L., Johnson, D.L., Ku, T.L., 2000: Tectonic geomorphology of active folding over buried reverse faults: San Emigdio Mountain front, southern San Joaquin Valley, California. Geological Society of America Bulletin 112, 86-97.

Keller, E.A., 1986: Investigation of active tectonics: use of surficial earth processes. In: Wallace, R.E. (Ed.), Active Tectonics, Studies in Geophysics. National Academy Press, Washington, DC, pp.136-147.

Ngô Văn Liêm, 2011: Đặc điểm phát triển địa hình trong mối liên quan với địa động lực hiện đại đới đứt gãy Sông Hồng, Luận án tiến sĩ. Viện Địa chất, Hà Nội.

Mahmood, S. A., and Gloaguen, R., 2012: Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. Geoscience Frontiers 3(4), 407-428

Merritts, D., Vincent, K.R., 1989: Geomorphic response of coastal streams to low, intermediate, and high rates of uplift. Mendocino triple junction region, northern California. Geological Society of America Bulletin 101, 1373-1388.

Shahzad, F., Mahmood, S. A. and Gloaguen, R., 2009: Drainage network and lineament analysis: An approach for potwar plateau (Northern Pakistan), Journal of Mountain Sciences 6-1, 14-24.

Shahzad, F., and Gloaguen, R., 2011: TecDEM: AMATLAB based tool box for tectonic geomorphology, Part 1: Drainage network preprocessing and stream profile analysis. Computers & Geosciences 37, 250-260.

Shahzad, F., and Gloaguen, R., 2011: TecDEM: AMATLAB based tool box for tectonic geomorphology, Part 2: Surface Dynamics and Basin Analysis, Submitted to Computer and Geosciences 37, 261-271.

Shen. Z-K, Lu. J, Wang. M, Burman., R 2005: Contemporary crustal deformation around the southeast borderland of the Tibetan Plateau, Journal of Geophysical Reasearch, Vol 110 (B11409),

Silva, P.G., Goy, J.L., Zazo, C., Bardajı, T., 2003: Fault-generatedmountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. Geomorphology 50, 203-225.

Strahler, A.N., 1952: Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin 63, 1117-1142.

Strahler, A.N., 1957: Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions of the American Geophysical Union 38, 913-920.

Trần Đình Tô, Dương Chí Công, Vy Quốc Hải, Kurt Feilg, Matthias Becker, 2004: Đánh giá hoạt động kiến tạo hiện đại đới đứt gãy Sông Hồng theo số liệu đo GPS. Đới đứt gãy Sông Hồng - Đặc điểm địa động lực, sinh khoáng và tai biến thiên nhiên. Nxb. KH&KT, Hà Nội.

Phan Trong Trinh, Nguyen Trong Yem, Leloup Herve Philip, Tapponnier, Paul, 1994: Late Cenozoic stress field in North Vietnam from microtectonic measurement. Proceed.Inter. Seis. Haz. South. Asia, pp.182-186.

Phan Trọng Trịnh, Hoàng Quang Vinh, Herve Leloup, Gaston Giuliani, Virginie Garnie, Paul Tapponnier, 2004: Biến dạng tiến hoá nhiệt động, cơ chế dịch trượt của đới đứt gãy Sông Hồng và thành tạo Ruby trong Kainozoi, Đới đứt gãy Sông Hồng - Đặc điểm địa động lực, sinh khoáng và tai biến thiên nhiên, Nxb. KHKT, Hà Nội.

Troiani, F., Della Seta, M., 2008 : The use of the stream length-gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: a case study from Central Italy. Geomorphology 102, 159-168.

Wells, S.G., Bullard, T.F., Menges, T.M., Drake, P.G., Karas, P.A., Kelson, K.I., Ritter, J.B., Wesling, J.R., 1988: Regional variations in tectonic geomorphology along segmented convergent plate boundary, Pacific coast of Costa Rica. Geomorphology 1, 239-265. 306 P.N. Joshi et al. /Geomorphology 180-181 (2013) 292-306.

Zuchiewicz, W., Nguyen Quoc Cuong, Jerzy Zasadni, Nguyen Trong Yem, 2013: Late Cenozoic tectonics of the Red River Fault Zone, Vietnam, in the light of geomorphic studies. Journal of Geodynamics 69 (2013) 11-30.