



Ứng dụng phương pháp hệ số tin cậy (CF) và mô hình thống kê Bayes đánh giá mối quan hệ giữa trượt lở với các yếu tố liên quan tại khu vực huyện Bảo Thắng và thành phố Lào Cai, tỉnh Lào Cai

Nguyễn Quang Minh¹, Nguyễn Quốc Phi^{1*}, Phan Đông Pha², Nguyễn Việt Hưng³

¹ Khoa Môi trường, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

² Viện Địa chất và Địa vật lý Biển, Viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam

³ Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 23/12/2021

Chấp nhận 18/3/2022

Đăng online 30/4/2022

Từ khóa:

Bảo Thắng,

Hệ số tin cậy,

Lào Cai,

Thống kê Bayes,

Trượt lở.

Khu vực nghiên cứu chịu ảnh hưởng của hiện tượng tai biến trượt lở với tần suất và cường độ ngày càng cao, gây thiệt hại lớn và ngày càng nghiêm trọng, ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững kinh tế - xã hội của khu vực. Việc áp dụng các phương pháp toán địa chất vào nghiên cứu tai biến trượt lở ngày càng được quan tâm do tính chất định lượng hóa của các thông số và kết quả tính toán. Kết quả tính toán mối quan hệ tương quan trong nghiên cứu cho thấy: nhóm các yếu tố độ dốc địa hình, chỉ số độ nhám địa hình, mật độ đứt gãy/lineament, thạch học - địa tầng, đặc điểm địa chất công trình, loại hình vỏ phong hóa và lượng mưa ngày lớn nhất đóng vai trò quan trọng nhất và có ảnh hưởng chính đến việc hình thành các khối trượt tại khu vực nghiên cứu. Để phân vùng nguy cơ xảy ra tai biến, nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp hệ số tin cậy (Certainty Factor - CF) và mô hình thống kê Bayes để đánh giá mối quan hệ giữa khả năng xảy ra tai biến trượt lở với các yếu tố môi trường liên quan. Phân tích thực tế tại khu vực huyện Bảo Thắng và thành phố Lào Cai, tỉnh Lào Cai cho thấy độ chính xác của hai phương pháp đạt được lần lượt là 87% và 92%. Các kết quả đạt được cho thấy khả năng áp dụng hiệu quả các phương pháp toán định lượng trong đánh giá tai biến địa chất phục vụ công tác quản lý và phòng chống thiên tai tại địa phương.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1.. Mở đầu

Ngày nay, việc phân vùng dự báo tai biến địa

chất với sự trợ giúp của công nghệ thông tin đã trở nên dễ dàng hơn và đạt độ tin cậy cao bằng việc sử dụng khối lượng lớn các dữ liệu liên quan. Nội dung chính của việc phân vùng tai biến địa chất là việc là khoanh định những khu vực có mức độ rủi ro theo mức độ, nguồn gốc và theo các cơ chế khác nhau. Việc phân vùng dự báo phải dựa trên những thông tin cơ bản, kết hợp với các vị trí

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenquangminh@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2022.63(2).01

xảy ra tai biến thu thập được trong lịch sử của vùng nghiên cứu (Trần Trọng Huệ, 2004; Nguyễn Cần và Nguyễn Đình Hòa, 2005; Nguyễn Phương và nnk., 2013). Việc phân vùng tai biến địa chất đặc biệt áp dụng cho tai biến trượt lở dựa trên 3 tính chất cơ bản được Varnes (1984) đưa ra như sau:

1. Quá khứ và hiện tại là chìa khóa cho tương lai. Những điều kiện và quá trình trượt lở đã và đang xảy ra cũng sẽ diễn ra tương tự ở trong tương lai.

2. Những điều kiện cơ bản hình thành nên hiện tượng trượt lở là có thể xác định được.

3. Có thể đánh giá được mức độ nguy cơ của tai biến trượt lở.

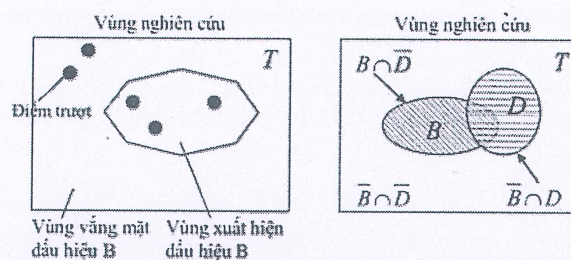
Các phương pháp đánh giá và phân vùng tai biến cũng đã phát triển ngày càng phong phú, có thể kể đến như: các phương pháp đo vẽ trực tiếp (đo vẽ địa mạo hoặc phân tích tài liệu viễn thám, ảnh hàng không), các phương pháp kinh nghiệm (dựa trên kiến thức chuyên gia), phương pháp chỉ số (chỉ số thống kê, hệ số tin cậy, thống kê Bayes), các phương pháp toán thống kê (phương pháp xác suất, hồi quy đa biến, hồi quy logic, các phương pháp sử dụng trí tuệ nhân tạo như mạng nơron thần kinh, cây quyết định,...) và các phương pháp dựa trên các đặc tính địa kỹ thuật (mô hình SINMAP, cân bằng giới hạn, các mô hình số, lý thuyết phân tích khối). Trong đó, mô hình hồi quy logic và mạng nơron thần kinh là hai phương pháp phổ biến nhất, nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu tai biến địa chất nói chung và phân tích tai biến trượt lở nói riêng (Dai và Lee, 2003; Chung và nnk., 1995; Lee và nnk 2004; Lee, 2005; Quoc Phi Nguyen, 2018).

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình thống kê Bayes

Mô hình thống kê Bayes tính toán các trọng số dựa trên giả thuyết thống kê xác suất của Bayes (Chung và Fabbri, 1999; Guzzetti và nnk., 1999; Nguyễn Quốc Phi và nnk, 2013). Giả sử T là diện tích vùng nghiên cứu và vùng này được chia ra thành nhiều vùng diện tích nhỏ hoặc điểm ảnh có diện tích cố định (ô đơn vị). Tổng số đơn vị hoặc điểm ảnh trong vùng nghiên cứu sẽ là $N\{T\}$ và tương ứng các điểm trượt lở (D) trong vùng nghiên cứu cũng sẽ số lượng đơn vị điểm ảnh tương ứng $N\{D\}$ với các biến nhị phân B . Ví dụ như

bản đồ địa chất, bản đồ địa mạo, bản đồ thảm thực vật,... ứng với các số lượng ô đơn vị hoặc điểm ảnh $N\{B\}$ biểu diễn ở Hình 1.



Hình 1. Mô hình biểu diễn xác suất xuất hiện điểm trượt lở theo mô hình Bayes.

Xác suất xuất hiện các điểm trượt lở được tính theo công thức $P\{D\} = N\{D\}/N\{T\}$, đây chính là xác suất cho trước (xác suất tiên nghiệm, prior probability). Xác suất xuất hiện đồng thời cả B và D được tính bằng diện tích B giao với D chia số tổng diện tích theo công thức $P\{B \cap D\} = N\{B \cap D\}/N\{T\}$. Xác suất vắng mặt các điểm trượt lở được tính theo công thức $P\{\bar{D}\} = N\{\bar{D}\}/N\{T\}$, xác suất xuất hiện của B mà vắng mặt D được tính bằng công thức $P\{B \cap \bar{D}\} = N\{B \cap \bar{D}\}/N\{T\}$, xác suất vắng mặt B và có mặt D được tính bằng $P\{\bar{B} \cap D\} = N\{\bar{B} \cap D\}/N\{T\}$ và xác suất vắng mặt cả B và D được tính bằng $P\{\bar{B} \cap \bar{D}\} = N\{\bar{B} \cap \bar{D}\}/N\{T\}$.

