



Original Article

Identification and Delineation of Potential Large-scale Landslide-prone Areas Along National Highway 32, Lao Cai Province, Vietnam

Duong Thi Toan*, Dang Quang Khang, Tran Thi Dung, Do Minh Duc

VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 13th May 2025

Revised 20th August 2025; Accepted 11th September 2025

Abstract: In recent years, large-scale landslides have occurred with increasing frequency, causing substantial socio-economic and human losses. This study presents a preliminary identification and delineation of areas susceptible to large-scale landslides along National Highway 32 (QL32), from Khau Pha Pass to Khao Mang Commune, Lao Cai Province, Vietnam. By integrating geological–geotechnical surveys, unmanned aerial vehicle (UAV) image analysis, and statistical methods, the study delineated 24 potential large-scale landslide sites. These sites are categorized into two main types: i) Cluster landslides (2/24); and ii) large and deep-seated landslides (22/24), each with an estimated volume exceeding 3000 m³. Cluster landslides typically occur within the same watershed where significant elevation differences exist and are often triggered by extreme rainfall. Large and deep-seated landslides are commonly associated with concave slope topography, thick weathered soil (>5 m), heterogeneous slip surfaces, ground cracks or subsidence, and the loss of paddy field cultivation due to active sliding that prevents water retention within cracks. These characteristics represent critical diagnostic indicators identified in the study area, which may help local communities recognize potential large-scale landslide hazards. The findings provide fundamental insights into the typical signs of large-scale landslides, thereby supporting local awareness, establishing a basis for early warning systems, and contributing to timely responses and risk mitigation.

Keywords: Large-scale landslides, identification, characteristics, site delineation.

* Corresponding author.

E-mail address: duongtoan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5312>

Nghiên cứu nhận diện và khoanh định một số khu vực có nguy cơ trượt lở quy mô lớn dọc quốc lộ 32, tỉnh Lào Cai

Dương Thị Toan*, Đặng Quang Khang, Trần Thị Dung, Đỗ Minh Đức

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 13 tháng 5 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 20 tháng 8 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 11 tháng 9 năm 2025

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, trượt lở quy mô lớn (TLQML) xảy ra với tần suất ngày càng gia tăng, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến tài sản và tính mạng của người dân. Nghiên cứu này nhằm bước đầu nhận diện và khoanh định một số khu vực có nguy cơ TLQML khu vực dọc tuyến Quốc lộ 32 (QL32), đoạn từ đèo Khau Phạ đến xã Khao Mang, tỉnh Lào Cai. Bằng kết hợp các phương pháp khảo sát địa chất – địa kỹ thuật, phân tích ảnh chụp từ thiết bị bay không người lái (UAV) và xử lý thống kê, nghiên cứu đã khoanh định được 24 khu vực có nguy cơ TLQML. Các khu vực này thuộc hai dạng chính là: i) Trượt lở hàng loạt (2/24); và ii) Trượt lở khối lớn (22/24), là những khu vực có tổng thể tích trượt lở ước tính trên 3000 m³. Trượt lở hàng loạt xảy ra trong cùng lưu vực có sự chênh lệch địa hình lớn và thường do mưa cực đoan. Các khu vực trượt dạng khối lớn thường có địa hình bề mặt lồi, vỏ phong hóa đất dày >5 m, bề mặt khối trượt không đồng nhất, có các vết nứt đất hoặc sụt lún, mất khả năng canh tác lúa do khối trượt đang dịch chuyển có các khe nứt không giữ được nước. Đây là các dấu hiệu quan trọng được tổng hợp ở khu vực nghiên cứu giúp người dân địa phương có thể nhận diện được nguy cơ tiềm ẩn TLQML. Kết quả nghiên cứu này cung cấp thông tin cơ bản dấu hiệu TLQML góp phần hỗ trợ cộng đồng địa phương trong việc nhận biết nguy cơ, đồng thời xây dựng cơ sở cho công tác cảnh báo nhằm ứng phó kịp thời, giảm thiểu thiệt hại.

Từ khóa: TLQML, nhận diện, đặc điểm, khoanh định vị trí.

1. Giới thiệu về phân loại và nhận diện trượt lở quy mô lớn

Việt Nam là một trong những nước nằm trong vùng nhiệt đới ẩm, tai biến trượt lở thường xảy ra vào mùa mưa và liên quan đến những đợt mưa lớn. Trượt lở kích hoạt do mưa cũng có quy mô rất lớn và xuất hiện nhiều trong những năm gần đây. TLQML đã làm thiệt hại nghiêm trọng đến tính mạng và tài sản ở một số khu vực như tại Lào Cai (Làng Nù), Tuyên Quang (Bắc Quang) do bão Yagi năm 2024, và một số trận trượt lở xảy ra ở miền Trung năm 2023, 2020 [1-5]. Do đó việc phát hiện

và nhận biết những khu vực có nguy cơ TLQML sẽ góp phần cảnh báo sớm, phòng tránh và hạn chế rủi ro cho các khu vực dân cư ở gần khu vực có nguy cơ trượt lở cao.

TLQML thường chịu chi phối đặc biệt của các yếu tố điều kiện tự nhiên như địa chất – kiến tạo, địa hình – địa mạo, địa chất thủy văn, địa chất công trình, quá trình và bề dày vỏ phong hóa. Về động lực, điểm khác biệt lớn nhất của trượt quy mô lớn là quá trình tiếp diễn kéo dài, sau khi trượt lở vẫn có nguy cơ tái hoạt động, phạm vi ảnh hưởng lớn. Trong các nghiên cứu

* Tác giả liên hệ.

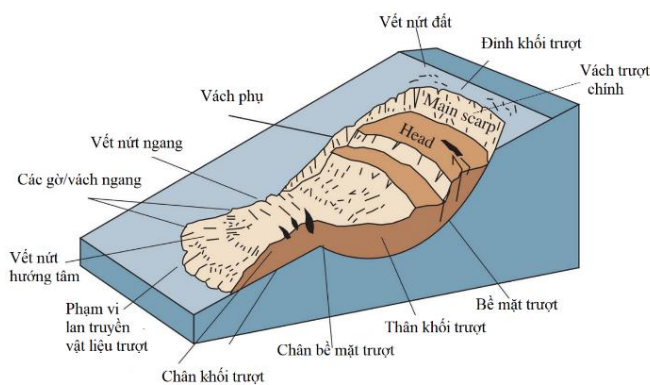
Địa chỉ email: duongtoan@hus.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuces.5312>

trên thế giới khái niệm TLQML thường gắn với các một số thuật ngữ như: i) Trượt sâu và trượt lớn (deep-seated and large-scale landslide) [6-9]; ii) Tập hợp hàng loạt khối trượt lở dạng hỗn hợp và dạng dòng chảy (cluster debris flows) [10-12], và iii) Trượt lở hình thành các đập nghẽn dòng (landslide dams) [14-17]. Dưới đây là khái niệm và một số đặc điểm thuộc loại hình trượt quy mô lớn trong các công trình nghiên cứu trên thế giới và ở Việt Nam.

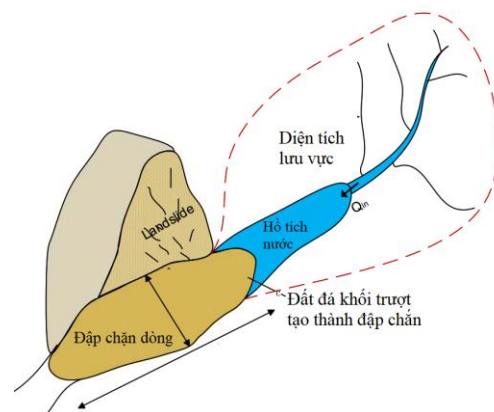
- Trượt lở khối lớn có mặt trượt sâu

Trượt lở khối lớn là những khối trượt có chiều rộng hàng vài trăm m trở lên liên tiếp trong cùng một khu vực, bề mặt thường có dạng địa hình lõm và gồ ghề. Có thể nhận diện các phần của khối trượt (đỉnh khối trượt, vách trượt, bề mặt và thân khối trượt, phần tích tụ tại chân khối trượt) trên bề mặt địa hình như mô phỏng trong Hình 1. Địa hình bề mặt khối trượt là hậu quả của một loạt quá trình tiếp diễn trong thời gian dài và



Hình 1. Mô hình mô phỏng khối trượt lớn và mặt trượt sâu (USGS) [17, 18].

không gian rộng. Phần đỉnh lộ vách trượt chính, có các dấu vết của khe nứt đất đá. Phần thân khối trượt chia thành nhiều phần bởi các vách trượt và khe nứt phụ [18]. Thời gian từ lúc xuất hiện khe nứt đến khi có trượt lở xảy ra có thể kéo dài nhiều năm. Ban đầu các dịch chuyển của khối trượt này nhỏ, chỉ có thể xác định qua các thiết bị quan trắc. Khi các dịch chuyển phát triển, xuất hiện các vết nứt, vết sụt trên bề mặt, nguy cơ trượt lở trở nên rõ ràng hơn, có thể nhận biết bằng mắt thường. Khi bị kích hoạt bởi mưa lớn thì các khe nứt và áp lực nước lỗ rỗng sẽ phát triển nhanh, cân bằng bị phá vỡ dẫn đến trượt lở khối lớn. Hiện tượng xảy ra đối với Làng Nủ và một số khối trượt ở Bảo Yên, Lào Cai (năm 2024) [5] hay trượt lở ở Bản Khoang, điểm trượt thác Khanh, Phú Thọ (năm 2017) là điển hình của kiểu lở dạng này. Do đó việc phát hiện ra những dấu hiệu ban đầu rất quan trọng để theo dõi và có ứng phó kịp thời trong mùa mưa bão.



Hình 2. Mô hình mô phỏng trượt lở tạo đập nghẽn dòng [14].

- Trượt lở hình thành đập nghẽn dòng

Trượt lở hình thành đập nghẽn dòng (landslide dams) là quá trình xảy ra ở những nơi có địa hình sườn dốc hai bên của các lưu vực sông suối hoặc nơi tích tụ dòng chảy như mô phỏng trong Hình 2. Sản phẩm của khối trượt ở dạng bất kỳ, tích tụ lại đủ lớn để tạo thành đập chắn dòng chảy, tạo thành vùng tích nước. Vùng tích nước dâng cao làm tăng áp lực nước lỗ rỗng ảnh hưởng ổn định mái dốc. Đặc biệt, khi mưa cực lớn trượt lở cộng hưởng quá trình vỡ đập

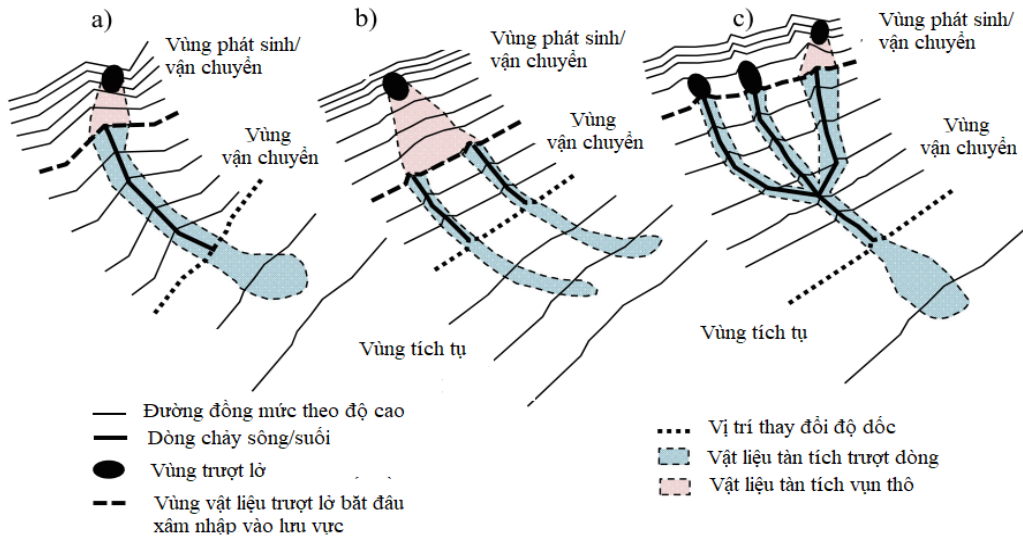
chắn tạo thành động năng lớn gây lũ quét, có khả năng phá hủy mọi công trình trên đường di chuyển của chúng.

