VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 41, No. 1 (2025) 54-70

VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences

Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/EES

Original Article

Study on Weathered Slope Landslides and Causes in Mu Cang Chai District, Yen Bai Province

Duong Thi Toan*, Do Minh Duc, Dang Quang Khang, Nguyen Dinh Son

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

Received 6th June 2024
Revised 3rd December 2025; Accepted 27th February 2025

Abstract: Landslides are one of the most frequent types of natural hazards occurring in the mountainous regions of Vietnam. With a humid tropical climate, the slope weathering processes increase the prevalence of landslides on weathered slopes. This paper synthesizes research approaches to weathered slope landslides. It applies to identifying the factors contributing to the landslide area behind the former procuracy building in Mu Cang Chai district, Yen Bai province. The study used published data besides field surveys and laboratory analyses. The results identified that several processes influence the landslide, including heterogeneous weathered soil and rock, thinly foliated bedrock with fracture systems aligned with the sliding direction, expansive surface soils with a high risk of strength reduction and deformation, and partially weathered or fractured zones prone to forming slip surfaces. Furthermore, the accumulation of water drainage lines at the toe of the landslide increases pressure, thereby enhancing landslide risk.

Keywords: Weathered slope, weathered soil properties, landslide disaster.

* Corresponding author.
E-mail address: duongtoan@hus.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5162

Nghiên cứu trượt lở vỏ phong hóa: Lấy ví dụ nghiên cứu điền kiện vỏ phong hóa và ảnh hưởng đến khối trượt lớn sau tòa nhà viện kiểm sát cũ huyện Mù Cang Chải, tỉnh Yên Bái

Dương Thị Toan*, Đỗ Minh Đức, Đặng Quang Khang, Nguyễn Đình Sơn

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

Nhận ngày 06 tháng 6 năm 2024
Chỉnh sửa ngày 03 tháng 12 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 27 tháng 02 năm 2025

Tóm tắt: Trượt lở là một trong những loại hình tai biến xảy ra thường xuyên khu vực miền núi nước ta. Nằm trong khu vực nhiệt đới ẩm, quá trình phong hóa mái dốc xảy ra mạnh mẽ và trượt lở trên mái dốc vỏ phóng hóa ngày càng phổ biến. Bài báo này tổng hợp cách tiếp cận nghiên cứu trượt lở mái dốc vỏ phong hóa và ứng dụng cho khối trượt phía sau công trình Viện Kiểm Sát cũ tại thị trấn Mù Cang Chải, tỉnh Yên Bái để làm sáng tỏ nguyên nhân tác động đến trượt lở. Nghiên cứu đã thực hiện xây dựng dữ liệu từ việc thu thập, khảo sát, phân tích trong phòng thí nghiệm, từ đó đánh giá hiện trạng và tác động của các yếu tố. Kết quả cho thấy một số quá trình ảnh hưởng đến trượt lở khối trượt ở thị trấn Mù Cang Chải gồm: khu vực có đất đá phong hóa không đồng nhất, đá gốc bị ép phiến mỏng và có hệ khe nứt trùng với hướng dịch chuyển của khối trượt; đất bề mặt khối trượt có tính trương có nguy cơ bị suy giảm độ bền và biến dạng cao; Các đới phong hóa dở dang hoặc đập vỡ có nguy cao phát sinh mặt trượt. Ngoài ra do hướng dòng tích tụ tại chân khối trượt tạo ta áp lực tăng nguy cơ dịch chuyển khối trượt.

Từ khóa: Vỏ phong hóa, tính chất đất đá, tai biến trượt lở.

1. Giới thiệu chung về phân loại vỏ phong hóa và ứng dụng trong nghiên cứu trượt lở

Trượt lở ở Việt Nam và các nước khu vực nhiệt đới xảy ra chủ yếu ở mái dốc có mức độ phong hóa mạnh. Trong mùa mưa, đất đá mái dốc phong hóa mạnh thấm nước nhanh và chuyển dần sang chế độ bão hòa, bị mất liên kết, suy giảm độ bền cắt. Đồng thời, mái dốc tăng áp lực lỗ rỗng, tăng tải trọng tác động dẫn đến các quá trình biến dạng và mất cân bằng gây ra trượt lở. Tuy nhiên ở mỗi khu vực có điều kiện tự nhiên và tác động nhân sinh khác nhau, sự phát triển của vỏ phong hóa sẽ khác nhau về mức độ và phạm vi phong hóa. Điều này sẽ ảnh hưởng tới quy mô của các khối trượt [1].

Quá trình phong hóa là quá trình địa chất tự nhiên làm thay đổi cấu trúc thành phần và các đặc điểm tính chất cơ lý của đất đá. Theo một số nghiên cứu, sản phẩm quá trình phong hóa ở Việt Nam phản ánh một số điều kiện gồm điều kiện địa chất, địa hình và điều kiện khí hậu [2-4]. Cách phân loại vỏ phong hóa phổ biến dựa vào thành phần hóa học, khoáng vật và các chỉ số địa