Như vậy xác suất xuất hiện dự báo B căn cứ vào điểm trượt đã biết, tính toán theo công thức:

$$P\{B/D\} = \frac{P\{B \cap D\}}{P\{D\}} \quad (1)$$

- Xác suất xuất hiện dấu hiệu dự báo B căn cứ vào diện tích không xuất hiện trượt lở được tính theo công thức:

$$P\{B/\bar{D}\} = \frac{P\{B \cap \bar{D}\}}{P\{\bar{D}\}} \quad (2)$$

- Xác suất không xuất hiện dấu hiệu dự báo B căn cứ vào những điểm trượt lở đã biết:

$$P\{\bar{B}/D\} = \frac{P\{\bar{B} \cap D\}}{P\{D\}} \quad (3)$$

- Xác suất không xuất hiện dấu hiệu dự báo B căn cứ vào diện tích ngoài điểm trượt lở là:

$$P\{\bar{B}/\bar{D}\} = \frac{P\{\bar{B} \cap \bar{D}\}}{P\{\bar{D}\}} \quad (4)$$

Từ đó tỷ trọng thông tin dương W^+ được xác định theo công thức:

$$W^+ = \ln \frac{P\{B/D\}}{P\{B/\bar{D}\}} \quad (5)$$

Tỷ trọng thông tin âm W^- xác định theo công thức:

$$W^- = \ln \frac{P\{\bar{B}/D\}}{P\{\bar{B}/\bar{D}\}} \quad (6)$$

Độ tương phản C giữa tỷ trọng thông tin dương W^+ và tỷ trọng thông tin âm W^- được xác định theo công thức:

$$C = W^+ + W^- \quad (7)$$

Trong nghiên cứu tai biến địa chất, độ tương phản C (Contrast) thường được sử dụng như là trọng số cho các đối tượng.

Trọng số của các lớp thông tin được tính toán theo mô hình thống kê Bayes có giá trị biến đổi $0 \div \infty$ và được tính theo từng bậc số liệu của các lớp thông tin. Các bậc có giá trị trọng số >1 là các bậc tập trung nhiều vị trí xảy ra tai biến trên một đơn vị diện tích và ngược lại, các bậc có giá trị trọng số <1 là các bậc có ít vị trí xảy ra tai biến trên một đơn vị diện tích. Các giá trị trọng số này thể hiện mức độ quan trọng của mỗi bậc trong từng yếu tố lớp thông tin.

2.2. Phương pháp hệ số tin cậy

Phương pháp hệ số tin cậy (Certainty Factor - CF) thuộc hệ các phương pháp phân tích chỉ số thống kê hiện đang được ứng dụng rất phổ biến cho các khu vực nghiên cứu nguy cơ tai biến có tỷ lệ trung bình (1:25.000 ÷ 1:50.000). Hệ số tin cậy CF có dạng 1 hàm xác suất và được giới thiệu đầu tiên trong hệ chuyên gia về y khoa MYCIN (Shortliffe và Buchanan, 1975) để ước lượng khả năng chẩn đoán bệnh, tiên lượng nguy cơ nhiễm bệnh dựa trên các triệu chứng đã biết. Trong nghiên cứu tai biến địa chất, mô hình CF lần đầu được sử dụng phân tích trượt lở trong các công trình của Chung và Fabbri, (1993), Binaghi và nnk., (1998), Lan và nnk., (2004). Mô hình CF cho phép đánh giá mức độ tin cậy giữa khả năng xảy ra trượt lở và các yếu tố liên quan.

Hệ số CF được mô tả dưới dạng như công thức (8).

$$CF_{ij} = \begin{cases} \frac{f_{ij} - f}{f_{ij}(1 - f)} & ; \text{ khi } f_{ij} \geq f \\ \frac{f_{ij} - f}{f(1 - f_{ij})} & ; \text{ khi } f_{ij} \leq f \end{cases} \quad (8)$$

Trong đó: CF_{ij} - hệ số tin cậy thành phần i trong thông số j ; f_{ij} - mật độ trượt lở trong thành phần i của thông số j ; f - mật độ các trượt lở trên toàn bộ diện tích nghiên cứu.

$$C_{ij} = \frac{A_{ij}^*}{A_{ij}} \quad \text{và} \quad f = \frac{A^*}{A} \quad (9)$$

Trong đó: A_{ij}^* - diện tích trượt lở trong thành phần i của thông số j ; A_{ij} - diện tích của thành phần i trong thông số j ; A^* - diện tích trượt lở trên toàn bộ khu vực nghiên cứu; A - tổng diện tích khu vực nghiên cứu.

Hệ số CF mô tả mức độ tin cậy của chuyên gia về khả năng xảy ra của 1 hiện tượng. Tương tự như hệ số tương quan giữa các thông số, giá trị của CF biến đổi trong khoảng $-1 \div 1$. Trong đó, giá trị dương (>0) chỉ mức độ tin cậy cao về mối liên hệ giữa hiện tượng trượt lở và các yếu tố liên quan, giá trị âm (<0) phản ánh mức độ tin cậy thấp của mối quan hệ này. Do vậy, $CF_y = 1$ có nghĩa là khả năng xảy ra hiện tượng trượt lở dưới ảnh hưởng của yếu tố Y là chắc chắn, khi $CF_y = -1$ thì khả năng xảy ra hiện tượng trượt lở dưới ảnh hưởng của yếu tố Y là không chắc chắn và khi $CF_y = 0$ thì mối quan hệ giữa trượt lở và yếu tố Y là chưa rõ ràng, không thể kết luận gì từ mối quan hệ này.

2.3. Đánh giá mức độ tin cậy

Việc xây dựng các mô hình dự báo trượt lở đất đá là một bước quan trọng trong công tác nghiên cứu, đánh giá trượt lở, nhằm chỉ ra những khu vực có tiềm năng xảy ra tai biến ở các mức độ khác nhau. Tuy nhiên, mức độ chính xác của các mô hình này cần được đánh giá để ước lượng mức độ tin cậy của từng mô hình.

Kết quả kiểm nghiệm của từng mô hình được mô tả dưới dạng ma trận sai số như ở Bảng 1:

Bảng 1. Ma trận sai số.

Khảo sát		Dự đoán	
		Trượt	Không trượt
Thực tế	Trượt	TP	FN
	Không trượt	FP	TN

Trong đó: *TP* (True Positive) - kết quả dự đoán điểm trượt đúng với thực tế; *TN* (True Negative) - kết quả dự đoán điểm không trượt đúng với thực tế; *FP* (False Positive) - kết quả dự đoán điểm trượt nhưng thực tế không trượt; *FN* (False Negative) - kết quả dự đoán điểm không trượt nhưng thực tế trượt.