- Tập hợp các khối trượt trong cùng lưu vực

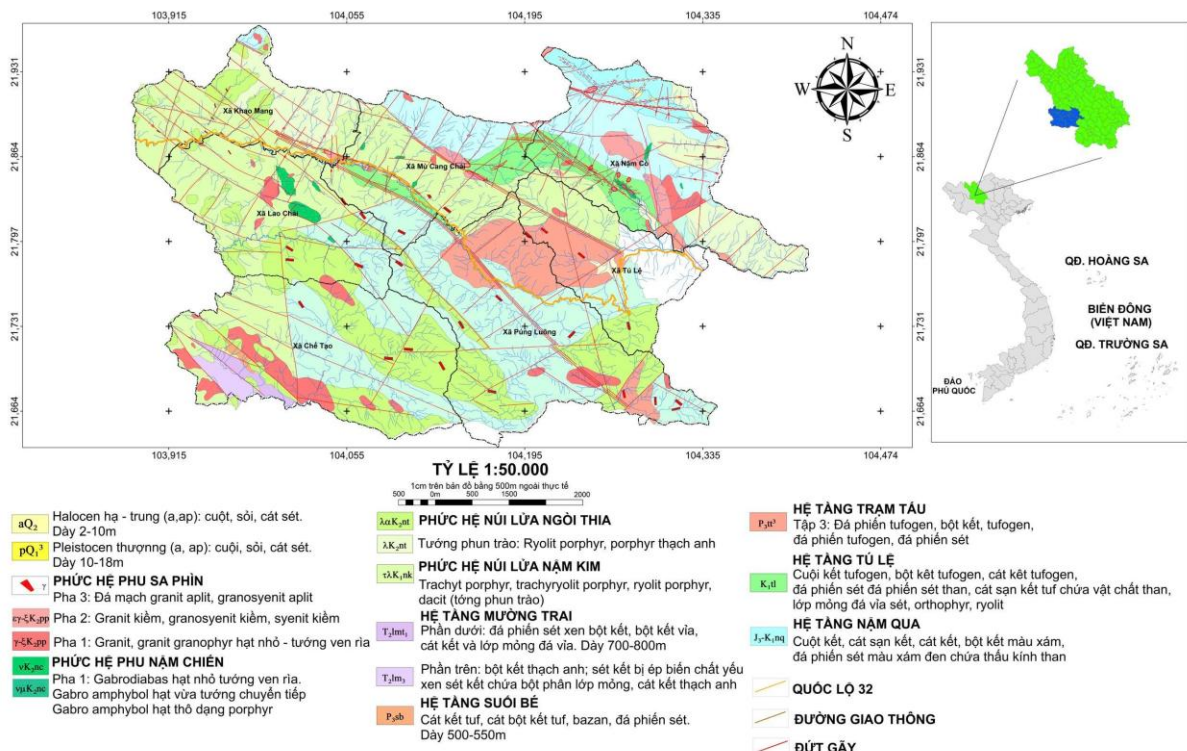
Hình 3 thể hiện hình dạng và một số kiểu trượt xảy ra trong cùng một lưu vực. Trượt lở dạng này là tập hợp các khối trượt dạng dòng và trượt hỗn hợp. Vật liệu đất đá là sản phẩm của sườn dốc phong hóa từ mạnh đến phong hóa hoàn toàn bị phá hủy dưới tác động của nước mưa hoặc dòng chảy. Khối trượt sau khi xảy ra

tiếp tục tiếp diễn các quá trình vận chuyển do dòng chảy bề mặt. Trên đường vận chuyển, vật liệu có thể bị phân chia thành hai hay nhiều đường vận chuyển, hoặc được cung cấp thêm bởi

các khối trượt khác (Hình 3). Tập hợp nhiều khối trượt trong cùng một lưu vực có thể tạo nên một thể tích lớn tác động xuống cùng một khu vực dân cư tập trung.



Hình 3. Mô phỏng các dạng trượt dòng [10].



Hình 4. Sơ đồ địa chất khu vực nghiên cứu.

Tại Việt Nam có một số công trình [1-5, 19] nghiên cứu về trượt lở khối lớn. Nghiên cứu của Đỗ Minh Đức và nnk [1] tại khu vực Quảng Nam (cũ) là một trong những nghiên cứu đầu tiên ở Việt Nam đề cập đến TLQML dạng trượt lở dạng hình thành đập nghiêng dòng. Khi vật liệu khối trượt bất ngờ đổ xuống dòng chảy chân khối trượt, tạo đợt sóng có năng lượng cực lớn có sức mạnh như cột “sóng thần” ảnh hưởng đến các hộ dân khu vực vực đối diện. Nghiên cứu của Đào Minh Đức [19] cũng là một trong những nghiên cứu tiên phong trong việc thống kê, xác định ngưỡng thể tích trượt lở khối lớn. Tác giả thu thập thông kê và đã xác định được điểm thay đổi bất thường trong đường tỷ lệ cộng dồn số điểm trượt. Điểm đó tương ứng với đại lượng thể tích khối trượt tại $V_{log} = 3,65$, thể tích là $4.500m^3$. Trong điều kiện hình thái mưa cực đoan và mưa lớn ngày càng tăng, TLQML xuất hiện ngày càng nhiều và cực kỳ phức tạp, cần phải phát hiện khu vực tiềm ẩn nhằm ứng phó, cảnh báo kịp thời.

Nghiên cứu này có mục tiêu nghiên cứu nhận diện và khoanh định những khu vực có nguy cơ TLQML tại một số xã dọc tuyến đường Quốc lộ 32 (QL32). Phạm vi từ đoạn Km270 (đèo Khau Phạ) đến Km320 (xã Khao Mang), nay thuộc tỉnh Lào Cai (Hình 4). Đây là khu vực thuộc trung Tú Lệ, bao phủ bởi các thành tạo núi lửa phun trào có thành phần rhyolit, basalt và trachyt, trong đó chiếm ưu thế là các đá núi lửa thành phần trung tính - axit á kiềm - trachydazit - trachyrhyolit và kiềm - comendit, rhyolit chứa khoáng vật màu kiềm. Các đá núi lửa mafic - trachybasalt và á núi lửa - gabrodolerit chiếm một lượng không đáng kể [20]. Tuyến đường QL32 là tuyến đường huyết mạch thuận lợi kết nối giao thông của các xã trong khu nghiên cứu với các vùng khác trong tỉnh Lào Cai và các tỉnh khác. Dọc tuyến đường có nhiều điểm phát triển du lịch và kinh tế đồng thời là tuyến có mật độ dân cư cao. TLQML xảy ra sẽ gây tác động đến sinh kế của người dân và ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng nếu không được phát hiện và phòng tránh từ sớm. Như giới thiệu ở trên, TLQML thường có quá trình diễn biến lâu dài và có những dấu hiệu có thể nhận diện được trên bề mặt. Do đó

nghiên cứu này bước đầu nghiên cứu các yếu tố để nhận diện và khoanh định các khu vực có nguy cơ nhằm cảnh báo cho người dân theo dõi phòng tránh và có định hướng quy hoạch phát triển phòng chống giảm thiểu tác động. Đồng thời những dấu hiệu chỉ ra trong bài báo giúp tăng cường khả năng nhận biết cho người dân địa phương có thể áp dụng phát hiện cho những khu vực có đang có nguy cơ tiềm ẩn.

2. Phương pháp nhận diện và khoanh định trượt lở quy mô lớn

Với mục tiêu nhận diện và khoanh định các khu vực có nguy cơ TLQML thông qua các dấu hiệu bề mặt, phương pháp nghiên cứu bao gồm khảo sát địa chất, địa kỹ thuật kết hợp với phương pháp bay chụp xử lý ảnh máy bay không người lái (UAV), phân tích xử lý thống kê các yếu tố và luận giải đặc trưng các yếu tố của TLQML. Hình 5 thể hiện quy trình tổng hợp và phương pháp thực hiện trong nghiên cứu này.

2.1. Quy trình và phương pháp khảo sát xác định các yếu tố đặc trưng TLQML

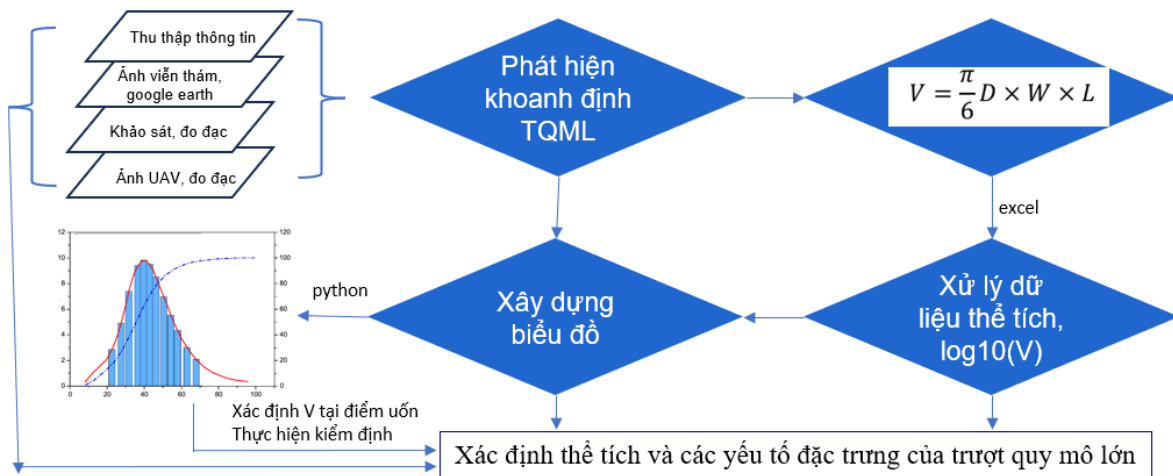
Hình 6 tóm tắt quy trình và phương pháp khảo sát thực địa kết hợp giữa khảo sát địa chất, địa kỹ thuật và bay chụp ảnh UAV. Các thông số đo đạc nhận diện tính toán về quy mô và thể tích gồm chiều cao (H), rộng (W), dài (L), góc dốc (α), chiều sâu (D) vách trượt. Các thông số này được đo đạc trực tiếp và gián tiếp bằng máy đo cao xa cầm tay, xử lý ảnh UAV và ảnh google earth. Thể tích (V) khối trượt được xác định theo công thức dưới đây [18]:

$$V = \frac{\pi}{6} D \times W \times L \quad (1)$$

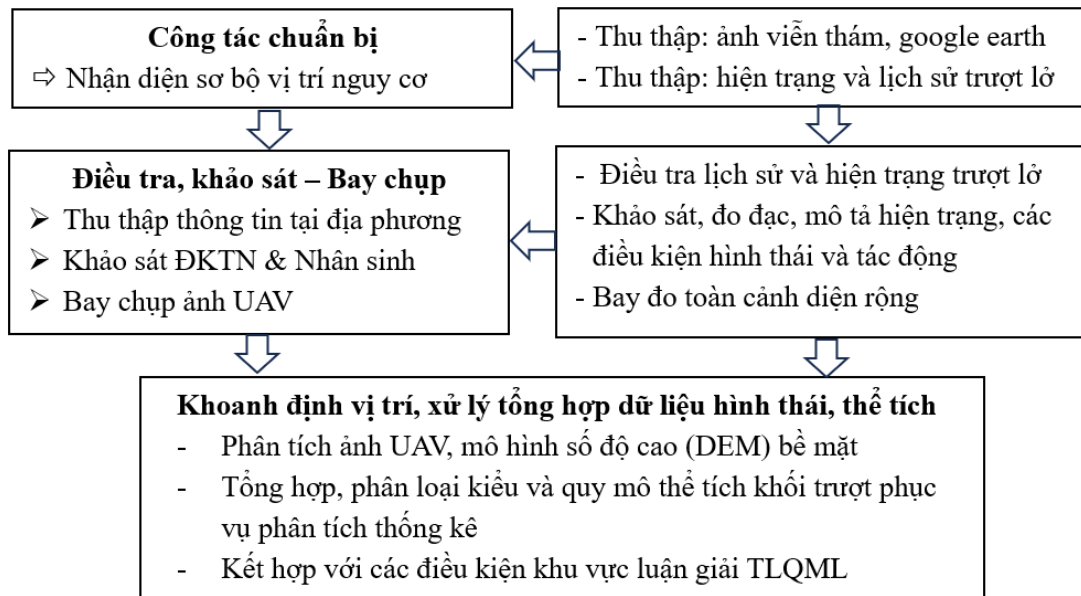
Ngoài ra, nghiên cứu sẽ thực hiện việc xác định, ghi nhận, đo đạc các thông số điều kiện tự nhiên (ĐKTN) và các hoạt động nhân sinh sau đây: i) Đặc điểm địa chất như thành phần loại đất đá, đặc điểm thạch cấu trúc thể nằm các lớp đất đá, sự có mặt của các khe nứt – đứt gãy, mức độ và bề dày vỏ phong hóa; ii) Đặc điểm địa hình bề mặt khối trượt, vị trí và đặc điểm của vách trượt

khe nứt, sụt lún; iii) Đặc điểm địa chất thủy văn và địa chất công trình như sự có mặt của đường thoát nước, hệ thống sông suối, các lớp đất đá; iv) Các hoạt động của con người và các công trình lân cận. Các thông số này được quan sát, đo đạc, lấy mẫu bằng các công cụ của như thước dây, thước ngắm đo cao – xa, búa địa chất, địa bàn, dụng cụ lấy mẫu và thiết bị bay chụp UAV.

Các kết quả được thực hiện ghi nhận trong phiếu khảo sát, ảnh chụp phục vụ việc xử lý tổng hợp và thực hiện các phân tích chuyên sâu khác. Các đợt khảo sát được thực hiện trong các thời gian tháng 5/2023 (trước mùa mưa); tháng 8,9/2023 (sau đợt mưa lớn); và rà soát vào tháng 3,5/2024, tháng 4/2025.



Hình 5. Quy trình các bước thực hiện xác định đặc trưng TLQML.



Hình 6. Quy trình và phương pháp phát hiện, khoanh định TLQML.

2.2. Khoanh định phạm vi khối trượt bằng ảnh UAV

Trong nghiên cứu này, ảnh UAV được sử dụng như một công cụ nhằm nhận diện và khoanh định phạm vi các khối trượt quy mô lớn ở một số xã dọc QL32. Phương pháp tiếp cận được kế thừa từ nghiên cứu của Miyagi và cộng sự [21-24], trong đó kỹ thuật đo ảnh lập thể (photogrammetry) kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS) được sử dụng để phát hiện và phân tích hình thái biến dạng bề mặt địa hình sau các sự kiện địa chất lớn. Tổng cộng 3 đợt bay UAV đã được thực hiện tại các khu vực trọng điểm có nguy cơ trượt lở cao thuộc địa phận xã Khao Mang và Mù Cang Chải. Sử dụng ảnh bay của các đợt tháng 5/2023 (trước mùa mưa), tháng 9/2023 (sau đợt mưa lớn) và tháng 3/2024 nhằm phục vụ mục đích so sánh hiện trạng địa hình theo thời gian. Thiết bị sử dụng là DJI Phantom 4 Pro, với độ cao bay trung bình từ 100 m đến 400 m tùy theo điều kiện địa hình và khu vực khảo sát. Ở độ cao này, thiết bị cho phép thu nhận ảnh với độ phân giải mặt đất dao động từ khoảng 3 cm/pixel (ở độ cao thấp) đến 10 cm/pixel (ở độ cao cao hơn). Độ cao bay được điều chỉnh linh hoạt nhằm cân đối giữa phạm vi bao phủ khu vực rộng và mức độ chi tiết cần thiết trong nhận diện hình thái địa hình phục vụ phân tích trượt lở. Các chuyến bay được thiết kế với độ chồng phủ ảnh dọc và ngang là 70% - 80%, nhằm đảm bảo độ phủ ảnh đủ lớn để tái tạo không gian 3D và tạo mô hình địa hình chất lượng cao. Ảnh UAV được xử lý bằng phần mềm Agisoft Metashape Professional, bao gồm các bước căn chỉnh ảnh (alignment), dựng mô hình mật độ điểm (dense point cloud), tạo mô hình bề mặt số (DSM), ảnh trực giao (orthophoto) và tích hợp vào hệ thống GIS. Trong khuôn khổ nghiên cứu này, dữ liệu UAV được xử lý mà không sử dụng điểm khống chế mặt đất (GCP), do mục tiêu chính là nhận diện hình thái và khoanh định sơ bộ phạm vi các khối trượt. Việc không sử dụng GCP có thể ảnh hưởng đến độ chính xác hình học tuyệt đối của sản phẩm DEM và orthophoto, tuy nhiên độ chính xác tương đối vẫn đủ đáp ứng yêu cầu nhận diện trực quan các đặc trưng địa hình. Để phục vụ các nghiên cứu chi tiết hơn trong tương lai – như phân tích thể tích

trượt hoặc đánh giá biến dạng địa hình – việc tích hợp GCP đo bằng GNSS độ chính xác cao được khuyến nghị nhằm nâng cao độ tin cậy và khả năng định lượng của kết quả.

Quy trình nhận diện và khoanh định khối trượt được thực hiện theo các bước cụ thể như sau:

- Bước 1: xây dựng bản đồ địa hình và vi địa hình. Từ DSM, các bản đồ địa hình cơ bản như bản đồ độ dốc (slope), bản đồ bóng đổ địa hình (hillshade) được xây dựng. Việc phân tích các lớp bản đồ này giúp làm nổi bật ranh giới các đơn vị địa hình và nhận diện sơ bộ các bất thường hình thái – những dấu hiệu khởi đầu của hoạt động trượt lở.

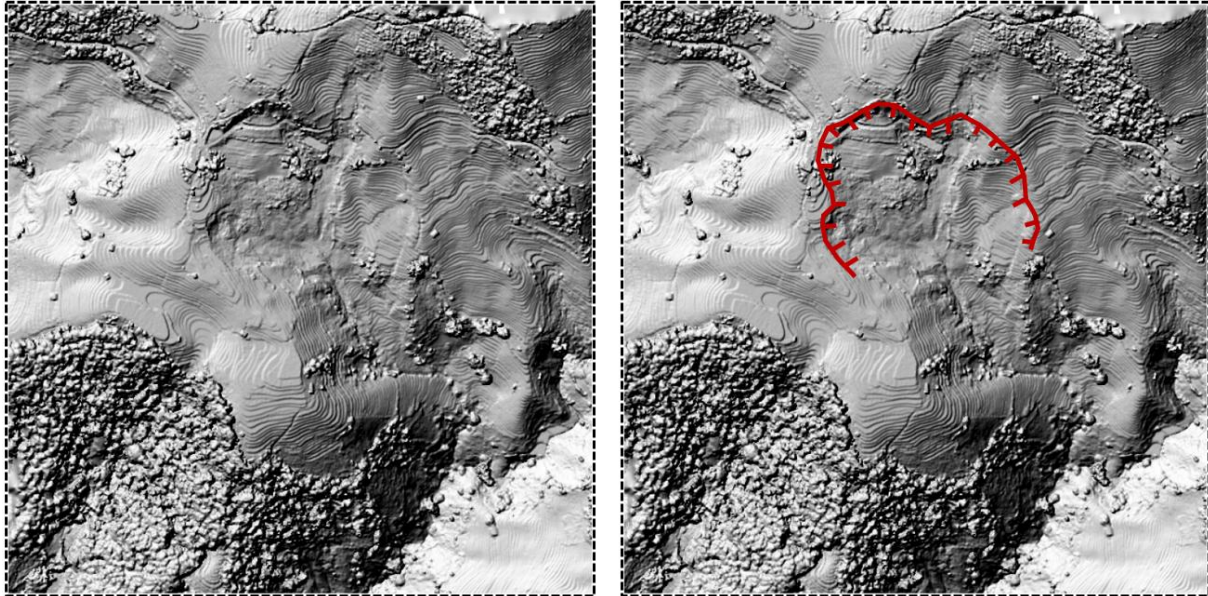
- Bước 2: phân tích đường đồng mức và biến dạng địa hình. Những biến dạng bất thường của đường đồng mức, như bị uốn cong, khép kín, phân kỳ hoặc hội tụ đột ngột, là chỉ báo trực quan về ranh giới khối trượt. Đặc biệt, sự chênh lệch cao độ theo phương vuông góc với sườn dốc thường gợi ý vị trí rìa trượt chính hoặc vết trượt phụ.

- Bước 3: xác định đặc điểm hình thái khối trượt. Dựa trên bản đồ slope và hillshade, có thể phân biệt các loại mặt trượt: dạng lõm, dạng lồi, hoặc dạng phẳng. Việc kết hợp các yếu tố này giúp xác định loại hình trượt chủ đạo và khoanh vùng ranh giới của khối trượt.

- Bước 4: phân tích hệ thống dòng chảy và khe tụ thủy. Các rãnh xói, khe nước hội tụ hoặc dòng trượt bùn là những yếu tố có thể kích hoạt hoặc đồng thời tồn tại với hiện tượng trượt đất. Mật độ và hướng dòng chảy được trích xuất từ DSM, góp phần đánh giá mối quan hệ giữa hoạt động nước mặt và sự mất ổn định mái dốc.