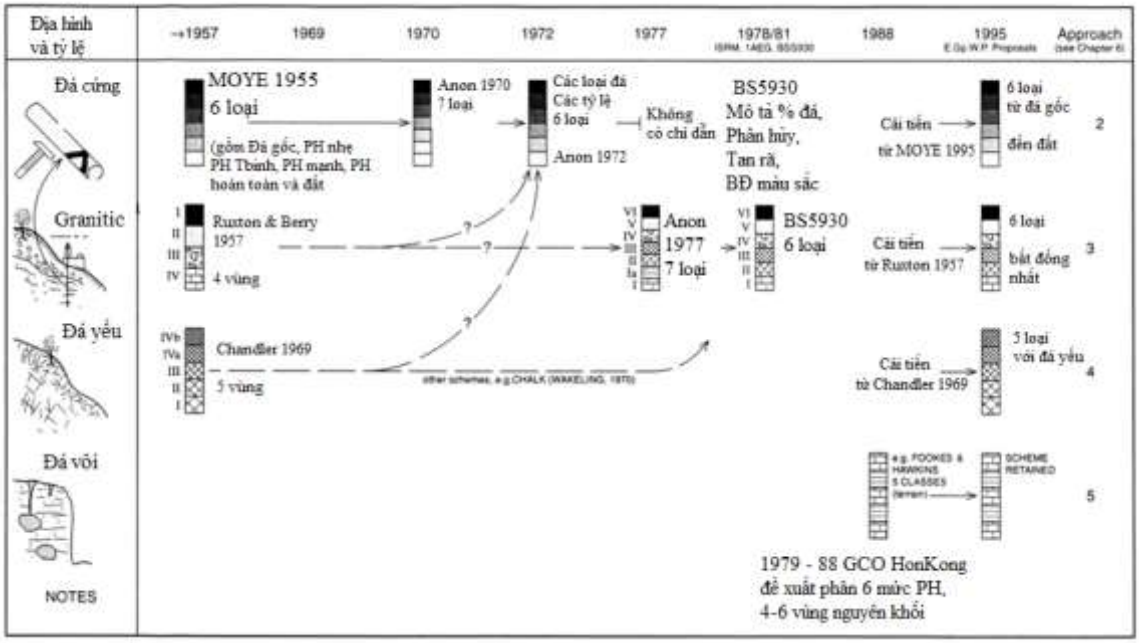
* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: duongtoan@hus.edu.vn

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5162

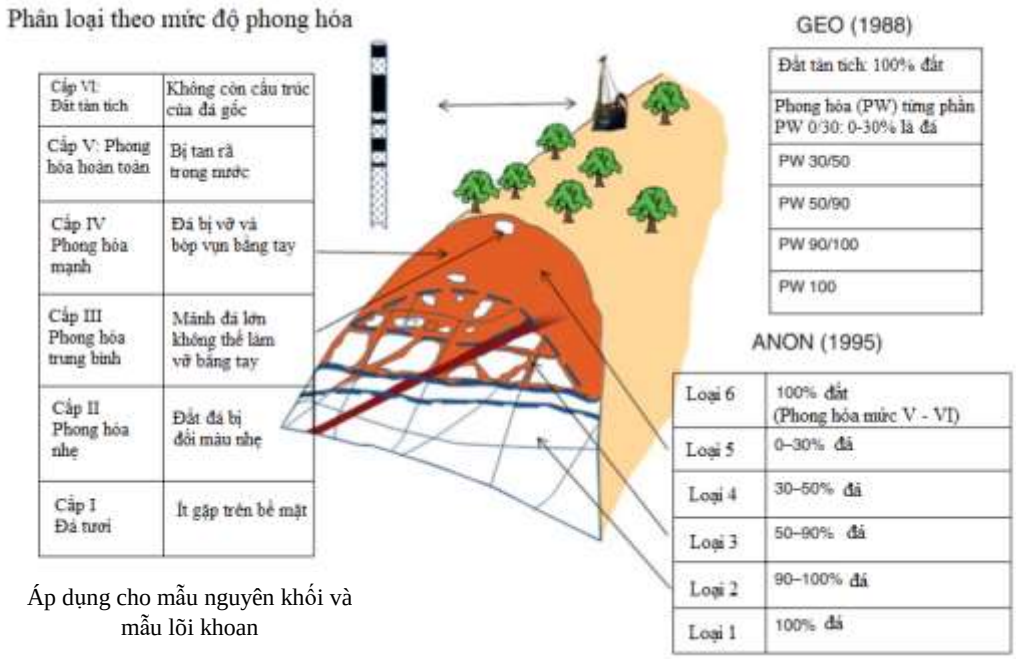
hóa của đất đá. Theo đó, vỏ phong hóa được phân chia thành ba nhóm: i) Vỏ phong hóa tàn dư trên các đá có thành phần chủ yếu là silicat – alumosilicat; ii) Vỏ phong hóa trên đá cacbonat; và iii) Vỏ phong hóa trên đá chứa các mạch thạch anh sunfua. Tiếp đó vỏ phong hóa được phân chia thành các đới saprolit, sét, litoma, và laterit [5]. Trong đó laterit là sản phẩm phong hóa bị biến đổi mạnh mẽ về mặt địa hóa và khoáng vật, chỉ phổ biến ở các vùng nhiệt đới. Đới phong hóa laterit có mặt rải rác suốt từ phía Bắc tới phía Nam, rất đa dạng trên toàn bộ lãnh thổ Việt Nam [4, 5]. Điều này chứng tỏ việc phát triển vỏ phong hóa ở nước ta rất mạnh mẽ.

Trong các nghiên cứu trượt lở ở Việt Nam, đặc điểm vỏ phong hóa là một trong những yếu tố quan trọng được đưa vào để đánh giá nguy cơ trượt lở [5-9]. Các tính chất của vỏ phong hóa được sử dụng gồm bề dày, trạng thái, phân loại theo nguồn gốc thạch học, thành phần khoáng vật và địa hóa. Các thông số được phân cấp theo thang điểm ảnh hưởng đến nguy cơ trượt lở phụ thuộc vào kinh nghiệm của các chuyên gia. Hiện nay đã có một số nghiên cứu phân tích và xây dựng mối tương quan giữa các tính chất địa kỹ thuật phục vụ việc phân tích làm rõ cơ chế trượt lở của từng loại vỏ phong hóa khác nhau [6-8].

Trong các nghiên cứu trên thế giới về đánh giá các tai biến, vỏ phong hóa được phân cấp theo cấu trúc hình thái, độ nứt nẻ, mức độ bảo tồn hoặc khả năng phá vỡ của đá gốc, chất lượng và độ bền của đá. Có nhiều nghiên cứu phân loại mức độ vỏ phong hóa được xây dựng, cải tiến và được tổng hợp như trình bày trong Hình 1. Các phân loại cơ bản ban đầu của Moye (1955), Deere & Patton (1971) được Martin & Hencher (1986) cải tiến và tiếp tục phát triển thành tiêu chuẩn Anh BS5930:1981 [9-13]. Cục Địa chất công trình Hồng Kông cũng kế thừa và điều chỉnh hệ thống phân loại của Martin & Hencher (1986) để các kỹ sư địa chất công trình áp dụng trong việc nghiên cứu và thiết kế các giải pháp phòng chống tai biến trượt lở tại Hồng Kông [12-16]. Cách phân loại này áp dụng phổ biến cho các khu vực nhiệt đới ở Châu Á và mở rộng ra nhiều nơi trên thế giới [17-20]. Hai cách phân loại BS5930:1981 và Hông Kông đều có những điểm tương đồng về các tính chất đất đá và hiện nay chúng được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu ngành Địa kỹ thuật – Địa chất công trình (Hình 1).