Như vậy, tổng đường chéo chính $TP+TN$ của ma trận trên là số điểm đã dự đoán chính xác (cả trượt lẫn không trượt) và tổng $FP+FN$ là số điểm dự đoán sai (trượt thành không trượt và ngược lại). Các tiêu chuẩn so sánh bao gồm:

- Hệ số Kappa (*Kappa statistic*):

$$K = \frac{A}{B} \quad (10)$$

Trong đó: $A = (TP+TN) - (FP+FN)$; B - Tổng số điểm được dự đoán.

Hệ số Kappa đánh giá chung kết quả dự đoán trượt lở của từng mô hình. Khi $K = 1$ thì độ tin cậy dự đoán là tuyệt đối.

- Độ chính xác truy hồi (*recall*) (trong phương pháp trí tuệ nhân tạo):

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (11)$$

- Độ chính xác (*precision*):

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (12)$$

Các giá trị của độ chính xác truy hồi và độ chính xác nằm trong khoảng từ 0÷1. Giá trị càng gần 1 thì mức độ tin cậy càng cao.

3. Xây dựng bản đồ phân vùng dự báo nguy cơ trượt lở tại khu vực huyện Bảo Thắng và thành phố Lào Cai

3.1. Cơ sở nguồn tài liệu

Dựa trên các nguồn tài liệu thu thập, một bộ cơ sở dữ liệu phục vụ cho việc phân tích nguy cơ tai biến trượt lở trong khu vực nghiên cứu đã được thành lập, gồm:

- Thông tin về các vị trí xảy ra trượt lở được tổng hợp từ nguồn tài liệu khảo sát thực địa và các kết quả nghiên cứu trước đó, kết hợp với kết quả phân tích ảnh viễn thám đa thời gian.

- Bản đồ địa chất ở các tỷ lệ 1:200.000÷1:50.000 do Tổng cục Địa chất và Khoáng sản phát

hành (Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 2009).

- Các bản đồ địa hình ở các tỷ lệ 1:50.000÷1:10.000 do Bộ Tài nguyên và Môi trường ban hành năm 2004 và một số tài liệu đo vẽ chi tiết từ các dự án đã thực hiện thu thập được.

- Các số liệu đo mưa vệ tinh GSMaP của Cơ quan nghiên cứu và phát triển hàng không vũ trụ Nhật Bản (JAXA) cùng số liệu đo độ ẩm vệ tinh SMOPS (Soil Moisture Products) của Cơ quan Thông tin, Dữ liệu và viễn thám môi trường quốc gia của Mỹ (NESDIS).

- Ảnh vệ tinh Landsat 8 OLI+TIRS của NASA và Sentinel 2B của Cơ quan hàng không vũ trụ châu Âu (ESA).

3.2. Xây dựng cơ sở dữ liệu GIS về hiện trạng tại biến và các yếu tố ảnh hưởng

3.2.1. Vị trí các điểm trượt

Vị trí các khu vực trượt lở được thu thập từ những nghiên cứu có trước đó, đặc biệt là số liệu từ đề tài nghiên cứu về tai biến trượt lở trên một số tuyến đường giao thông tỉnh Lào Cai (2011) và Đề án về phân vùng trượt lở của tỉnh Lào Cai do Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản chủ trì (2014). Phần lớn các khối trượt thu thập ngoài thực địa từ các dự án trước đây là các khối trượt nằm dọc theo các tuyến giao thông, liên quan chặt chẽ đến các hoạt động nhân sinh. Tổng số điểm trượt lở thu thập được từ các nghiên cứu trước trong diện tích nghiên cứu là 126 vị trí. Các vị trí xảy ra tai biến thu thập được phần lớn là các vị trí tương đối dễ tiếp cận, hầu hết đều liên quan mạnh mẽ đến các hoạt động nhân sinh như xây dựng nhà cửa, đường giao thông và các hoạt động khai thác khoáng sản.

Bên cạnh các vị trí trượt lở có khả năng tiếp cận được, trong vùng nghiên cứu còn có nhiều khối trượt tự nhiên thường nằm sâu bên trong núi, không có phương tiện tiếp cận tốt, do vậy các vị trí khối trượt này được đối chiếu và khoanh bố xung trên ảnh Google Earth qua các năm (Hình 2).

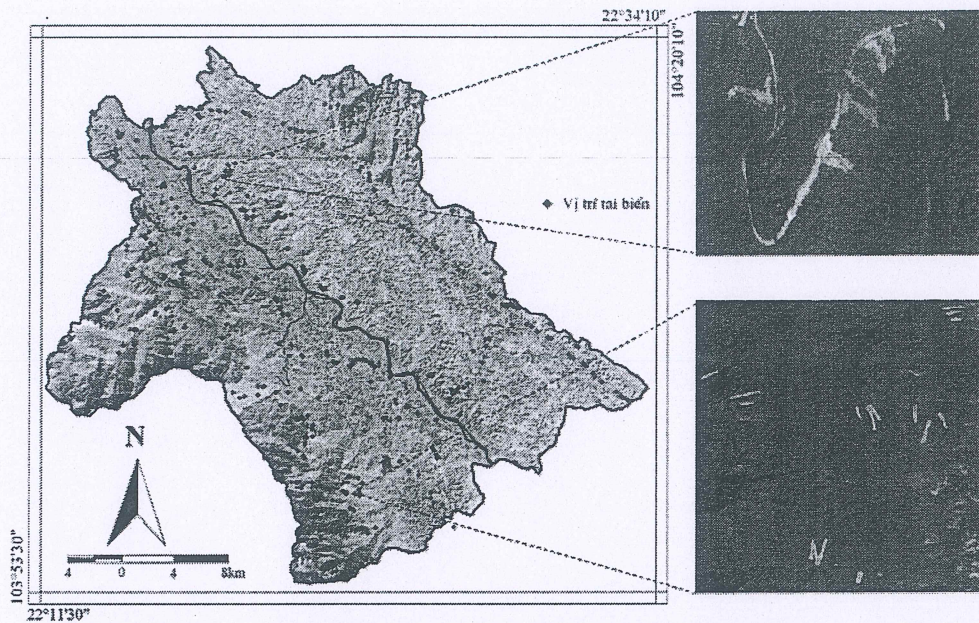
Các điểm trượt lở quan sát được trên Google Earth chủ yếu là các khối trượt tự nhiên với quy mô lớn hơn rất nhiều các khối trượt phân bố dọc các tuyến đường giao thông, tuy nhiên phần lớn chúng phân bố sâu trong núi hoặc trên các sườn dốc cao, khó tiếp cận khi khảo sát thực địa. Do đặc điểm thảm phủ thực vật ở khu vực phát triển rất

manh mẽ, trong khi đó nguồn tư liệu ảnh Google Earth cho phép lùi lại các điểm ảnh trong quá khứ để xác định vị trí các điểm trượt đã bị che phủ hoặc xác định số lần tái hoạt động của một số điểm trượt. Do vậy, với đặc điểm miễn phí, ảnh có độ phân giải cao và khả năng khoanh định đa thời gian tại nhiều vị trí, nên đây là nguồn thông tin bổ sung hết sức quan trọng giúp cho việc chuẩn bị cơ sở dữ liệu các điểm trượt lở được đầy đủ và tin cậy hơn cho các phân tích thống kê sau này.