- Bước 5: khảo sát thực địa và xác minh hình ảnh. Các khu vực nghi ngờ có hoạt động trượt lở được kiểm chứng thực địa thông qua quan sát trực tiếp và định vị bằng thiết bị GPS. Việc đối chiếu hiện trạng thực địa với dữ liệu ảnh UAV giúp hiệu chỉnh ranh giới khối trượt, đồng thời loại trừ các sai lệch do thảm thực vật, địa vật nhân tạo hoặc các hiện tượng địa hình tương tự gây nhiễu.

Hình 6 trình bày kết quả diễn giải khối trượt từ dữ liệu ảnh UAV, trong đó ranh giới khối trượt được xác định dựa trên phân tích biến dạng địa hình trên sơ đồ hillshade. Phương pháp này cho phép nhận diện trực quan và khoanh định đáng tin cậy phạm vi các khối trượt lớn.



Hình 7. Minh họa diễn giải địa hình trượt lở dựa trên sơ đồ bóng đổ địa hình (hillshade) cho khối trượt tại khu vực đồi Móng Ngựa, xã Mù Cang Chải, tỉnh Lào Cai: (Trái) Dữ liệu hillshade gốc; (Phải) Ranh giới khối trượt được khoanh định bằng đường màu đỏ, thể hiện đặc trưng cung lõm và mặt trượt nghiêng về sườn dốc.

2.3. Quy trình tổng hợp và xử lý dữ liệu thống kê thể tích trượt lở

Phân tích thống kê là quá trình thu thập, xử lý, mô tả và diễn giải dữ liệu nhằm xác định đặc trưng phân bố của thể tích khối trượt. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích thống kê bao gồm việc thu thập dữ liệu thể tích khối trượt, sử dụng biểu đồ tần suất (histogram), phân tích hàm phân phối tích lũy (cumulative distribution function – CDF), và kiểm định giả thuyết (hypothesis testing) để đánh giá đặc trưng và tìm ra khoảng thể tích đặc trưng TLQML ở khu vực nghiên cứu.

Việc thu thập bao gồm các dữ liệu khảo sát tất cả các khối trượt xảy ra trong mùa mưa 2023 và 2024 ở dọc QL32. Thể tích khối trượt được xác định theo công thức (1). Việc phân tích hàm phân phối tích lũy cho biết tỷ lệ phần trăm các khối trượt có thể tích nhỏ hơn hoặc bằng một giá trị cụ thể. Thông qua đó, điểm uốn khúc (knee point) của đường cong CDF được xác định như một giới hạn định lượng, nhằm phân biệt phần phổ biến của phân bố và phần cuối đường cong (tương ứng với các khối trượt lớn và hiếm).

Điểm này được sử dụng cũng để loại bỏ giá trị ngoại lai hoặc hỗ trợ phân loại quy mô khối trượt. Tiếp đến thực hiện việc kiểm định giả thuyết được thực hiện nhằm đánh giá mức độ phù hợp giữa mô hình phân bố và dữ liệu thực tế, thông qua các chỉ số như hệ số xác định (R^2), kiểm định Kolmogorov–Smirnov (K-S test), và giá trị xác suất p (p-value). Kết quả kiểm định giúp xác định xem mô hình phân bố được lựa chọn có phản ánh tốt tập dữ liệu hay không.

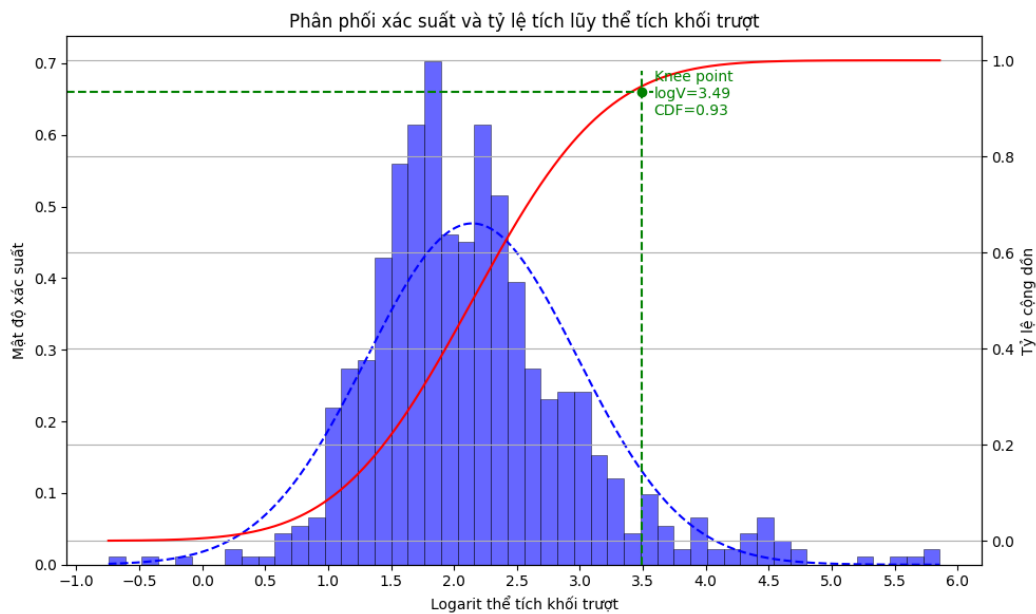
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Thống kê trượt lở và xác định ngưỡng trượt lở quy mô lớn

Thông qua việc thu thập dữ liệu và thực hiện một số đợt khảo sát tại khu vực nghiên cứu, đã xác định được 396 điểm trượt lở. Trong đó các điểm trượt lở chủ yếu mới xảy ra vào mùa mưa 2023, riêng tại Hồ Bốn có 346 điểm, 50 điểm còn lại nằm rải rác dọc QL 32 và các vị trí lân cận hai bên QL32. Bảng 1 thống kê các khối trượt theo kiểu trượt và thể tích trượt ghi nhận tại khu vực nghiên cứu.

Bảng 1. Các khối trượt xảy ra tại các xã dọc QL32

Thể tích	Số khối trượt	Đá đồ	Trượt phẳng	Trượt cung tròn	Trượt chảy	Trượt hỗn hợp	Nguy cơ TLQML
0 - 100 m ³	215	7	19		162	27	
100 - 1000 m ³	138		3	5	73	57	
1000 - 10.000 m ³	31		1	1		16	13
10.000 - 100.000 m ³	9		1				8
>100.000 m ³	3						3
Tổng số khối trượt	396	7	24	6	235	100	24
Phần trăm %	100	2	6	2	59	25	6



Hình 8. Biểu đồ thống kê mật độ và tỷ lệ % cộng dồn các khối trượt theo thể tích.

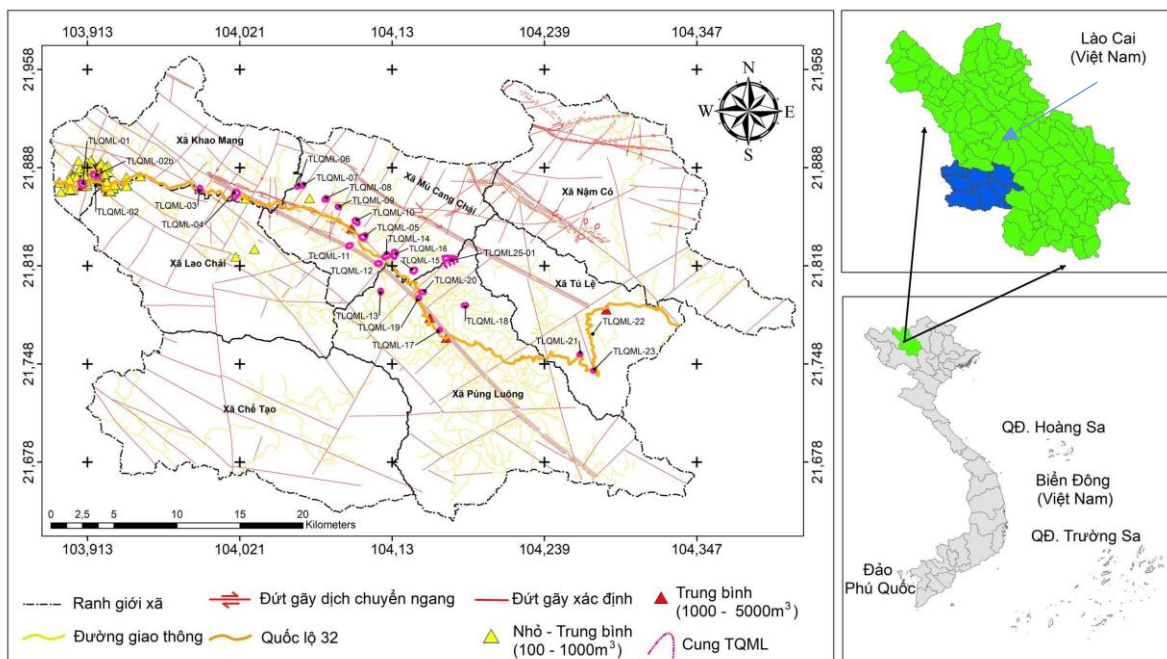
Trên cơ sở khảo sát, thống kê các khối trượt và thể tích khối trượt, xây dựng biểu đồ như trong Hình 8. Biểu đồ phân phối chuẩn (PDF – màu xanh đứt đoạn) và hàm tích lũy logarit thể tích khối trượt (CDF – màu đỏ) được sử dụng để so sánh với dữ liệu thực nghiệm. Hệ số xác định của mô hình CDF đạt $R^2 = 0.9093$, cho thấy phân phối chuẩn hóa phù hợp khá tốt với xu hướng phân bố của $\log_{10}(\text{Volume})$. Trên đường cong CDF, tại điểm uốn (knee point) được xác định tại giá trị logarit thể tích $\log_{10}(V)=3.49$, tương ứng với thể tích khoảng 3090 m³, đây là vị trí chuyển tiếp rõ rệt giữa hai pha tích lũy – đoạn dốc nhanh

phía trước và đoạn ổn định phía sau – và được coi là ngưỡng phân loại hợp lý giữa các khối trượt có quy mô phổ biến và các khối trượt lớn [19, 25]. Tại điểm này ứng với khoảng phân vị thứ 94 có nghĩa là chỉ khoảng 6% khối trượt có thể tích lớn hơn thể tích tại điểm biến đổi độ dốc. Để đánh giá ý nghĩa thống kê của việc phân chia thể tích trượt theo ngưỡng logarit $\log_{10}(V)=3.49$, đã tiến hành kiểm định t-test và kiểm định Kolmogorov–Smirnov (KS-test) giữa hai nhóm: khối trượt lớn (KTL) với $\log_{10}(V) \geq 3.49$ và khối trượt nhỏ hơn (KTNN) với $\log_{10}(V) < 3.49$. Kết quả cho thấy t-statistic = 22.93 và p-value <

0.0001 trong kiểm định t-test, cho thấy sự khác biệt có ý nghĩa rất cao giữa hai nhóm. Đồng thời, kiểm định KS-test cũng cho kết quả KS-statistic = 1.0000 với p-value < 0.0001, khẳng định rằng hai nhóm có phân phối thống kê khác biệt rõ rệt. Ngoài ra, tỷ lệ khối trượt lớn trong toàn bộ tập dữ liệu chỉ chiếm 6%, cho thấy phần lớn các khối trượt trong tập mẫu có kích thước nhỏ hơn ngưỡng phân chia. Theo lý thuyết thống kê những khối trượt có thể tích lớn nằm trong khoảng < 5% là nằm trong tỷ lệ rất nhỏ, có thể coi là nhóm thể tích đặc biệt lớn. Tiếp theo là nhóm tỷ lệ tương đối nhỏ < 10% được xem xét có những tác động lớn đến khu vực dân sinh [25-28]. Theo các nghiên cứu [25-28], các khối trượt lớn thường chiếm dưới 10% tổng số sự kiện, nhưng lại đóng góp phần lớn vào tổng thể tích dịch chuyển hoặc thiệt hại tiềm năng. Trên cơ sở kết quả tính toán và tham khảo những nghiên cứu trên, cho thấy ngưỡng $\log_{10}(V)=3.49$ là hợp lý và có thể được sử dụng như một tiêu chí định lượng để phân loại mức độ nguy hiểm của các khối trượt trong nghiên cứu.