Hình 1. Sự phát triển của phân loại vỏ phong hóa sử dụng trong ngành Địa kỹ thuật [10].



Hình 2. Phân loại vỏ phong hóa áp dụng trong nghiên cứu trượt lở hiện nay trên thế giới [1].

Bảng 1. Bảng tổng hợp một số cách phân loại vỏ phong hóa

Phân loại	Bảng phân loại vỏ phong hóa của Martin và Hencher (1986) và được kiến nghị cải tiếp bởi Borrelli và cs (2012, 2014, 2016); Perri và cs (2012, 2015); Ietto và cs (2018) [19][17].
Đá gốc	Đá không thay đổi so với trạng thái ban đầu.
II – Phong hóa nhẹ (Slightly weathered)	Sự thay đổi màu sắc ban đầu chỉ xuất hiện ở gần mặt gián đoạn; Cấu trúc ban đầu và kiến trúc vi tinh của đá tươi được bảo quản hoàn hảo; độ bền tương đương với đá tươi; tạo ra âm thanh vang khi gõ bằng búa; $N_{Schmidt}$ 40–50.
III – Phong hóa trung bình (Morderately Weathered)	Sự thay đổi màu sắc lan rộng xung quanh khe nứt, nhưng cơ bản có màu của đá tươi; cấu trúc và kiến trúc của đá tươi được bảo quản tốt; độ bền tương đương với đá tươi; tạo ra âm thanh trầm nhẹ khi bị búa đập; những mảnh lớn khó bị vỡ khi đập bằng búa; điểm búa đập có thể tạo ra trầy xước trên bề mặt; Giá trị $N_{Schmidt}$ =25-40.
IV – Phong hóa mạnh (Highly weathered)	Đá thay đổi hoàn toàn về màu sắc, xuất hiện lớp phủ màu vàng, đỏ trên bề mặt gián đoạn; vẫn giữ nguyên cấu trúc và kiến trúc của đá tươi; độ bền giảm đáng kể; tạo âm thanh trầm khi bị búa đập; mảnh lớn dễ bị gãy nếu bị búa đập; mảnh lớn không bị tan trong nước; điểm đập đầu búa địa chất bị lún nhẹ vào trong đá; có thể tạo ra vết vạch bằng mũi dao trên bề mặt đá; $N_{Schmidt}$ =10-25.
V – Phong hóa hoàn toàn (Completely weathered)	Đá thay đổi hoàn toàn về màu sắc, lớp phủ có màu vàng/đỏ; giữ nguyên cấu trúc và kiến trúc vi tinh của đá tươi; tính chất kỹ thuật giống như đất; mảnh lớn có thể bị bẻ bằng tay hoặc vò vụn bằng đầu ngón tay, tan trong nước; điểm đập búa địa chất tạo vết lõm sâu vào đá; dùng đầu dao dễ dàng khắc lên bề mặt đá; thành phần sỏi sạn hoặc đá dăm là phổ biến; $N_{Schmidt}$ =0-15.
VI-Tàn dư và đất (Residual and colluvial soil)	Thay đổi hoàn toàn về màu sắc, đất giàu sắt và thành phần sét; cấu tạo và kiến trúc của đá có thể bị phá hủy hoàn toàn; tính chất kỹ thuật như tính chất như của đất, có tính trương nở - Tan rã trong nước.

Nguồn: (Ietto và cs, 2018) [19].

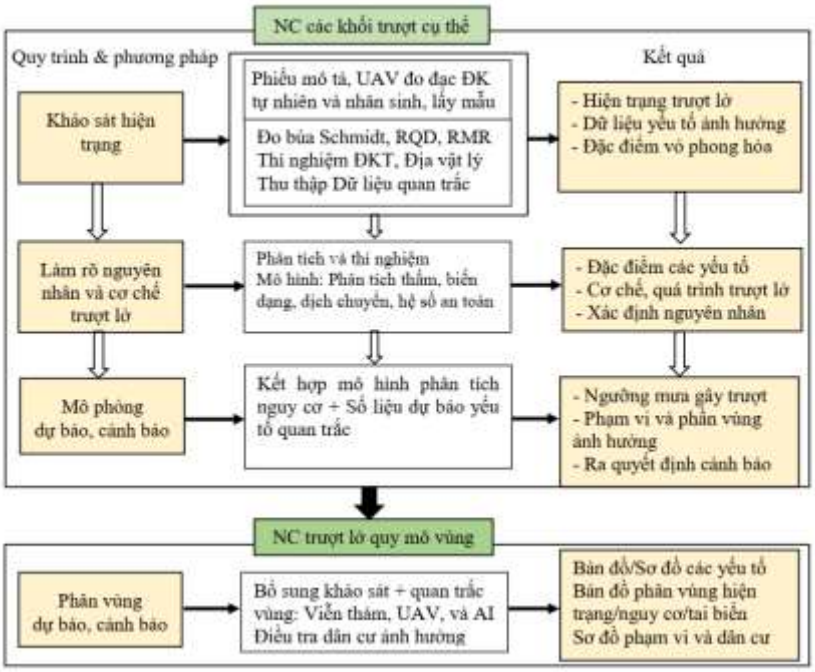
Trong quá trình áp dụng, bảng phân vỏ phong hóa loại tiếp tục được điều chỉnh bổ sung chi tiết hơn để thuận lợi cho việc mô tả và đánh giá. Các thông số chính sử dụng khi phân loại mức độ phong hóa trong ngành Địa kỹ thuật – Địa chất công trình gồm: sự biến đổi về cấu trúc đá gốc, sự biến đổi về màu sắc, tiếng vang khi gõ búa, vết vạch bằng đầu dao hay móng tay trên đá, khả năng vỡ khi đập bằng búa, giá trị của búa Schmidt (Giá trị của búa Schmidt là chỉ số đo độ cứng bề mặt của đá, từ đó ước tính độ bền của đá). Bảng 1 là bảng tổng hợp mô tả quá trình xây dựng và phân loại vỏ phong hóa.