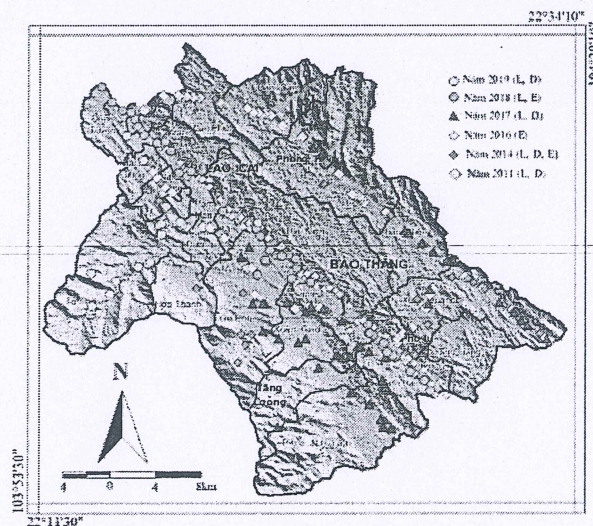
Thông tin thu thập ngoài thực địa và từ các nghiên cứu có trước chủ yếu bao gồm các vị trí xảy ra tai biến, quy mô, cường độ, đặc điểm chi tiết các

dạng tai biến và một số vị trí có cả dữ liệu thiệt hại tại chỗ. Kết quả khảo sát thực tế và tổng hợp từ các nghiên cứu có trước đã xác định được 428 điểm trượt lở và lũ bùn đá, 60 điểm khảo sát xói lở bờ sông trong khoảng thời gian các năm 2016-2019 (Hình 3).

Vị trí các điểm trượt lở này được tập hợp và đưa vào phần mềm iGeoHazard 2016 để phục vụ cho việc phân tích thống kê và đánh giá nguy cơ trượt lở. Bộ dữ liệu các điểm trượt lở được phân chia ngẫu nhiên thành hai tập dữ liệu, trong đó 70% dữ liệu được sử dụng để xây dựng mô hình và phần còn lại là tập dữ liệu kiểm tra.



Hình 2. Sơ đồ vị trí các điểm trượt và một số khối trượt trên ảnh Google Earth.



Hình 3. Sơ đồ vị trí các điểm khảo sát thực địa đến năm 2019.

3.2.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến nguy cơ trượt lở tại khu vực nghiên cứu

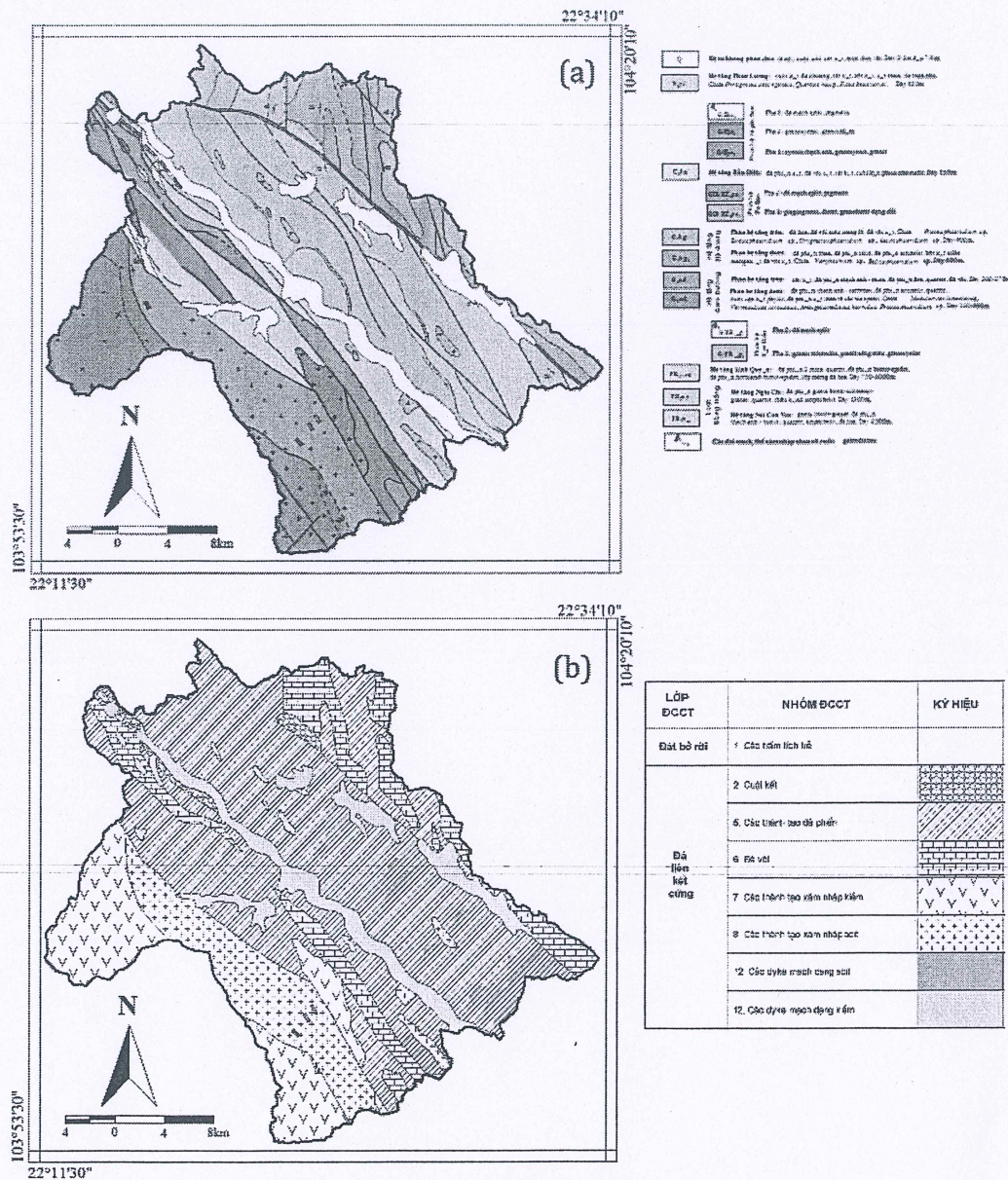
Các thành phần môi trường ảnh hưởng đến trượt lở được phân tách thành 15 yếu tố liên quan, chia thành 3 nhóm nhân tố chính: nhân tố địa chất nền (các Hình 4 và 5), nhân tố địa hình tự nhiên (Hình 6) và các nhân tố khí tượng - thủy văn (Hình 7) của khu vực. Các yếu tố này được đánh giá ngang nhau khi tổng hợp vào kết quả cuối.