Bên cạnh việc xác định ngưỡng vị trí thể tích thống kê trên, nghiên cứu tiếp tục rà soát các yếu

tố điều kiện tự nhiên và nguy cơ tác động đến xung quanh xác định khoảng thể tích phù hợp. Các yếu tố khác được xem xét để xếp loại khối trượt lớn đối với khu vực nghiên cứu gồm điều kiện tự nhiên, lịch sử trượt lở, thể tích đã trượt, mức độ thiệt hại. Thực tế cho thấy có một số điểm trượt có thể tích lớn 3000 m³ xảy ra trong mùa mưa 2023 và 2024 tại khu vực Mù Cang Chải và Yên Bái (cũ) đều là những vị trí có những ghi nhận thiệt hại nhất định về cơ sở hạ tầng. Một số khu vực như các khối trượt ở dọc QL32 khu vực Hồ Bốn, ảnh hưởng đến giao thông và các hộ dân 2 bên đường. Tại bản Nà Dề Thàng (Khao Mang) cũng có thể làm sập đổ nhà hộ dân. Do đó nghiên cứu này kiến nghị những khu vực có nguy cơ trượt lở từ 3000 m³ phải được nghiên cứu chi tiết, theo dõi và quan trắc về diễn biến, nguy cơ xảy ra trong các mùa mưa bão. Các vị trí và đặc điểm các khu vực có nguy cơ trượt quy mô lớn ở khu vực nghiên cứu được tổng hợp trong Bảng 2 và Hình 9. Trong đó những khu vực có các dấu hiệu nguy cơ nhưng chưa thực sự xảy ra trượt lở, thể tích mang tính chất ước tính nên không đưa ra con số cụ thể vào Bảng 2.



Hình 9. Sơ đồ vị trí các khối trượt dọc QL32 khu vực nghiên cứu.

Bảng 2. Bảng tổng hợp đặc điểm vị trí có nguy cơ TLQML đã được ghi nhận

Tên điểm trượt	Tọa độ	Thôn/Bản/Vị trí	Xã	Mô tả hiện trạng và nguy cơ tác động	Thể tích (m ³)	Điều kiện Địa chất và vỏ phong hóa (VPH)
TLQML-01	103.91 21.88	Bản Trống Là	Khao Mang	Khu vực có nguy cơ ảnh hưởng 03 hộ dân phía dưới chân dốc bên cạnh QL.32 và gây ách tắc QL.32 đoạn từ Km329+100 đến Km329+200. Khu vực này và lân cận dọc QL32 tiếp tục có nguy cơ trượt lở hàng loạt.	6934	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 3-5 m.
TLQML-02a	103.92 21.88	Bản Trống Là	Khao Mang	Là các khối trượt điển hình nằm hai bên sườn dốc của suối Trống Gầu Bua, bản Trống Là. Khu vực này và lân cận dọc con suối tiếp tục có nguy cơ trượt lở hàng loạt gây thiệt hại cho khu dân cư khu vực trung tâm xã Hồ Bốn (cũ).	3496	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 3-5 m.
TLQML-02b	103.92 21.88	Bản Trống Là	Khao Mang		8897	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 3-5 m.
TLQML-03	103.99 21.87	Bản Nà Dề Thàng	Khao Mang	Khu vực có nguy cơ trượt khối lớn ảnh hưởng hơn chục hộ dân dọc QL.32 đoạn Km316+900 đến Km317+300 và 01 trường tiểu học xã Khao Mang.	29045	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 5-12 m.
TLQML-04	104.02 21.87	Bản Thái	Khao Mang	Khu vực có nguy cơ trượt khối lớn và tạo dòng lũ bùn đá đổ xuống khu vực trung tâm của bản Thái, xã Khao Mang, dọc QL.32.	31400	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 10-15 m.
TLQML-05	104.11 21.84	Tổ 1, Thị trấn Mù Cang Chải	Mù Cang Chải	Khu vực đã xảy ra trượt cục bộ nhiều lần, làm biến dạng các công trình dọc QL32 đoạn Km300+200 đến Km300+400	28788	Đá núi lửa Ryolite, Trachyt, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 10-15 m.
TLQML-06	104.06 21.87	Bản Háng Phừ Loa (Mô Dề)	Mù Cang Chải	Khu vực có nguy cơ trượt quy mô lớn, đã xuất hiện các vết nứt trên đỉnh sườn dốc từ 2021, ảnh hưởng đến một số hộ dưới chân sườn dốc bản Háng Phừ Loa.	-	Đá núi lửa Ryolite, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 7-10 m, giàu Kaolinit.

TLQML-07	104.07 21.88	Bản Mỏ Dề KT01	Mù Cang Chải	Khu vực có nguy cơ trượt quy mô lớn, trên sườn dốc đã xuất hiện khe nứt. Dưới chân sườn dốc có 3 hộ dân có nguy cơ ảnh hưởng.	-	Đá núi lửa Ryolite, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 5-7 m.
TLQML-08	104.08 21.87	Bản Mỏ Dề KT02	Mù Cang Chải	Khu vực có nguy cơ trượt lở taluy dương và ảnh hưởng đến 04 hộ dân trên sườn dốc. Đã xuất hiện các vết nứt sườn và chân dốc.	-	Đá núi lửa Ryolite, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 5-7 m.
TLQML-09	104.09 21.86	Trạm y tế xã Mỏ Dề	Mù Cang Chải	Khu vực sau Trạm y tế Mỏ Dề có nguy cơ do địa hình lõm, dốc, đã nhiều tầng lần vết tích của vết trượt cũ. Trạm y tế và 7 hộ có nguy cơ ảnh hưởng khi trượt lở xảy ra.	-	Đá núi lửa Ryolite, phức hệ Nậm Kim; Bề dày VPH = 3-5 m, giàu Kaolinit, nâu vàng.
TLQML-10	104.1 21.85	Bản Sáng Nhù (Đồi Móng Ngựa)	Mù Cang Chải	Khu vực này đã xảy ra trượt cục bộ liên tiếp nhiều năm, có nguy cơ hình thành dòng lũ bùn đá.	722200	Đá núi lửa Ryolite, phức hệ Nậm Kim xen kẽ mạch thạch anh và đá phiến sét vôi; Bề dày VPH=10-15 m .
TLQML-11	104.1 21.83	Bản Háng Đặng Dề	Mù Cang Chải	Khu vực có nguy cơ trượt quy mô lớn, đã xuất hiện khe nứt chạy dọc đường vào bản dài khoảng 15 m.	-	Đá phiến sét, đá phiến sét màu đen chứa than, cát sạn kết tuf Hệ tầng Tú Lệ; Bề dày VPH 3-5 m.
TLQML-12	104.12 21.82	Bản Tà Chớ	Mù Cang Chải	Khối trượt đã xảy ra nhiều năm, tiếp tục có nguy cơ ảnh hưởng nguy hiểm đến 5 hộ dân sống gần khối trượt và khoảng 20 hộ trong diện cung trượt.	42704	Đá phiến sét, cát sạn kết tuf Hệ tầng Tú Lệ; Bề dày VPH 25-30 m.
TLQML-13	104.12 21.8	Bản Phình Hồ (Đế Su Phình)	Púng Luông	Năm 2017 khu vực này đã phải di dời 10 hộ dân do nguy cơ trượt lở. Hiện vẫn còn một số hộ dân nằm trong khu vực sườn dốc.	33707	Phức hệ Tú Lệ Bề dày VPH 5-7 m.
TLQML-14	104.13 21.83	Bản Dề Thàng (Chế Cu Nha)	Mù Cang Chải	Khu vực có nguy cơ trượt lở làm ảnh hưởng đến Trường PTDT Bán trú TH&THCS Chế Cu Nha, và các hộ dân dọc QL32.	408200	Đá núi lửa Ryolite phân phiến mỏng, phức hệ Nậm Kim.
TLQML-15	104.15 21.81	Bản Chế Cu Nha	Mù Cang Chải	Khối trượt thuộc khu vực ruộng đang canh tác nhà anh Hờ A Vàng, khối trượt tiếp tục bị sụt lún.	62800	Đá núi lửa Ryolite phân phiến mỏng, phức hệ Nậm Kim.

TLQML-16	104.13 21.83	Bản Thảo Chùa Chảy	Mù Cang Chải	Điểm trượt ở bản Thảo Chùa Chảy, xã Chế Cu Nha (cũ) xảy ra từ 2010, đã làm thiệt hại 7 người đi làm nương ngô.	37680	Đá núi lửa Ryolite phân phiến mỏng, phức hệ Nậm Kim.
TLQML-17	104.16 21.77	Ngã Ba Kim (La Pán Tẩn)	Púng Luông	Khối trượt xảy ra có nguy cơ ảnh hưởng đến khu nghỉ Homestay Hai Lúa, bên cạnh đường QL32 đoạn Km286+650.	4056	Hệ tầng trạm tẩu (Tập 1) Đá phiến sét xen các tập mỏng felsit. Bề dày VPH 5-6 m.
TLQML-18	104.18 21.79	Bản Trống Tông	Púng Luông	Khu vực này có 5 hộ dân yêu cầu phải di dời do nguy cơ của khối trượt.	8842	Hệ tầng trạm tẩu (Tập 1) Đá phiến sét, xen các tập mỏng felsit. Bề dày VPH 5-6 m.
TLQML-19	104.15 21.79	La Pán Tẩn	Púng Luông	Khu vực có nguy cơ trượt khối lớn, vùi lấp đường QL32 và 10 hộ dân sinh sống 2 bên đường QL32 đoạn Km291+ 800.	29610	Hệ tầng trạm tẩu (Tập 1) Đá phiến sét chứa vật chất than, đá phiến tufogen, tuf ryolit, xen các tập mỏng felsit. Bề dày VPH 9-10 m.
TLQML-20	104.15 21.8	Bản Púa Nhu Háng Sung (La Pán Tẩn)	Púng Luông	Bản Púa Nhu Háng Sung, xã La Pán Tẩn (cũ). Trước đây đã phải di dời 03 hộ dân do nguy cơ ảnh hưởng của khối trượt.	10257	Hệ tầng trạm tẩu (Tập 1) Đá phiến sét, tuf ryolit, xen các tập mỏng felsit. Bề dày VPH 9-10 m.
TLQML-21	104.26 21.75	Đèo Khau Phạ	Púng Luông	Khu vực có nguy cơ trượt khối lớn, xuất hiện một số vết nứt đất lớn trên nền nhà khu nghỉ dừng chân đèo Khau Phạ.	20933	Phức hệ Tú Lệ: trachyryolit porphy, trachyryolit dạng felsit.
TLQML-22	104.27 21.77	Điểm Trường THCS Cao Phạ	Tú Lệ	Khu vực có nguy cơ trượt nguy mô lớn ảnh hưởng đến điểm trường THCS xã Cao Phạ và dân cư phía dưới.	-	Phức hệ Tú Lệ: trachyryolit porphy, trachyryolit dạng felsit; Bề dày VPH 5-7 m.
TLQML-23	104.27 21.74	Km266 Cao Phạ	Xã Tú Lệ	Đoạn đường trên QL.32 từ Km265+905 đến Km266+50 có nguy cơ cao trượt đá, đá đổ đá lăn ảnh hưởng đến người giao thông.	-	Phức hệ Tú Lệ: trachyryolit porphy, trachyryolit dạng felsit; Bề dày VPH 2-3 m.
TLQML-24	104.18 21.79	Núi Hấu Đề (La Pán Tẩn)	Púng Luông	Khu vực đỉnh núi ranh giới xã Chế Cu Nha và La Pán Tẩn (cũ) có nhiều vết nứt xuất hiện từ 2023.	-	Phức hệ Nậm Kim: Đá Ryolite ép phiến mỏng, Bề dày VPH 5-7 m.