Trong bảng hướng dẫn đánh giá vỏ phong hóa trên tập trung đánh giá định lượng cho đá phong hóa chưa triệt để (Mức I-V), nhưng chưa cụ thể cho loại đất phong hóa (Loại IV). Đây là loại phong hóa thành đất hoàn toàn, và thông thường sử phải sử dụng các phương pháp thí nghiệm địa kỹ thuật để xác định tính chất cơ lý. Các nghiên cứu về tương quan giữa các tính chất địa kỹ thuật với đặc điểm địa hóa và khoáng vật còn hạn chế. Vì vậy nghiên cứu này đề xuất cần xây dựng mối tương quan giữa các đặc điểm về thành phần (thành phần khóa học, khoáng vật) với các tính chất cơ lý của loại đất.

2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cách tiếp cận

Nghiên cứu trượt lở vỏ phong hóa được thực hiện với nhiều quy mô và mức độ khác nhau. Về quy mô có 2 mô hình nghiên cứu là: i) Theo các khối trượt hoặc điểm trượt cụ thể; và ii) Theo quy mô vùng trong giới hạn một lưu vực hoặc một vùng theo ranh giới hành chính, cụm dân cư hoặc theo các tuyến đường giao thông. Đối với quy mô trong một khối trượt cụ thể, vấn đề nghiên cứu có thể thực hiện phân tích khá chi tiết từ mô tả hiện trường đến mô phỏng dự đoán bằng các mô hình vật lý & mô hình số, quan trắc các yếu tố ảnh hưởng để phục vụ việc cảnh báo theo thời gian. Hình 3 khái quát quy trình và phương pháp nghiên cứu trượt lở hiện nay.



Hình 3. Quy trình nghiên cứu trượt lở mái dốc phong hóa.
Ghi chú từ viết tắt: RQD (Rock Quality Designation); RMR (Rock Mass Rating) là các chỉ số đánh giá chất lượng khối đá; UAV (Unmanned Aerial Vehicle) thiết bị bay chụp bằng máy bay không người lái; AI (artificial intelligence) trí tuệ nhân tạo.

Mô hình nghiên cứu trượt lở vỏ phong hóa đề xuất trong nghiên cứu này nhằm khái quát hóa cách tiếp cận và các phương pháp nên sử dụng để đạt hiệu quả. Mô hình được đề xuất trên cơ sở nguyên tắc và cách tiếp cận sau: i) Về đối tượng nghiên cứu là các mái dốc được thành tạo ở các điều kiện phong hóa nhất định; ii) Mức độ phong hóa đang là yếu tố tác động chính đến quá trình trượt lở; và iii) Về phương pháp cần kết hợp các phương pháp truyền thống và hiện đại, việc xây dựng dữ liệu phải kế thừa tận dụng được thành quả của các lĩnh vực và nghiên cứu có liên quan đã thực hiện. Đặc biệt xây dựng mối tương quan đặc điểm vỏ phong hóa (bề dày, mức độ phong hóa, thành phần hóa học, khoáng vật sét) với các tính chất địa kỹ thuật để làm rõ quá trình động lực, cơ chế trượt lở.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu trượt lở vỏ phong hóa gồm các phương pháp địa chất, địa kỹ thuật thực hiện ngoài thực địa và phân tích trong phòng thí nghiệm. Các phương pháp ngoài thực địa bao gồm:

- Phương pháp chụp ảnh máy bay không người lái (UAV, Hình 4) để nhận diện và khoanh định vị trí, đo đạc các thông số địa hình của khối trượt.

- Phương pháp khảo sát sử dụng các dụng cụ như búa, địa bàn, búa Schmidt, dụng cụ đo kích thước, các phiếu khảo sát để mô tả đánh giá điều kiện địa chất, mức độ phong hóa và trạng thái của đất đá, điều kiện thủy văn.

- Phương pháp và quy trình lấy mẫu theo tiêu chuẩn hiện hành phục vụ phân tích thành phần và tính chất cơ lý của đất đá.

Với những khu vực có địa hình phức tạp khó tiếp cận hoặc khối trượt có kích thước lớn thì khoanh định khối trượt thực hiện bằng phương pháp ảnh viễn thám, ảnh google earth kết hợp với ảnh bay chụp bằng phương pháp UAV. Phương pháp bay chụp UAV có khả năng chụp được toàn cảnh khối trượt quy mô lớn, với chiều rộng lên tới 2 km^2, cự ly gần và ảnh độ phân dải lớn. Từ đó có thể xác định được ranh giới địa hình xung quanh và những dấu hiệu biến đổi của bề mặt khối trượt (các vách trượt, biến đổi chiều cao địa hình).

Hình 4. Bộ thiết bị khảo sát, chụp ảnh bằng máy bay không người lái (UAV).

Các phương pháp ảnh kết hợp với khảo sát thực địa bằng phương pháp khảo sát địa chất, địa kỹ thuật đánh giá hiện trạng, mô tả điều kiện địa chất thành phần, cấu trúc các mặt gián đoạn, đặc điểm khe nứt, phân bố tầng đất đá, điều kiện phong hóa, trạng thái đất đá, mối tương quan với dòng chảy, các điểm xuất lộ nước, đặc điểm dân cư và công trình xung quanh. Các phương pháp khảo sát được thực hiện thu thập thông tin qua hình ảnh thực tế, ghi chép sổ nhật ký và các phiếu mô tả, phiếu điều tra. Sử dụng các thiết bị cầm tay ngoài hiện trường: đo tọa độ GPS, dụng cụ đo khoảng cách kích thược; địa bàn & búa địa chất; Búa Schmidt để xác định độ bền của đá (Hình 5).