3.3. Kết quả nghiên cứu

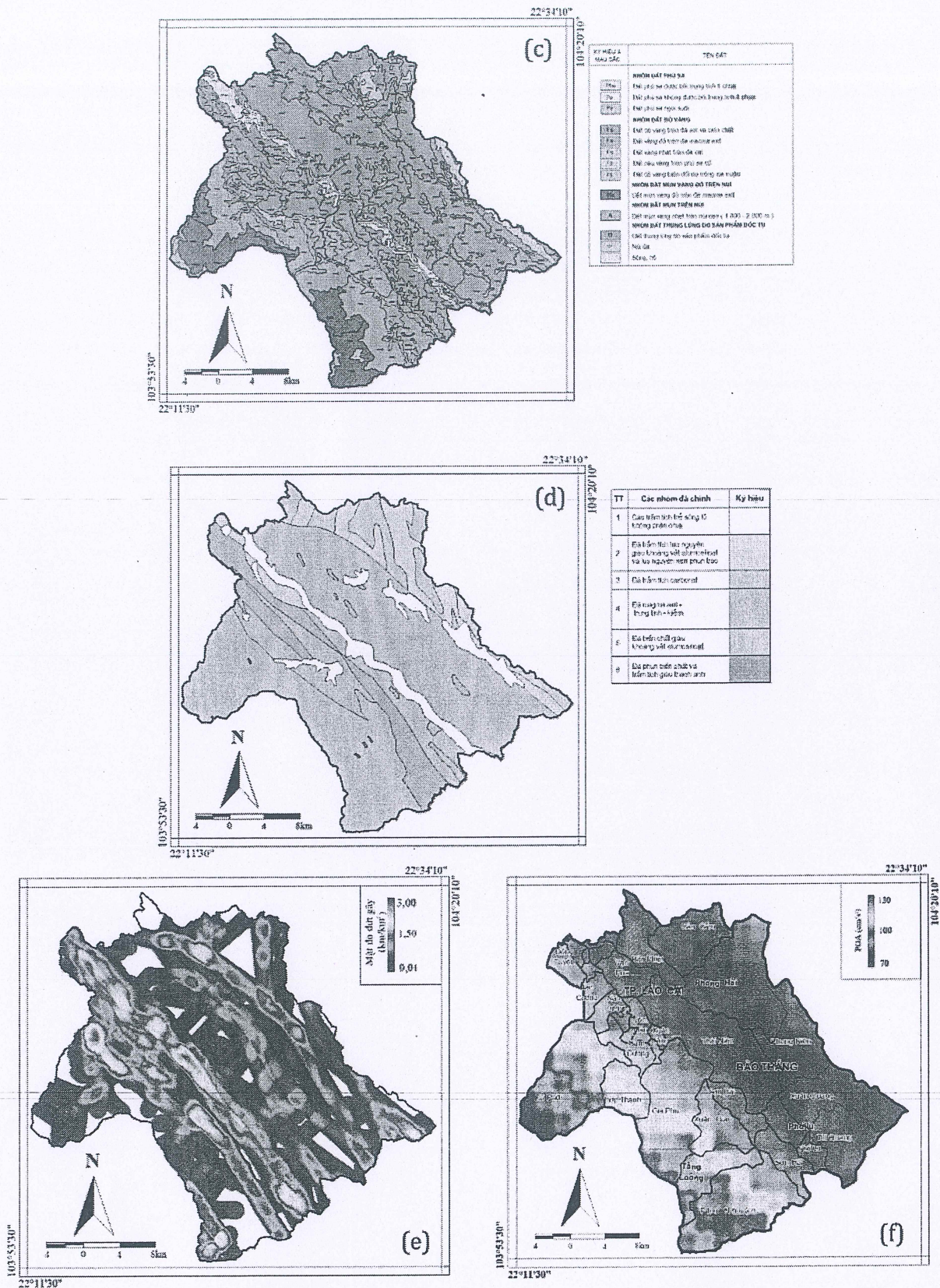
3.3.1. Mối quan hệ giữa trượt lở và các yếu tố ảnh hưởng tại khu vực nghiên cứu

Kết quả tính toán mối quan hệ tương quan giữa hiện tượng trượt lở và các yếu tố môi trường ảnh hưởng được trình bày chi tiết trong Bảng 2.

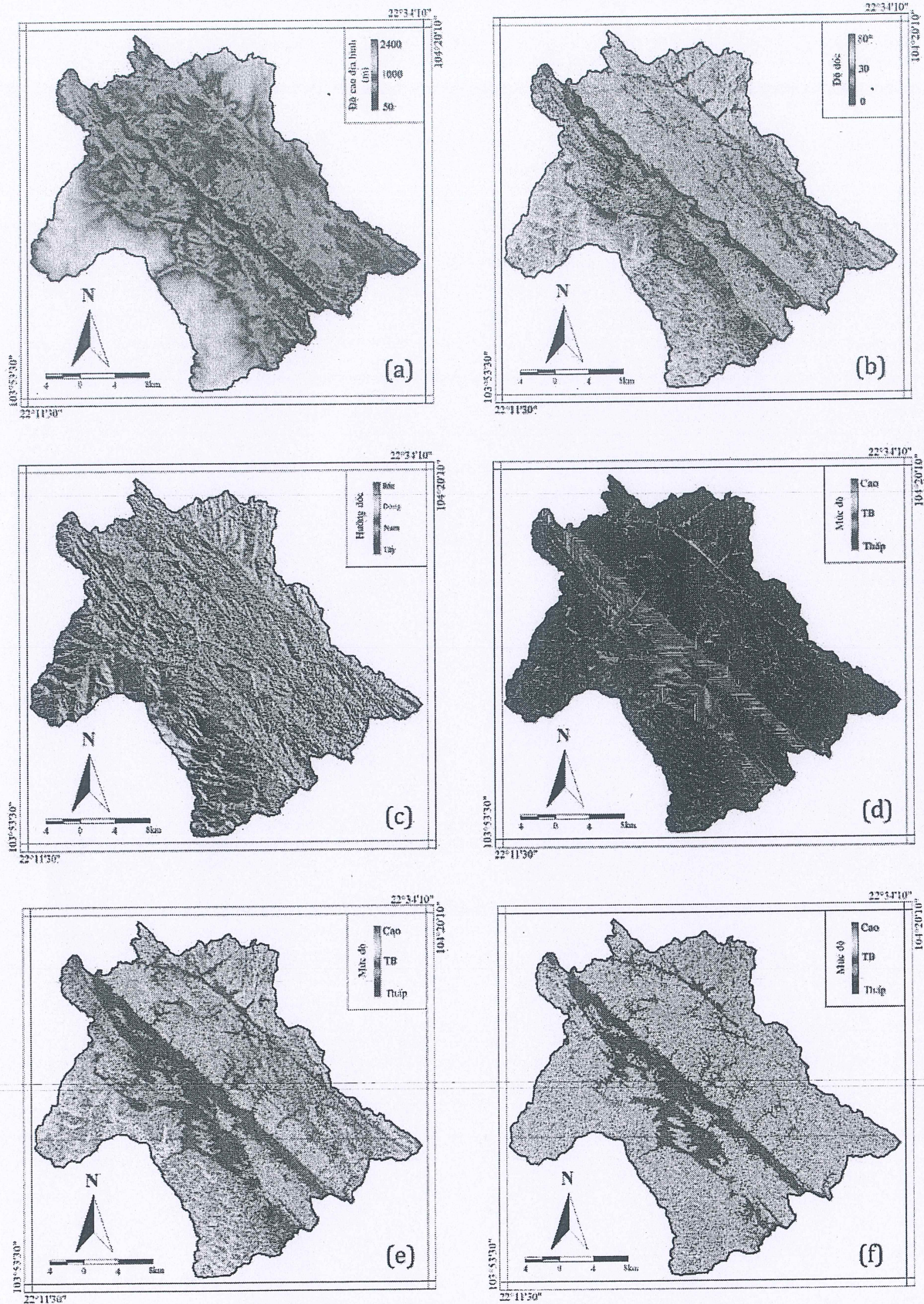
Kết quả tính toán mối quan hệ tương quan ở Bảng 2 cho thấy, nhóm các yếu tố địa hình tự nhiên đóng vai trò quan trọng nhất, cụ thể là yếu tố độ dốc địa hình và chỉ số độ nhám địa hình (TRI) có mối quan hệ rất chặt chẽ với hiện tượng trượt lở. Trong nhóm các yếu tố địa chất, thông số về mật độ đứt gãy và hướng đứt gãy có ảnh hưởng mạnh đến nguy cơ trượt lở, bên cạnh đó các yếu tố thạch học - địa tầng, đặc điểm địa chất công trình và loại hình vỏ phong hóa cũng đóng vai trò khá quan trọng.