(Hình ảnh của các vị trí các điểm nguy cơ có thể tham khảo thêm trên <https://yenbai.truotlo.com/>).

3.2. Đặc điểm khu vực có nguy cơ trượt lở quy mô lớn trong khu vực nghiên cứu

3.2.1. Một số đặc điểm đặc trưng của các khu vực có nguy cơ trượt lở quy mô lớn

Trên cơ sở xem xét các yếu tố dựa vào vị trí phân bố, hiện trạng trượt lở, kết quả phân tích thống kê thể tích và các điều kiện bề mặt khu vực, các vị trí khối trượt và nguy cơ trượt dọc tuyến đường QL32 đã được rà soát xếp loại. Trên thực tế các điểm trượt khá đa dạng, nhưng có thể xếp vào có hai kiểu cơ bản: i) Kiểu trượt lở hàng loạt trong cùng khu vực; và ii) Các khối trượt có kích thước lớn. Loại (i) có thể gặp điển hình khu vực Hồ Bốn xảy ra vào năm 2023, có 2/24 điểm; còn loại (ii) là nguy cơ hoặc hình thái nguy cơ trượt khối lớn, loại hình này ghi nhận ở nhiều điểm trên toàn tuyến nghiên cứu, có 22/24 điểm. Trong Bảng 2 và Hình 9 đã thống kê các vị trí và một số đặc điểm mô tả về lịch sử trượt lở, dấu hiệu khe nứt hoặc sụt lún, đặc điểm thành phần, bề dày vỏ phong hóa, thể tích của các khu vực có nguy cơ TLQML. Đồng thời căn cứ trên kết quả thống kê về ngưỡng thay đổi về thể tích, thì những vị trí TLQML có đặc điểm chung như sau:

- Là các khối trượt hoặc những khu vực có nguy cơ xảy ra hàng loạt các khối trượt liên tiếp cùng thời điểm có tổng thể tích trượt lở trên 3000 m³. Khu vực xảy ra hàng loạt khối trượt đồng thời thường là các lưu vực nhỏ, dốc, có sự chênh lệch địa hình lớn. Trượt lở xảy ra khi có mưa rất lớn hoặc mưa cực đoan. Đối với khu vực chỉ có một khối trượt thì thường có chiều rộng hàng vài trăm m trở lên, bề mặt khối trượt có dạng địa hình lõm và gồ ghề. Địa hình khối trượt là kết quả của một loạt quá trình tiếp diễn có thể trong thời gian dài và trong không gian rộng, có các dấu vết của khe nứt, các vách trượt chính lộ ra bề mặt. Phần thân khối trượt chia thành nhiều phần bởi các vách trượt và khe nứt phụ, bề mặt bị lồi lõm. Các công trình trên thân khối trượt và xung quanh khối trượt có bắt gặp các biểu hiện hư hỏng như bị nứt, hoặc sụt lún hoặc trượt cục bộ, thường xảy ra vào các đợt mưa lớn.

- Có tác động bởi các yếu tố địa chất, địa hình, địa chất công trình và địa chất thủy văn. Về địa chất khu vực nghiên cứu chủ yếu tập trung ở các thành tạo núi lửa phun trào gồm các phức hệ núi lửa Nậm Kim, Tú Lệ, Ngòi Thia và hệ tầng Trạm Tấu (Bảng 2). Các thành tạo có đặc trưng chung bị phân cắt hoặc ép phiến bởi các hoạt động kiến tạo và hệ khe nứt. Trượt khối lớn thường có bề dày lớp đất phong hóa và sườn tích lớn (>5 m), đất đá chân khối trượt hoặc xung quanh phong hóa mạnh.

- Khi trượt lở xảy ra sẽ có phạm vi dịch chuyển và diện tích ảnh hưởng lớn, kéo dài. Các khối trượt phân bố gần khu vực dân sinh, đường quốc lộ khi trượt lở xảy ra sẽ có nguy cơ ảnh hưởng đến tài sản, sinh kế và sự an toàn tính mạng người dân.

3.2.2. Đặc điểm một số khu vực điển hình

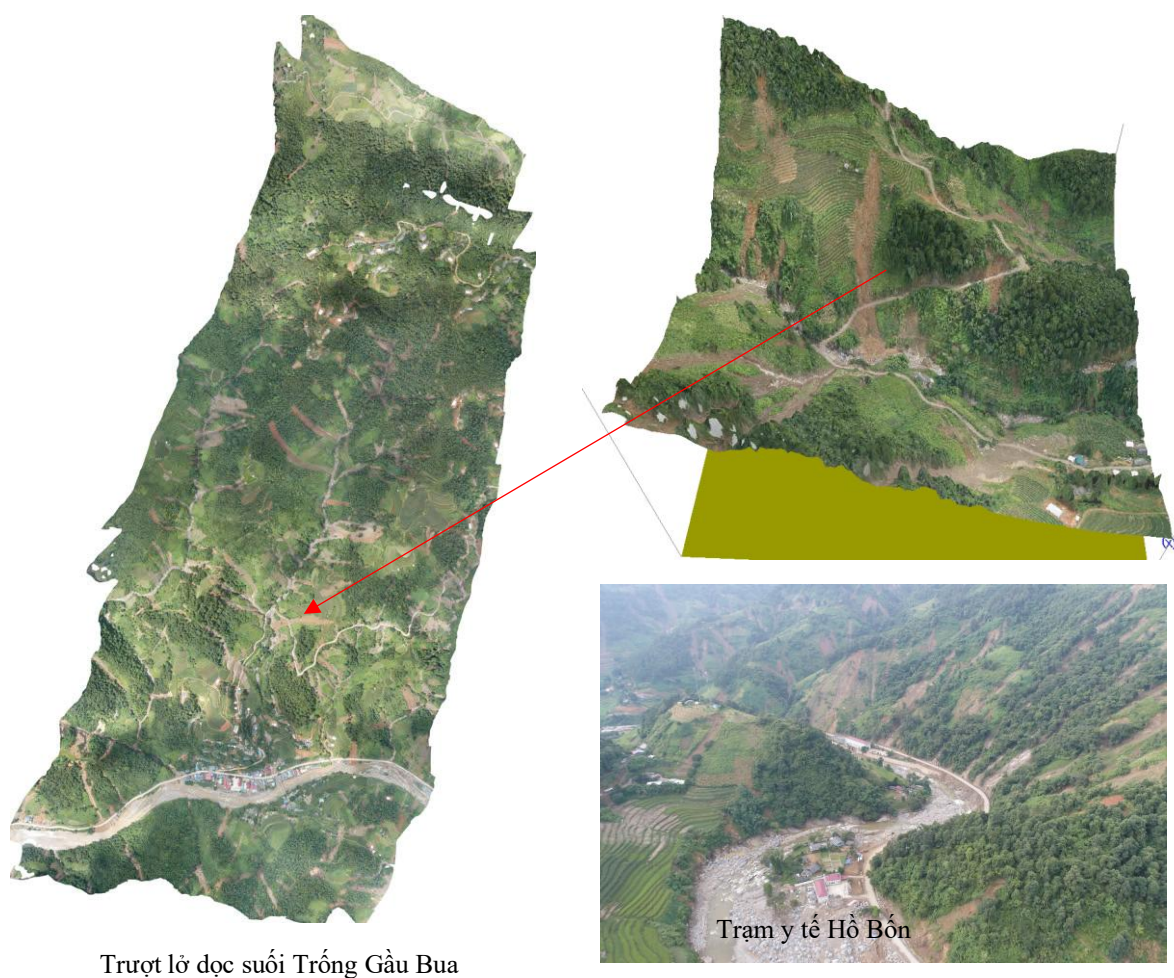
Dưới đây trình bày một số đặc điểm của 2 vị trí đại diện cho 2 loại hình TLQML ở khu vực nghiên cứu:

i) Khu vực trượt lở hàng loạt tại xã Hồ Bốn (cũ), năm 2023

Khu vực trung tâm xã Hồ Bốn (cũ) được khảo sát lần đầu vào tháng 5/2023, và khu vực này là khu vực được phỏng đoán là khu vực có nguy cơ trượt lở và lũ quét dựa vào nhận diện đặc điểm địa hình và ảnh bay chụp UAV (Hình 10). Trên ảnh có thể xác định một số đặc điểm như: khu vực có chênh lệch địa hình lớn, từ cao trình 850-900m dọc QL32 lên tới 1350-1500 m trên đỉnh, có một số khe suối lớn. Khu vực tập trung dân cư và trụ sở UBND xã là một khe suối lớn. Dọc khe suối có một số vị trí có nguy cơ trượt khối lớn như có vết nứt cổ, địa hình bị sụt lún và đẩy thành vòm vồng lồi. Một trong những khối trượt lớn có kích thước chiều rộng chân tới 350 m, chiều cao 100 m, chiều dài từ đỉnh đến chân khối trượt 400 m. Ngoài điều kiện tự nhiên trên thì khu vực này có các hoạt động xẻ taluy dốc để làm đường và xây dựng nhà ở, đất đá phóng hóa mạnh, gắn kết yếu. Đồng thời có mật độ dân cư đông đúc của xã Hồ Bốn (cũ) tập trung dọc QL32 ở chân của con suối chảy ra sông Nậm Kim ảnh hưởng nặng nề khi trượt lở và lũ quét xảy ra (Hình 10).



Hình 10. Ảnh chụp UAV vào tháng 5/2023 khi chưa có trượt lở xảy ra



Hình 11. Trượt lở xảy ra tại Hồ Bốn vào tháng 8/2023.