Thiết bị GPS | Địa bàn địa chất | Thiết bị ngắm đo kích thước | Búa Schmidt

Hình 5. Thiết bị cầm tay khảo sát ngoài hiện trường.

Các phương pháp phân tích trong phòng thí nghiệm gồm: Phương pháp phân tích huỳnh quang tia X (X-ray Fluorescence - XRF) để xác định thành phần hóa học của các nguyên tố chính. Tính chỉ số địa hóa CIA (Chemical Index of Alteration) để đánh giá mức độ phong hóa; Phương pháp nhiễu xạ tia X (X-Ray Diffraction - XRD) là phương pháp phân tích thành phần khoáng vật của đất; Phương pháp phân tích thành phần khoáng vật đá bằng lát mỏng thạch học; Phương pháp xác định các tính chất địa kỹ thuật gồm thành phần hạt, độ ẩm, giới hạn chảy-dẻo, hệ số thấm, sức chống cắt, tính chất đất không bão hòa theo các tiêu chuẩn hiện hành. Để thực hiện phân tích cho khối trượt trong nghiên cứu này, các phương pháp và thí nghiệm được thực hiện tại các phòng thí nghiệm của Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

Để dự báo ổn định của khối trượt theo các điều kiện tác động có thể sử dụng các mô hình phân tích để tính toán hệ số ổn định mái dốc. Trong khuôn khổ bài báo này sẽ không sử dụng các phương pháp và mô hình phân tích mà chỉ tập trung vào các phương pháp trình bày trên để đánh giá điều kiện tự nhiên và yếu tố tác động.

2.3. Nghiên cứu khối trượt tại thị trấn Mù Cang Chải

Thị trấn Mù Cang Chải là điểm dừng chân rất nổi tiếng để du khách đến chiêm ngưỡng những cánh đồng lúa ruộng bậc thang, nơi đã được Bộ Văn hóa - Thể thao và Du lịch công nhận Danh thắng Quốc gia từ năm 2007. Đây cũng là khu vực có địa hình đồi núi hiểm trở tiềm ẩn nguy cơ lớn về các loại tai biến trượt lở lũ quét.

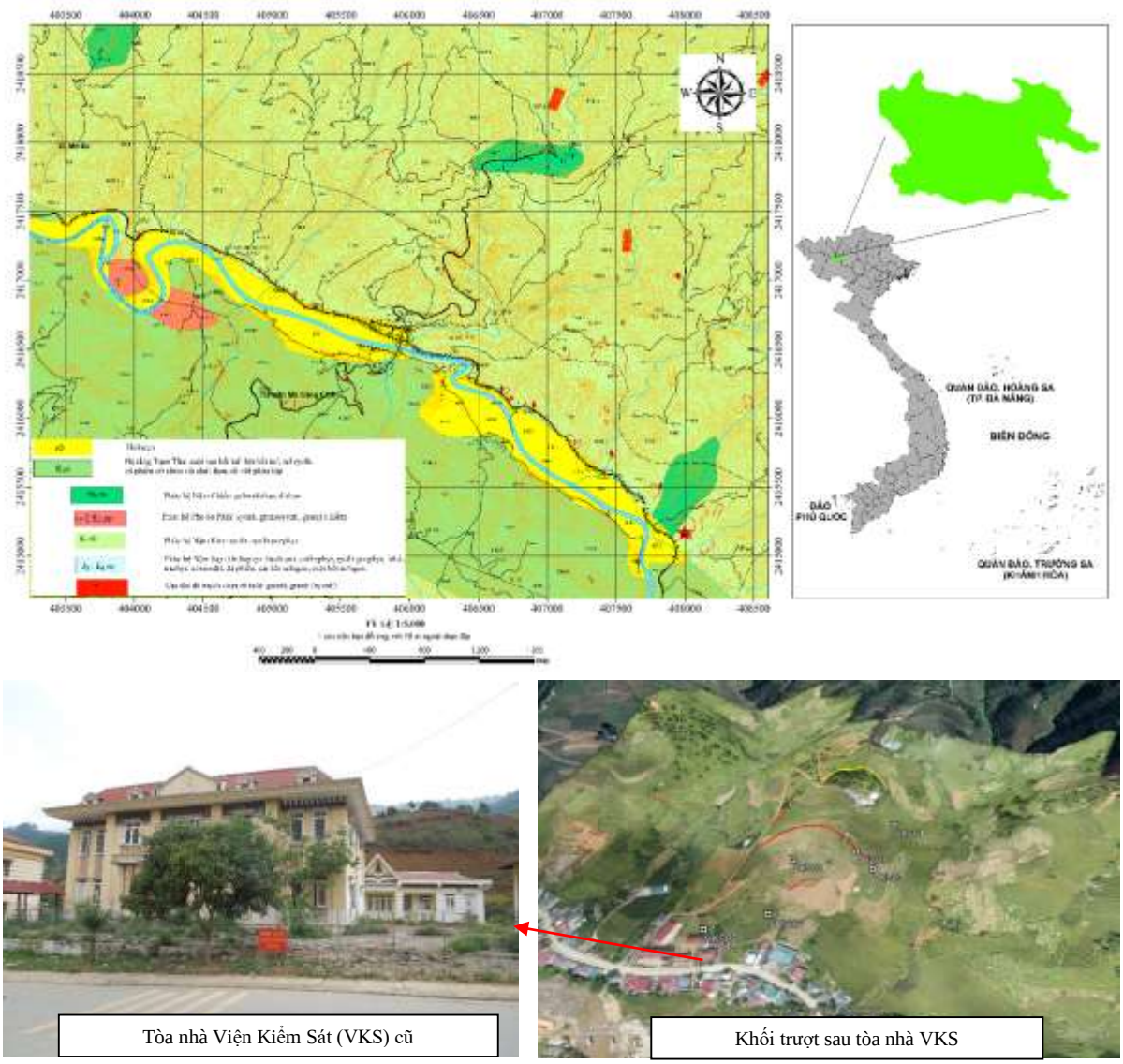
Bảng 2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