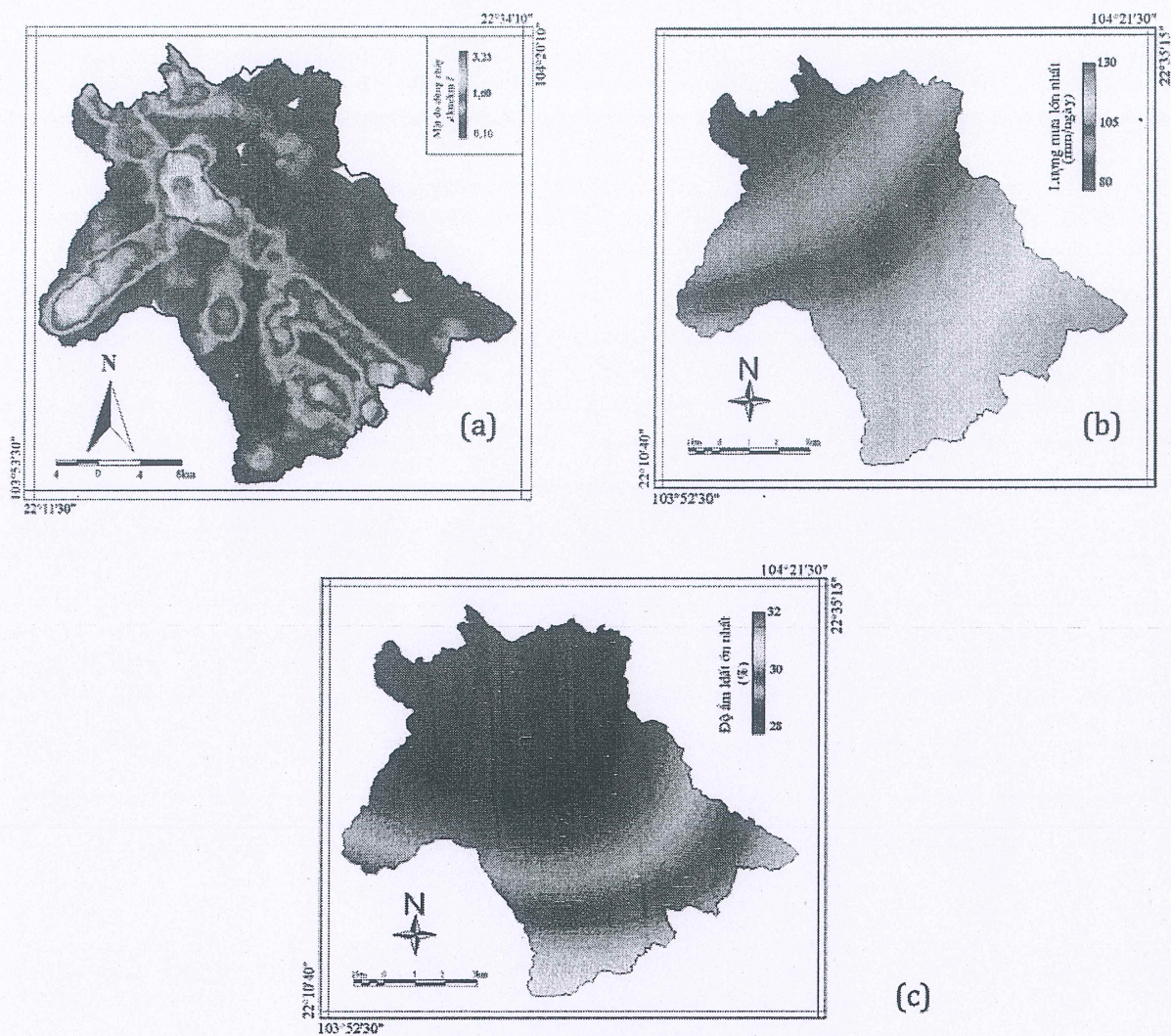
Hình 4. Các yếu tố liên quan đến điều kiện địa chất. (a) thạch học - địa tầng; (b) địa chất công trình (ĐCCT).



Hình 5. Các yếu tố liên quan đến điều kiện địa chất: c) loại hình đất; d) loại hình vỏ phong hóa; e) mật độ đứt gãy và lineament; f) đỉnh gia tốc nền cực đại (PGA).



Hình 6. Các yếu tố liên quan đến địa hình tự nhiên.
(a) độ cao địa hình; (b) độ dốc; (c) hướng dốc địa hình; (d) Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI); (e) Chỉ số độ nhám địa hình (TRI); (f) Chỉ số cân bằng khối (MBI).



Hình 7. Các yếu tố liên quan đến khí tượng thủy văn.
(a) mật độ sông suối; (b) lượng mưa ngày lớn nhất; (c) độ ẩm đất.

Bảng 2. Kết quả tương quan giữa trượt lở và các yếu tố ảnh hưởng.

TT	Thông số		Hệ số R
1	Nhóm các yếu tố địa hình tự nhiên	Độ cao địa hình	0,011
2		Độ dốc địa hình	0,157
3		Hướng dốc	0,053
4		Chỉ số độ ẩm địa hình (TWI)	0,009
5		Chỉ số độ nhám địa hình (TRI)	0,124
6		Chỉ số cân bằng khối (MBI)	0,041
7	Nhóm các yếu tố địa chất	Thạch học - địa tầng	0,074
8		Mật độ đứt gãy và lineament	0,103
9		Điều kiện ĐCCT	0,068
10		Loại hình đất	0,048
11		Loại hình vỏ phong hóa	0,068
12		Đỉnh gia tốc nền cực đại (PGA)	0,026
13	Nhóm các yếu tố khí tượng thủy văn	Mật độ sông suối	0,002
14		Độ ẩm đất	0,003
15		Lượng mưa ngày lớn nhất	0,018

Nhóm các yếu tố khí tượng thủy văn với thông số lượng mưa ngày lớn nhất đóng vai trò chủ đạo nhưng có mối quan hệ kém chặt chẽ hơn so với các nhóm yếu tố địa hình và địa chất.

Các kết quả thu được cho thấy, các yếu tố nền về địa chất và địa hình vẫn đóng vai trò chủ đạo trong việc hình thành các khối trượt tại khu vực nghiên cứu. Yếu tố lượng mưa ngày lớn nhất là yếu tố kích thích, mang ý nghĩa thúc đẩy quá trình trượt lở diễn ra khi có mưa lớn, kéo dài.

3.3.2. Kết quả phân vùng dự báo nguy cơ trượt lở

Nguy cơ trượt lở tại vùng nghiên cứu được đánh giá mức độ chính xác sử dụng các chỉ số như trình bày trong mục 2.3. Kết quả phân tích mức độ tin cậy của các phương pháp được tổng hợp trong Bảng 3.