Vào đầu tháng 8/2023, trong trận mưa từ ngày 31/7 đến ngày 6/8, trên địa bàn xã Hồ Bốn (cũ) đã xảy ra hàng loạt khối trượt. Trận mưa ghi nhận với cường độ mưa cực đoan [29]. Các khối trượt xảy ra dọc suối Trống Gầu Bua và QL32, vật liệu đất đá trượt lở đổ dồn vào khe suối cung cấp vật liệu tạo lũ quét đã gây thiệt hại nghiêm trọng cho khu vực trung tâm xã Hồ Bốn (Hình 11). Bản Trống Là bị thiệt hại nặng nề nhất với nhiều điểm bị lũ quét, lũ ống và sạt lở đất. Tại khu vực trạm y tế xã, hơn chục hộ dân bị lũ cuốn bay nhà cửa, trạm y tế cũng bị cuốn trôi một phần. Mô hình DEM, ảnh trực giao và các mặt cắt của một điểm trượt ở khu vực này cũng đã được xây dựng từ ảnh chụp UAV để có thể quan sát và thực hiện các nghiên cứu chi tiết tiếp theo (Hình 11);

Khu vực Hồ Bốn tiếp tục có nguy cơ xảy ra trượt lở diện rộng, dạng quy mô lớn, do một số đặc điểm như khu vực có i) Địa hình có độ cao chênh lệch lớn giữa khu vực chân sườn dọc QL32 với các khu vực lân cận 2 bên lên các bản của xã, có hệ thống sông suối dày tạo ra địa hình nguy hiểm cả ở taluy dương các sườn dốc và taluy âm dọc tuyến đường cạnh các hệ thống sông suối; ii) Do điều kiện địa chất, đất đá thành tạo chủ yếu phong hóa của đá rhyolit-trachyt có hướng của mặt phân phiến và các khe nứt trùng với hướng đồ của địa hình và sườn dốc, có nhiều đới phong hóa mạnh; và iii) Do điều kiện canh tác xây dựng nhà và đường giao thông, chân sườn dốc bị cắt xẻ thúc đẩy quá trình phong hóa và trượt lở, đồng thời do cách thức trữ nước canh tác ruộng bậc thang cũng là những nguyên nhân tăng cường trượt lở;



Hình 12. Khối trượt lớn tại đồi Móng Ngựa, chụp vào tháng 5/2023 và tháng 3/2024.

ii) Khu vực trượt lở khối lớn điển hình
Khối trượt TLQML-10 (trong Bảng 2) là khối trượt dạng khối trượt lớn đang hoạt động

trên đồi Móng Ngựa, xã Mù Cang Chải. Địa hình khu vực có độ cao từ 1080 m đến 1230 m, có độ dốc tự nhiên trung bình khoảng 20°. Rừng tự

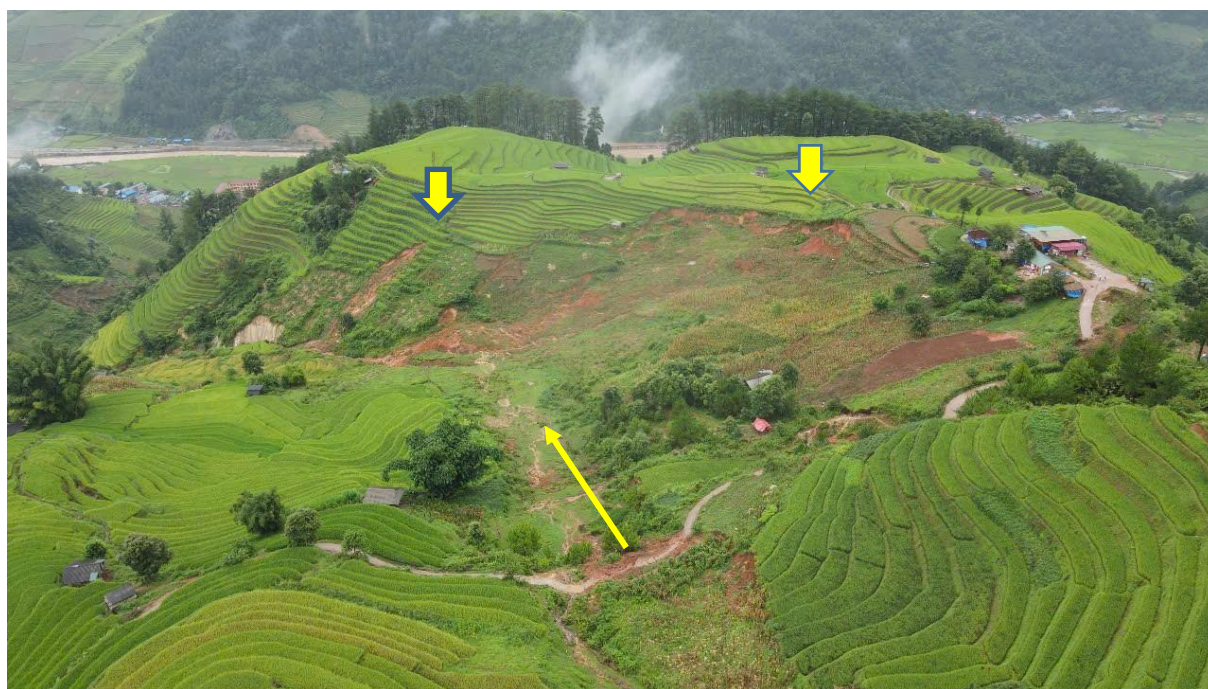
nhiên tại khu vực này đã bị phá bỏ hoàn toàn để làm ruộng bậc thang. Hiện nay ruộng lúa bậc thang bị mất dần diện tích do trượt lở. Trong phạm vi khối trượt không thể cảnh tác được ruộng lúa và bề mặt có thể nhận diện được các phân diện hình như đã trình bày trong phần (a) của mục giới thiệu.

Hình thái và kích thước khối trượt: độ dốc bề mặt khoảng 20 độ; chiều cao $H=150$ m; Chiều rộng $W=230$ m; Chiều sâu vách trượt $D=15$ m; Chiều dài khối trượt $L=400$ m; Thể tích khối trượt $V=722200$ m³.

Vách trượt chính: cao 15 m, kéo dài gần 81 m, phần đỉnh và 2 rìa theo khe suối đá phong hóa mạnh, đá phun trào axit màu xám trắng có các mạch thạch anh, xen kẽ các lớp trầm tích đá vôi. Phần rìa cách phải có các khe nứt kéo dài khoảng 15 m.

Bề mặt và thân khối trượt: Phủ bởi lớp đất phong hóa màu nâu đỏ dày 10-15 m, bề mặt lồi lõm nhiều vách phụ và vết nứt ngang, đổ cùng hướng với hướng dịch chuyển của khối trượt. Phần chân khối trượt bắt gặp đá rhyolite phong hóa mạnh, một số chỗ xen kẹp mạch thạch anh hoặc các lớp đá trầm tích màu xám đen.

Phạm vi ảnh hưởng: hiện nay trượt lở chủ yếu xảy ra cục bộ tại các vị trí khác nhau ảnh hưởng trong phạm vi khối trượt làm mất đất canh tác của người dân và ảnh hưởng tuyến đường lên bản qua khối trượt. Tuy nhiên về lâu dài khu vực này cơ sở xây trượt đồng thời và có nguy cơ dồn vật liệu và theo dòng chảy dọc khối trượt xuống chân khối trượt và lan truyền xuống QL32 nơi dân cư của xã Mù Cang Chải và nguy cơ ảnh hưởng tới Trường THCS Mù Cang Chải và trường Phổ thông Dân tộc nội trú (Hình 13, 14).



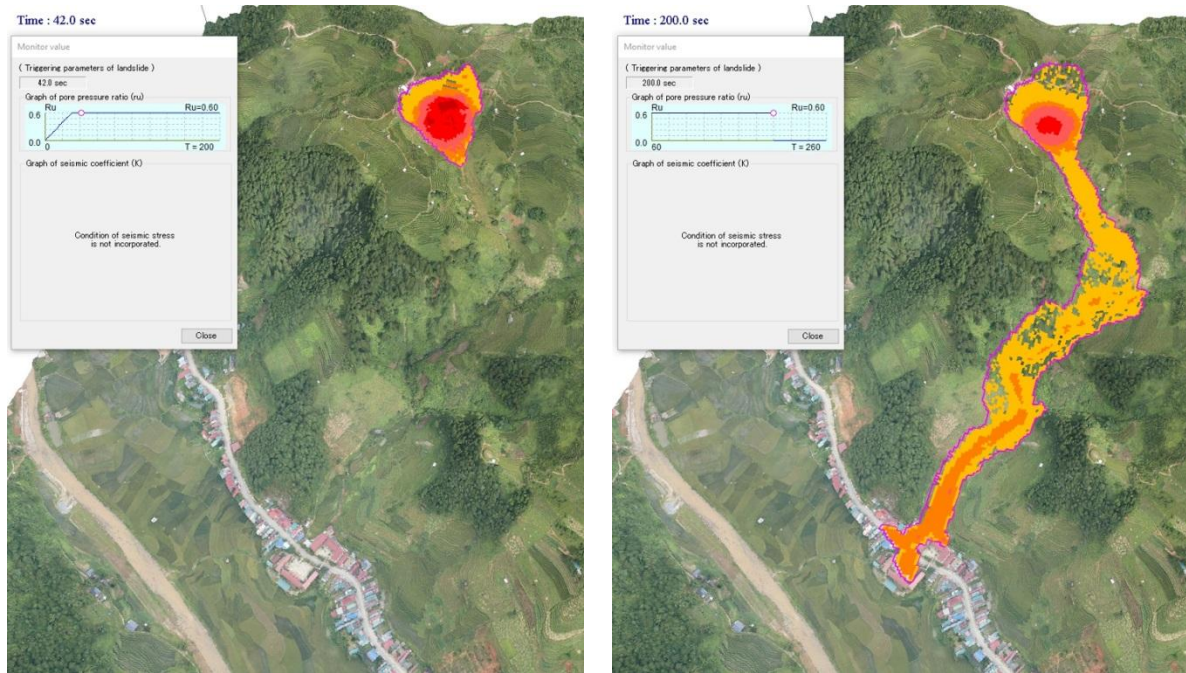
Hình 13. Trượt lở tại khu vực đồi Móng Ngựa trong đợt mưa bão tháng 9/2024.

Hàng năm khu vực này đều có nguy cơ và xảy ra trượt lở cục bộ nhiều vị trí. Đặc biệt trong giai đoạn nghiên cứu từ năm 2023-2024 đều có những đợt thời tiết cực đoan, tác động lớn đến việc xảy ra tại biến trượt lở-lũ quét trong khu vực. Vị trí khối trượt Móng Ngựa đã xảy ra sát

lở cục bộ nhỏ tại một số vị trí trên vách, phát triển và mở rộng các khe nứt ở thân và xung quanh, đặc biệt là vách trái khối trượt (Hình 13). Năm 2024 dưới tác động của bão Yagi, mưa lớn xảy ra trong thời gian ngắn tại Mù Cang Chải từ ngày 7-8/9, với lượng mưa khoảng 100 mm/ngày đã

làm trượt lở đáng kể phần trên đỉnh và phía cánh trái khối trượt nơi xuất hiện các khe nứt và đã được cảnh báo. Trong đợt mưa bão này, cường độ lớn nhưng xảy ra chỉ 2 ngày, trượt lở cục bộ đã tiếp tục xảy ra như trên Hình 13. Việc mưa với cường độ lớn xảy ra nhiều ngày hơn sẽ có nguy cơ rất cao trượt lở mảng lớn. Hình 14 là

một trong những kết quả mô phỏng về việc khối trượt bị kích hoạt và xảy ra trượt sâu tham khảo từ nghiên cứu [29], đất đá của khối trượt sẽ vận chuyển theo khe suối chân khối trượt gây lũ quét tác động khu vực dân cư khu vực xã Mù Cang Chải, dọc QL32.