Nội dung	Mức độ phong hóa	Một số thông số tham khảo		Kết hợp tổ hợp phương pháp và thông số xác định
		RQD*	SHV**	
Làm rõ điều kiện tự nhiên và xác định đặc điểm thành phần, tính chất đất đá phục vụ xác định nguyên nhân gây trượt lở	I- Đá gốc	50-100	53-62	- Khảo sát địa chất: đo đạc mô tả điều kiện thông số địa chất (thành phần, cấu trúc, đặc điểm khe nứt); - Mô tả đặc điểm phong hóa; - Búa Schmidt; - Xác định RQD, RMR; - Phân tích thành phần và tính chất của đá phong hóa.
	II-Phong hóa nhẹ	50-100	40-53	
	III-Phong hóa trung bình	0-50	30-40	
	IV-Phong hóa mạnh	0-50	20-30	
	V-Phong hóa toàn toàn	-	-	- Khảo sát địa chất, địa hình; - Lấy mẫu; - Xác định thành phần bằng phương pháp XRF, XRD, lát mỏng thạch học; - Xác định tính chất cơ lý đất.
	VI-Tàn tích và đất	-	-	

*Tham khảo (Arıkan và cs, 2007) [20]; **Tham khảo (Ietto và cs, 2018) [19], SHV: thông số búa Schmidt.

Khu vực Mù Cang Chải đã từng trải qua các đợt thiên tai lớn vào năm 2005, 2017 và 2023 gây trượt lở hàng loạt và lũ quét làm thiệt hại lớn đến tài sản và tính mạng của người dân [21, 22]. Nghiên cứu làm rõ nguyên nhân, yếu tố tác động để kịp thời phòng tránh và giảm thiểu tác động góp phần xây dựng mô hình cộng đồng miền núi an toàn, phát triển bền vững.

Nghiên cứu áp dụng cách tiếp cận và các phương pháp nghiên cứu trình bày trên làm rõ nguyên nhân trượt lở khối trượt sau tòa nhà Viện Kiểm Sát cũ, tại tổ 1 thị trấn Mù Cang Chải, tại Km300H4 QL32 (Hình 6). Khối trượt nằm trên khu vực nguồn gốc thành tạo địa chất thuộc phức hệ Nậm Kim và ranh giới với phức hệ Nậm Chiến [23]. Quy trình và phương pháp nghiên cứu áp dụng cho khu vực này thực hiện theo cách tiếp cận và phương pháp đã trình bày trong mục 2.1 và 2.2. Trong đó, điều kiện địa chất và mức độ phong hóa được tham khảo theo hướng dẫn về thông số chất lượng khối đá (RQD) và giá trị búa Schmidt (SHV) theo Bảng 2.



Hình 6. Sơ đồ khu vực nghiên cứu.

3. Đặc điểm và nguyên nhân gây mất ổn định mái dốc nghiên cứu

3.1. Hiện trạng

Khối trượt nằm sau tòa nhà Viện Kiểm sát cũ, huyện Mù Cang Chải. Tòa nhà được xây dựng năm 2017 nhưng sau đó xuất hiệu các vết nứt và một số phần bị sụt lún, công trình đã nghiêng nứt. Hiện tượng sụt kéo dài sang một phần công trình lân cận là khu vệ sinh của Trung tâm Dạy nghề và Giáo dục thường xuyên. Khối trượt có chiều rộng khoảng 250 m, chiều cao 110 m, chiều dài từ đỉnh đến chân khối trượt 400 m. Sườn dốc có độ cao từ 960 m đến 1100 m.

Đường thoát nước Vách sụt Điểm lấy mẫu

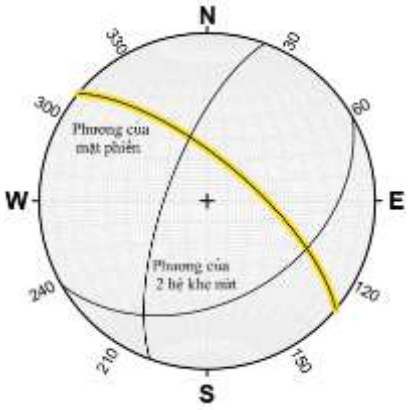
Hình 7. Hình ảnh về mặt khối trượt (ảnh chụp và ảnh UAV).

Hình 7 thể hiện bề mặt khối trượt, trên đó bắt gặp khe nứt tại vách cách trái và giữa khối trượt. Chiều cao vách trượt chính 10 m, vách trượt phụ 3,2 m. Trên bề mặt có 2 rãnh thoát nước, thu nước từ trên đỉnh, theo rãnh thoát chảy xuống và tập trung vào cống ngay sau tòa nhà Viện Kiểm sát cũ. Toàn bộ taluy trong khu vực trước khi là ruộng bậc thang nhưng đã nhiều lần bị sụt làm bề mặt khối trượt gồ ghề, các vách ruộng bị dập vỡ thoát nước không thể tiếp tục canh tác nhiều năm nay.

3.2. Điều kiện địa chất và vỏ phong hóa khối trượt

Trên cơ sở kế thừa tài liệu cho thấy khu vực nghiên cứu thuộc vùng trũng Tú Lệ (sử dụng theo cách phân chia và tên gọi của Gatinxki và nnk, 1970), là vùng kéo dài ừ Bình Lư qua Than Uyên đến Nghĩa Lộ - Phù Yên, rộng 40 - 60 km, có diện tích hơn 5.000 km^2 thuộc các tỉnh Lào Cai, Yên Bái, Sơn La và một phần nhỏ thuộc tỉnh Lai Châu. Trũng Tú Lệ là một cấu trúc độc lập thành tạo trong Mezozoi. Phần thấp của bồn trũng này được lấp đầy bởi trầm tích màu đỏ Jura - Kreta, trên cùng là các thành tạo tương phản có thành phần ryolit, basalt và trachyt, trong đó chiếm ưu thế là các đá núi lửa thành phần trung tính - axit á kiềm - trachydasit - trachyryolit và kiềm - comendit, ryolit chứa khoáng vật màu kiềm; các đá núi lửa mafic - trachybasalt và á núi lửa - gabrodolerit chiếm một lượng không đáng kể [23]. Các đá núi lửa mafic á kiềm chủ yếu phân bố ở ven rìa trũng Tú Lệ và có thành phần tương đối đồng nhất: chủ yếu là trachybasalt, trachyandesit. Các đợt magma phun trào phân chia theo từng đợt, và được gọi theo các tên gọi các loại phức hệ địa chất. Theo tờ bản đồ đo vẽ địa chất tỷ lệ 1.200.000, khu vực này được xếp vào Phức hệ Tú Lệ- Ngòi Thia, phụ phức hệ Ngòi Thia; nhưng theo bản đồ tỷ lệ 1/50.000 tiếp tục phân chia và được xếp vào phức hệ Nậm Kim.