Kết quả so sánh về mức độ tin cậy cho thấy mô hình thống kê Bayes có độ chính xác cao hơn với hệ số Kappa là 0,760, độ chính xác đạt tới 0,916 (~92%).

Dựa trên kết quả tính toán nguy cơ tai biến theo cả hai phương pháp để phân vùng nguy cơ xảy ra tai biến trượt lở tại khu vực nghiên cứu và được phân ra thành 4 cấp dựa theo mô hình phân phối chuẩn cùng kết quả tính toán giá trị trung bình (TB) và phương sai (PS) như mô tả tại Hình 8. Dựa trên số liệu tính toán thực tế, các sơ đồ phân vùng dự báo tai biến sau đó được phân ra thành các vùng như sau:

- Vùng có nguy cơ xảy ra tai biến thấp,
 - Vùng có nguy cơ xảy ra tai biến trung bình,
 - Vùng có nguy cơ xảy ra tai biến cao,
 - Vùng có nguy cơ xảy ra tai biến rất cao.
- Các ngưỡng số liệu cụ thể theo cả hai phương

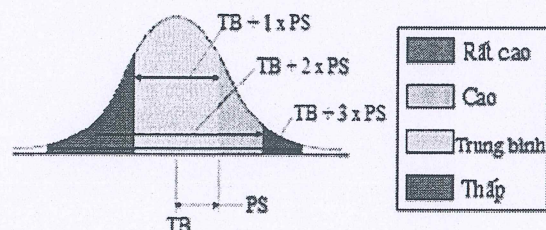
pháp được tổng hợp trong Bảng 4. Kết quả phân bậc theo mô hình thống kê Bayes được tổng hợp theo Bảng 5.

Kết quả phân bậc theo phương pháp hệ số tin cậy (CF) cho thấy, khu vực có nguy cơ tai biến cao đến rất cao chiếm khoảng 32% diện tích vùng nghiên cứu, song chiếm gần 73% vị trí các điểm tai biến đã biết.

Trong đó, riêng khu vực được đánh dấu có nguy cơ tai biến rất cao chỉ chiếm 7,17% diện tích nhưng chiếm tới hơn 36,56% các điểm trượt đã biết. Kết quả đánh giá mức độ chính xác toàn cục của mô hình thống kê Bayes và phương pháp hệ số tin cậy (CF) đạt được lần lượt là 92% và 87% (Hình 9). Với độ chính xác cao hơn, mô hình thống kê Bayes được sử dụng làm bản đồ phân vùng nguy cơ tai biến trượt lở cho vùng nghiên cứu (Hình 9b).

Bảng 3. Kết quả phân tích mức độ tin cậy của các phương pháp.

Phương pháp	Hệ số Kappa	Độ đúng	Độ chính xác
Hệ số tin cậy CF	0,723	0,830	0,865
Thống kê Bayes	0,760	0,826	0,916



Hình 8. Phân cấp nguy cơ dựa trên mô hình phân phối chuẩn

Bảng 4. Ngưỡng phân bố nguy cơ tai biến tại khu vực nghiên cứu.

Phân bậc nguy cơ		Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
Phương pháp	Hệ số tin cậy (CF)	<-1,59	-1,59÷0,22	0,22÷2,03	>2,03
	Thống kê Bayes	<-2,42	-2,42÷0,0	0,0÷2,42	>2,42
Màu		Xanh	Vàng	Cam	Đỏ

Bảng 5. Bảng phân bậc nguy cơ tai biến theo mô hình thống kê Bayes.

Nguy cơ tai biến	Diện tích (km ²)	Tỷ lệ (%)	Diện tích trượt (pixel)	Tỷ lệ (%)
Thấp	487,32	29,71	1013	8,14
Trung bình	622,42	39,94	2312	16,58
Cao	413,05	25,18	4570	38,72
Rất cao	117,60	5,17	4550	36,56
Tổng	1640	100	12445	100

Dựa vào kết quả phân vùng trong Bảng 5 có thể thấy, các vùng có nguy cơ tai biến địa chất với các mức độ từ thấp đến rất cao cụ thể như sau:

- Vùng có nguy cơ tai biến rất cao, có diện tích 117,60 km² chiếm 5,17%,
- Vùng có nguy cơ tai biến cao, có diện tích 413,05 km² chiếm 25,18%,
- Vùng có nguy cơ tai biến trung bình, có diện tích 622,42 km² chiếm 39,94%,
- Vùng có nguy cơ tai biến thấp, có diện tích 487,32 km² chiếm 29,71%.

Cụ thể, các khu vực có nguy cơ cao nhất gồm: thị trấn Tăng Loóng, thị trấn Phong Hải và các xã Gia Phú, Phú Nhuận, Phong Niên, Xuân Quang thuộc huyện Bảo Thắng và các xã Tả Phời, Hợp Thành thuộc Thành phố Lào Cai cần phải đặc biệt quan tâm.

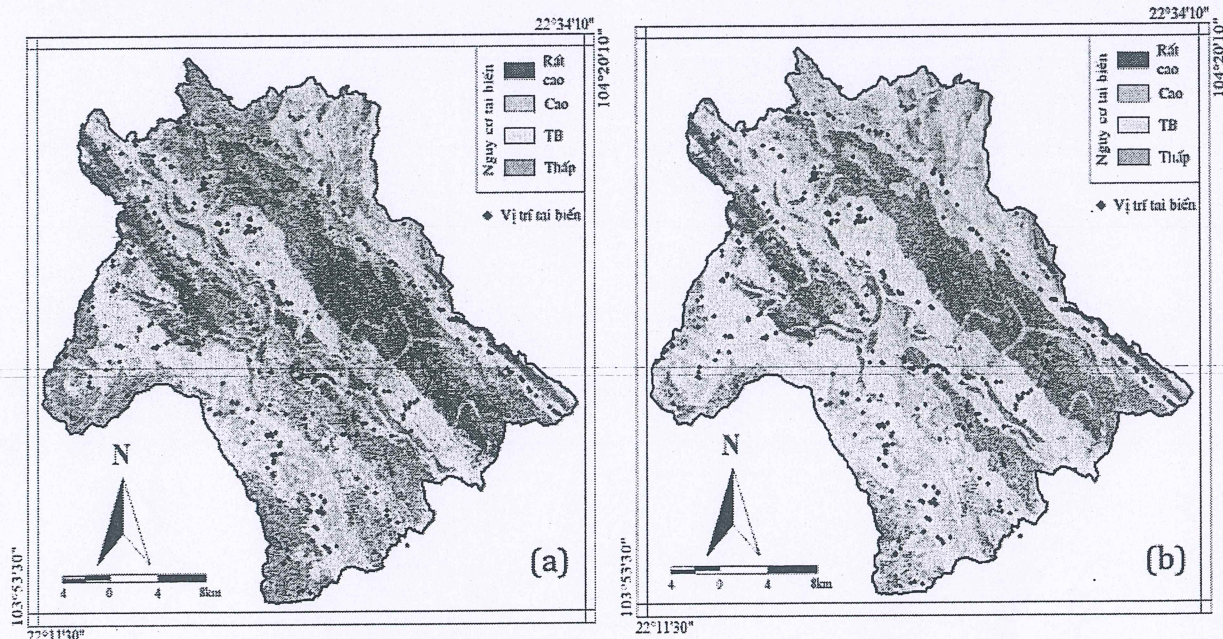
4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu dựa trên các phương pháp tính toán định lượng đã cho phép chỉ ra các vùng có khả năng xuất hiện các dạng tai biến trượt lở với các mức độ nguy cơ khác nhau trong khu vực nghiên cứu. Các phương pháp tính toán thống kê đã được sử dụng để đánh giá mối quan hệ giữa nguy cơ xảy ra tai biến môi trường với các thông số địa chất và môi trường liên quan. Việc sử dụng phối hợp các phương pháp toán và viễn thám trên nền GIS cho phép phân tích và dự báo khả năng

xảy ra tai biến trượt lở tại một vị trí cụ thể trong khu vực nghiên cứu.