Hình 14. Mô phỏng quá trình trượt lở tại đồi Móng Ngựa cho thấy sự tiến triển của quá trình khởi phát và vận động theo thời gian [29].

Từ những nhận định và phân tích trên đây là cơ sở để tiếp tục có nghiên cứu chi tiết hơn và có kế hoạch theo dõi các dịch chuyển của khối trượt quy mô lớn, cảnh báo và ứng phó kịp thời giảm thiểu thiệt hại nếu trượt lở lớn xảy ra. Trong khuôn khổ của đề tài mã số ĐTĐL.CN-37/23 sẽ tiếp tục thực hiện các nội dung kiến nghị này và sẽ công bố trong các nghiên cứu tiếp theo.

4. Kết luận

Nghiên cứu sử dụng các phương pháp thực địa chuyên ngành địa chất, địa kỹ thuật và phương pháp bay chụp ảnh UAV, phương pháp thống kê để thu thập, khảo sát, phân tích. Nghiên cứu đã nhận diện và khoanh định 24 vị trí có

nguy cơ TLQML dọc QL32 từ đèo Khau Phạ đến Khao Mang. Có hai loại TLQML được ghi nhận là loại trượt lở hàng loạt và trượt khối lớn, thường có tổng thể tích trượt lở lớn hơn 3000 m³. Khu vực lưu vực suối Trống Gấu Bua, xã Khao Mang và những khu vực có lưu vực hẹp, địa hình dốc là khu vực điển hình của tập hợp các khối trượt hàng loạt, 2/24 điểm. Các vị trí còn lại (22/24) vị trí có nguy cơ trượt lở khối lớn. Những khu vực trượt lở khối trượt thường có địa hình lồi, có các vết nứt hoặc sụt lún đất, có bề dày vỏ phong hóa lớn (>5m). Bề mặt khối trượt tạo thành cung lồi gồ ghề, không thể canh tác ruộng lúa. Các vị trí này đặc biệt nguy hiểm khi phân bố gần khu vực dân cư hoặc dọc tuyến đường giao thông. Những khu vực sau khi nhận

diện khoanh định sẽ phải có các nghiên cứu chi tiết để dự báo nguy cơ trượt lở và có kế hoạch xây dựng, ứng phó giảm thiểu thiệt hại do trượt lở gây ra.

Lời cảm ơn

Bài báo được thực hiện với sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu xác định cơ chế hình thành, quy luật phân bố và cảnh báo sớm tai biến trượt đất quy mô lớn ở Việt Nam bằng tích hợp công nghệ viễn thám, trí tuệ nhân tạo và lý thuyết cơ học đất không bão hòa” mã số ĐTĐL.CN-37/23

Tài liệu tham khảo

- [1] D. M. Duc, Rainfall-triggered Large Landslides on 15 December 2005 in Van Canh District, Binh Dinh Province, Vietnam, *Landslides*, Vol. 10, No. 2, 2013, pp. 219-230.
- [2] D. M. Duc, D. Q. Khang, D. M. Duc, D. M. Ngoc, D. T. Quynh, D. T. Thuy, N. H. Ha, Analysis and Modeling of A Landslide-induced Tsunami-like Wave Across the Truong River in Quang Nam Province, Vietnam, *Landslides* Vol. 17, 2020, pp. 2329-2341.
- [3] N. C. Lan, P. V. Tien, D. T. Nghia, Deep-seated Rainfall-induced Landslides on a New Expressway: A Case Study in Vietnam, *Landslides*, Vol. 17, 2019, pp. 395-407.
- [4] D. Hh. Loi, L. H. Quang, K. Sassa, K. Takara, D. Q. Khang, N. K. Thanh, P. V. Tien, The 28 July 2015 Rapid Landslide at Ha Long City, Quang Ninh, Vietnam, *Landslides*, Vol. 14, No. 3, 2017, pp. 1207-1215.
- [5] P. V. Tien, V. C. Minh, D. M. Duc, L. H. Luong, D. H. Nam, T. T. Hieu, Rainfall-induced Catastrophic Rapid and Long-traveling Landslide in Lang Nu Hamlet: The Worst Natural Landslide Disaster in Vietnam, *Landslide*, 2025, <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02490-2>.
- [6] R. Eker, A. Aydın, Long-term Retrospective Investigation of a Large, Deep-seated, and Slow-moving Landslide Using Insar Time Series, Historical Aerial Photographs, and UAV data: The case of Devrek landslide (NW Turkey), *Catena*, 2020, pp. 104895, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104895>.
- [7] T. Pánek, J. Klimeš, Temporal Behavior of Deep-Seated Gravitational Slope Deformations: A Review. *Earth-Science Reviews*, Vol. 156, 2016, pp. 14-38, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.02.007>.
- [8] F. Agliardi, G. Crosta, A. Zanchi, Structural Constraints on Deep-seated Slope Deformation Kinematics, *Engineering Geology*, Vol. 59, No. 1-2, 2001, pp. 83-102, [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00066-1).
- [9] C. M. Lo, Evolution of Deep-seated Landslide at Putanpunas Stream, Taiwan, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, Vol. 8, No. 2, 2017, pp. 1204-1224, <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1309462>.
- [10] S. Cuomo, Modelling of Flow Slides and Debris Avalanches in Natural and Engineered Slopes: A Review, *Geoenvironmental Disasters*, Vol. 7, No. 1, 2020, pp. 1-25, <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0133-9>.
- [11] S. Y. Zhou, L. Gao, L. M. Zhang, Predicting Debris-flow Clusters Under Extreme Rainstorms: A Case Study on Hong Kong Island, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 78, No. 8, 2019, pp. 5775-5794, <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01504-3>.
- [12] F. Imaizumi, T. Masui, Y. Yokota, H. Tsunetaka, Y. S. Hayakawa, N. Hotta, Initiation and Runout Characteristics of Debris Flow Surges in Ohya Landslide Scar, Japan, *Geomorphology*, Vol. 339, 2019, pp. 58-69, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.04.026>.
- [13] L. M. Highland, P. Bobrowsky, The Landslide Handbook-a Guide to Understanding Landslides (No. 1325), US Geological Survey, 2008.
- [14] D. Shen, Z. Shi, M. Peng, L. Zhang, M. Jiang, Longevity Analysis of Landslide Dams, *Landslides*, Vol. 17, No. 8, 2020, pp. 1797-1821.
- [15] X. Fan, A. Dufresne, S. Siva Subramanian, A. Strom, R. Hermanns, C. Tacconi Stefanelli, K. Hewitt, A. P. Yunus, S. Dunning, L. Capra, M. Geertsema, B. Miller, N. Casagli, J. D. Jansen, Q. Xu, The Formation and Impact of Landslide Dams - State of the Art, *Earth-Science Reviews*, Vol. 203, 2020, pp. 103116, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103116>.
- [16] J. E. Costa, R. L. Schuster, The Formation and Failure of Natural Dams, *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 100, No. 7, 1988, pp. 1054-1068.
- [17] R. L. Hermanns, K. Hewitt, A. Strom, S. G. Evans, S. A. Dunning, G. S. Mugnozza, The Classification of Rockslide Dams, *Natural and Artificial Rockslide Dams*, Springer, 2011b, pp. 581-593.
- [18] USGS, Diagram of Deep-seated Landslide, from USGS Fact Sheet 3004-3072, *Landslide Types*

- and Processes,
<https://www.usgs.gov/media/images/diagram-deep-seated-landslide-usgs-fact-sheet-3004-3072>
 (accessed on: March 1st, 2025).
- [19] D. M. Duc, Study on the Formation and Development Characteristics of Several Large Landslide Masses in the Northern Mountainous Region (Case Study in Xin Man District, Ha Giang Province), Doctoral dissertation in Geology, Graduate University of Science and Technology – Vietnam Academy of Science and Technology, 2023 (in Vietnamese).
- [20] Ministry of Natural Resources and Environment (MNRE), Geology and Earth Resources of Vietnam, Publishing House for Science and Technology, Hanoi, ISBN: 978-604-913-047-2, 2011.
- [21] K. Sassa, F. Guzzetti, H. Yamagishi, Z. Arbanas, N. Casagli, M. McSaveney, K. Dang, (Eds.). Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools: Volume 1: Fundamentals, Mapping and Monitoring, Springer, 2017.
- [22] T. Miyagi, TXT-tool 1.081-2.1 Landslide Topography Mapping Through Aerial Photo Interpretation, In: Sassa K, He B, McSaveney M, Nagai O (eds) ICL Landslide Teaching Tools, Springer, Cham, 2014, pp 1-10.
- [23] T. Miyagi, Landslide Recognition and Mapping for Slope Disaster Risk Reduction and Management–keynote Speech, WLF5 Books Understand Reducing Landslide Disaster Risk, Vol. 2, 2021, pp. 9-31,
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-60227-7>.
- [24] T. Miyagi, Interpretation and Mapping for the Prediction of Sites at Risk of Landslide Disasters: From Aerial Photography to Detection by DTMs. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Progress in Landslide Research and Technology, Springer, Cham, Vol. 3, Iss. 1, 2024, https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_2.
- [25] B. D. Malamud, D. L. Turcotte, F. Guzzetti, P. Reichenbach, Landslide Inventories and Their Statistical Properties, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 29, No. 6, 2004, pp. 687-711,
<https://doi.org/10.1002/esp.1064>.
- [26] H. Saito, T. Uchida, H. Matsuyama, Statistical Analysis of Landslide Volume Distributions, Geomorphology, Vol. 124, No. 3-4, 2010, pp. 209-216,
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.08.014>.
- [27] O. Hungr, J. Corominas, E. Eberhardt, Landslide Hazard and Risk Assessment Concepts and Methods, in: Sassa K., Canuti P. (eds) Landslides – Disaster Risk Reduction, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, https://doi.org/10.1007/978-3-540-69970-5_2.
- [28] J. Tuganishuri, C. Y. Yune, G. Kim, S. W. Lee, M. D. Adhikari, S. G. Yum, Prediction of the Volume of Shallow Landslides Due to Rainfall Using Data-driven Models, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 25, 2025, pp. 1481-1499,
<https://doi.org/10.5194/nhess-25-1481-2025>.
- [29] D. Q. Khang, D. T. Toan, N. D. Son, D. H. Loi, D. T. Quynh, M. D. Duc, Large-scale Landslide Risk Assessment and Mitigation for the Protection of Terraced Rice Fields and Tourism Landscapes at Mong Ngua Hill, Mu Cang Chai District, Yen Bai Province, Vietnam, In: Advances in the Earth, Mining and Environmental Sciences for Safe and Sustainable Development, Advanced Technologies and Artificial Intelligence in the Earth and Environmental Sciences, Publishing House for Science and Technology, ISBN: 978-604-357-341-1, Vol. 1, 2024, pp. 64-77.
- [30] D. T. Toan, D. M. Duc, D. T. Quynh, D. Q. Khang, B. V. Dong, Extreme-rainfall-induced Series of Landslides and Large Flow-like Landslides in Ho Bon Commune, Mu Cang Chai District, Yen Bai Province, Vietnam, in August 2023, Landslides, 2025, pp. 1-16.