a. Đá chân khối trượt



b. Mặt gián đoạn trong đá

Hình 8. (a) Ảnh chụp bề mặt đá tại chân khối trượt và (b) Hướng nằm của mặt phân phiến và 02 hệ khe nứt.

Qua thực tế khảo sát cho thấy trên bề mặt khối trượt bao phủ một phần là sườn tích và phần lớn là đất phong hóa tại chỗ. Hai bên cánh và chân khối trượt có thể tìm thấy đá gốc là đá phun trào ryolit hạt nhỏ. Đá bị ép phiến mỏng, dập vỡ và bị phong hóa mạnh (Hình 8). Trên nền đá gốc thể hiện thế nằm mặt phiến phương Tây Bắc - Đông Nam, dốc về phía bắc. Có 2 hệ khe nứt chính là phương gần Bắc – Nam đổ về phía tây và hướng Đông Bắc – Tây Nam đổ về hướng Nam. Trong khi đó hướng của toàn bộ mái dốc cơ bản theo hướng Đông Bắc – Tây Nam, đổ về

hướng Nam. Với cấu tạo phân phiến mỏng và 2 hệ khe nứt dẫn đến cấu trúc đá ở đây bị dập vỡ và phong hóa từ mức độ trung bình (mức III) đến phong hóa mạnh (mức IV), đôi chỗ phong hóa gần như hoàn toàn, đá dễ bóp vụn bằng tay. Giá trị búa Schmitdt khi bật vuông góc với mặt đá phiến có giá trị khá thấp và dao động mạnh 13-21 (thấp hơn mức IV tham khảo Bảng 2). Tại chân khối trượt đá phiến còn giữ nguyên cấu trúc, đá cứng chỉ có thể đập vỡ bằng búa nhưng dễ bị vỡ thành mảnh vụn theo mặt phiến và hệ khe nứt. Màu sắc của đá bị biến đổi nhẹ mà xám xanh xen lẫn vàng nhẹ. Tại đây, đá có thể phân loại mức độ phong hóa loại III – IV, mức độ phong hóa từ trung bình - mạnh. Tại các vị trí cách phía trên thân khối trượt phong hóa gần như hoàn toàn, còn nguyên cấu trúc nhưng màu sách chuyển hoàn toàn sang nâu vàng, dễ bóp vụn.

Như vậy, khối trượt phát triển trên trên nền đá gốc có 1 hệ khe nứt trùng với hướng của mái dốc. Đá có cấu trúc uốn nếp nhẹ, dạng phân phiến, ép phiến mỏng, phong hóa từ trung bình đến mạnh. Bao phủ bề mặt phía trên là đất phong hóa triệt để bề dày lớn (vách trượt 3-10 m). Đây cũng có thể là các yếu tố với thúc đẩy quá trình trượt lở, trượt trên ranh giới đất – đá phong hóa hoặc trượt cục bộ trên tầng đất phong hóa để tại cách vách trên bề mặt khối trượt.

Bảng 3 thể hiện kết quả phân tích thành phần hóa học của cả đá xung quanh khối trượt và đất phong hóa lấy ở các vị trí vách sụt trên thân khối trượt (Hình 7). Kết quả cho thấy chuyển tiếp từ đá gốc đến các loại đất đều thấy hàm lượng SiO_2 và nhóm kiềm (K-Na-Mg) giảm, các oxyt kim loại đặc biệt là nhôm và sắt tăng từ đá sang đất, hệ số CIA tăng. Trong đó Chỉ số CIA theo phân loại theo Nesbitt và Young (1982) [24]: các mức CIA<50 có trong đá tươi, CIA=50÷65 phong hóa nhẹ; CIA=65÷85 phong hóa trung bình; CIA=85÷100 phong hóa mạnh.