Các biểu hiện tai biến địa chất trong khu vực nghiên cứu được ghi nhận chủ yếu gồm có: sạt lở bờ sông, trượt lở đất đá, lũ quét và xói mòn khe rãnh. Hiện tượng trượt lở là hiện tượng tai biến địa chất chính xảy ra trong khu vực nghiên cứu, các vị trí trượt lở phân bố chủ yếu trên bề mặt sườn núi địa hình có độ dốc lớn, mức độ phân cắt cao, phát triển chủ yếu theo các sườn dốc phát triển theo phương tây bắc - đông nam của vùng nghiên cứu. Các lớp thông tin có mức độ ảnh hưởng mạnh nhất đến mật độ tập trung các điểm trượt gồm: độ cao địa hình ở khu vực có độ cao từ 500÷1.500 m; độ dốc địa hình từ 30° trở lên; hướng dốc địa hình là hướng nam; thành phần thạch học là hệ phức Sông Chảy pha 1 và 3; khoảng cách đến đứt gãy từ 1.500 m trở lên; khoảng cách đến ranh giới địa chất từ 1.500 m trở lên; độ ẩm đất từ 35,5% trở lên. Các kết quả này cho thấy các yếu tố nền về địa chất và địa hình vẫn đóng vai trò chủ đạo trong việc hình thành các khối trượt tại khu vực nghiên cứu. Đồng thời, yếu tố lượng mưa ngày lớn nhất đóng vai trò là yếu tố kích thích, thúc đẩy quá trình trượt lở diễn ra khi mưa lớn, kéo dài.

Kết quả phân vùng được kiểm nghiệm sử dụng vị trí các điểm trượt lở thực tế trong diện tích nghiên cứu cho thấy kết quả phân vùng theo mô hình thống kê Bayes có độ chính xác cao nhất.



Hình 9. Kết quả phân bậc nguy cơ tai biến trượt lở.
(a) theo phương pháp hệ số tin cậy; (b) mô hình thống kê Bayes.

Các kết quả phân tích, đánh giá cho thấy các mô hình dự báo đều có độ chính xác cao, trong đó mô hình thống kê Bayes có độ chính xác 0,92 (~92%) và hệ số Kappa đạt 0,760. Kết quả phân bậc theo phương pháp này cho thấy, các khu vực có nguy cơ tai biến cao đến rất cao chỉ chiếm khoảng 30% diện tích vùng nghiên cứu song đã bao trùm được gần 75% vị trí các vị trí xảy ra tai biến đã biết. Trong đó, riêng khu vực được đánh dấu có nguy cơ rất cao tuy chỉ chiếm 5,17% diện tích song vẫn xác định được tới hơn 36% các vị trí xảy ra tai biến, cho thấy khả năng dự báo khá chính xác của phương pháp.

Kết quả nghiên cứu giúp cung cấp cho các nhà quản lý về phòng chống thiên tai tại địa phương cụ thể. Các kết quả phân vùng này có thể sử dụng trong công tác khảo sát và đánh giá khả năng gây tai biến địa chất khi tiến hành xây dựng các công trình giao thông, nhà cửa,... nhằm đưa ra các giải pháp an toàn phù hợp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi đề tài cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số B2021-MDA-08.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Quang Minh, Nguyễn Quốc Phi - lên ý tưởng và viết bản thảo bài báo; Phan Đông Pha - đánh giá và chỉnh sửa; Nguyễn Việt Hưng - chuẩn hóa dữ liệu.

Tài liệu tham khảo

- Binaghi E., Luzi L., Madella P., Pergalani F. and Rampini A., (1998). Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and Fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Natural Hazards* 17, 77-97.
- Chung C. F. and Fabbri A. G., (1993). The representation of geoscience information for data integration. *Nonrenewable Resources* 2, 122-139.
- Chung C. F. and Fabbri A. G., (1999). Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 65, 1389-1399.
- Chung C. J., Fabbri A. and Van Westen C. J., (1995). Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Publications, Dordrecht, The Netherlands, 107-133.
- Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, (2009). *Địa chất và Tài nguyên Việt Nam*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.
- Dai F. C. và Lee C. F., (2003). A spatiotemporal probabilistic modelling of storm-induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 527-545.
- Guzzetti F., Carrarra A., Cardinali M. và Reichenbach P., (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181-216.
- Lan H. X., Zhou C. H., Wang L. J., Zhang H. Y. and Li R. H., (2004). Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Engineering Geology* 76, 109-128.
- Lee S., Ryu J.H., Min K. và Won J.N., (2004). Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 1361-1376.
- Lee S., (2005). Application and cross-validation of spatial logistic multiple regression for landslide susceptibility analysis. *Geosciences* 9, 63-71.
- Nguyễn Cần và Nguyễn Đình Hòa, (2005). *Tai biến môi trường*. NXB Đại học Quốc gia Hà Nội.
- Nguyễn Phương, Đỗ Văn Nhuận, Nguyễn Quốc Phi, Hạ Quang Hưng, (2013). *Giáo trình tai biến địa chất*. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- Nguyễn Quốc Phi, Nguyễn Quang Luật, Nguyễn Kim Long, Đỗ Văn Nhuận, (2013). Xây dựng mô hình phân bố không gian đánh giá khả năng xảy ra lũ quét tại Quảng Ngãi. *Kỷ yếu Hội thảo Khoa học Công nghệ trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội 2013*, Hà Nội, 157-165.
- Quoc Phi Nguyen, Du Duong Bui, SangGi Hwang, Khac Uan Do, Thi Hoa Nguyen, (2018). Rainfall-triggered landslide and debris flow hazard assessment using data mining techniques: A comparison of Decision Trees, Artificial Neural Network and Support Vector

- Machines. *Proceedings of the (2018) Vietnam Water Cooperation Initiative (VACI 2018)*, 138-141.
- Shortliffe E. H. and Buchanan B. G., (1975). A mathematical model inexact reasoning in medicine. *Mathematical Bioscience* 23, 351-379.
- Trần Trọng Huệ, (2004). Báo cáo Nghiên cứu đánh giá tổng hợp các loại hình tai biến địa chất trên lãnh thổ Việt Nam và các giải pháp phòng tránh. Đề tài độc lập cấp nhà nước. Lưu trữ Viện Địa chất, Viện KH&CN Việt Nam, Hà Nội.
- Varnes D.J., (1984). International Association of Engineering Geology Commission on Landslides and Other Mass Movements on Slopes. *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris. 63 pp.
- Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, (2014). Báo cáo kết quả Điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 khu vực miền núi tỉnh Lào Cai. Đề án Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam. Bộ Tài nguyên và Môi trường, Hà Nội.