Bảng 3. Thành phần hóa học và chỉ số mức độ phong hóa của đất đá khối trượt

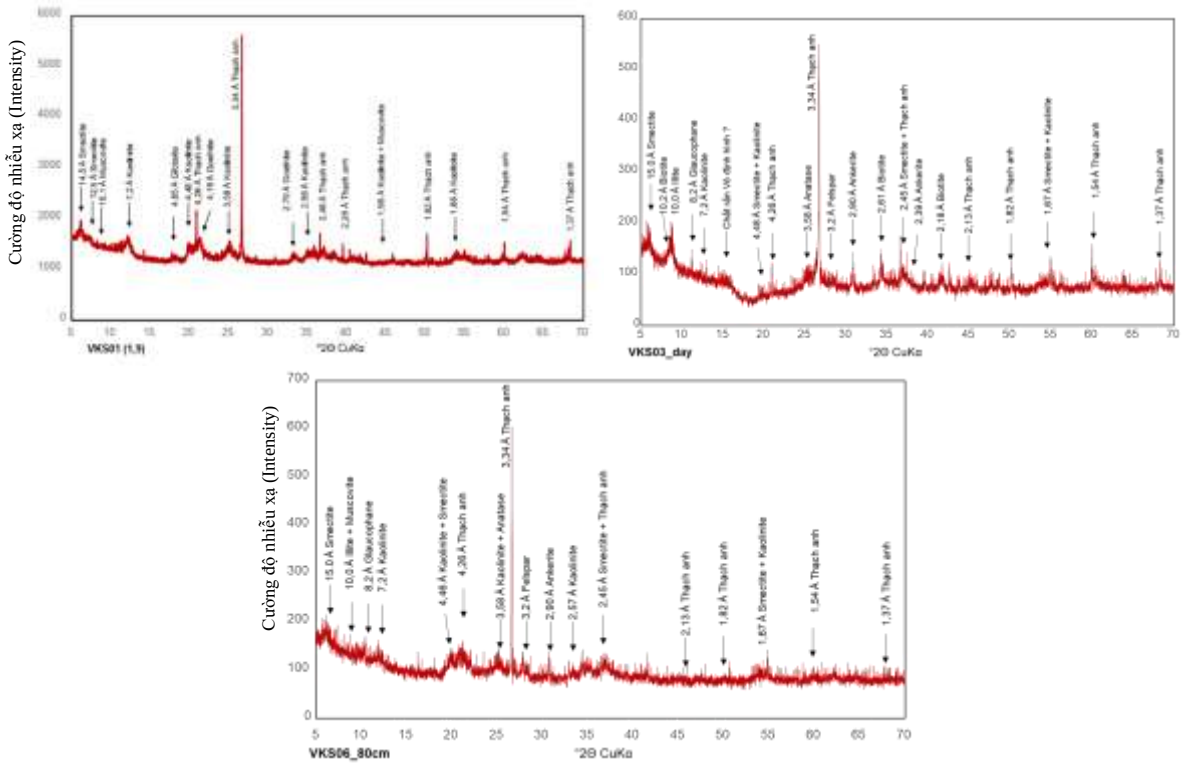
Mẫu	LOI	SiO_2	Al_2O_3	FeOt	TiO_2	K_2O	MgO	MnO	CaO	Na_2O	CIA
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
VKS01	5,4	52,6	25,4	7,9	1,8	2,7	1,8	0,2	0,7	0,1	88,1
VKS02	3,7	54,6	25,9	7,5	1,6	3,1	1,7	0,2	0,2	0,1	88,5
VKS03-01	2,5	51,9	27,0	13,7	2,3	1,0	1,1	0,1	0,3	0,0	95,2
VKS03-02	2,5	52,5	18,2	11,9	3,5	4,6	3,7	0,2	2,8	0,0	71,2
VKS06	4,7	46,7	26,2	10,7	1,9	1,1	4,1	0,1	3,1	0,4	84,9
VKS-PH-01	1,3	72,9	15,4	1,1	0,2	8,7	0,3	0,0	0,1	0,1	63,5
VKS-ĐG1-01	1,9	72,6	13,6	1,5	0,1	7,9	0,3	0,0	0,0	2,0	58,0

(Trên đây là giá trị trung bình 3 mẫu tại mỗi vị trí).

Bảng 4 và Hình 9 thể hiện thành phần khoáng vật của đất của một số vị trí khối trượt. Thành phần khoáng vật cơ bản trong đất có Kaonite, Smectite, Illinite, Thạch anh và Muscovite chiếm ưu thế, các khoáng vật khác (Goethite, Gibbsite, Ankerite, Felspar, Glaucophane, Anatase) chỉ chiếm khoảng 3-8%. Trong các thành phần khoáng vật thì nhóm khoáng vật sét (gồm Smectite, Kaolinite và Illite) chiếm chỉ lệ từ 34 đến 53 % tổng số khoáng vật. Thành phần khoáng vật sét, đặc biệt là Smectite có đặc trưng trương nở và co ngót, và tan rã của đất. Đây là những quá trình làm thay đổi động lực của khối trượt khi có sự thay đổi các điều kiện thời tiết, chế độ bão hòa. (Ảnh hưởng của các thành phần hóa học và khoáng vật sẽ được thảo luận trong phần tương quan với các tính chất địa kỹ thuật dưới).

Bảng 4. Thành phần khoáng vật

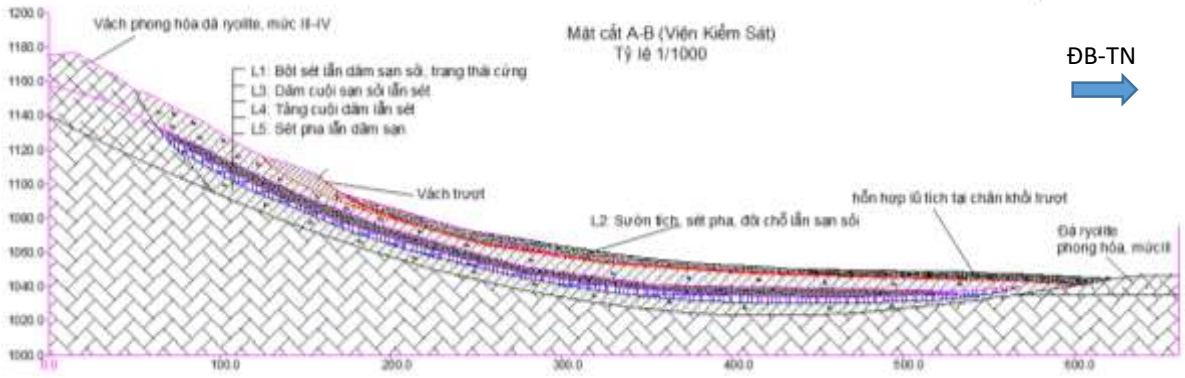
Khoáng vật	VKS01	VKS02	VKS03-01	VKS06
Kaolinite	35	27	5	25
Smectite	33	16	20	25
Illite	0	3	9	3
Biotite	0		18	2
Muscovite	3	6		
Thạch anh	12	34	15	7
Felspar	0		9	12
Glaucophane	0		3	5
Ankerite	0		5	4
Goethite	12	6		7
Gibbsite	0			
Anatase	2	2	6	2
Khác	2	6	8	8
Tổng khoáng vật sét	68	46	34	53



Hình 9. Một số biểu đồ kết quả phân tích thành phần khoáng vật.

3.3. Một số đặc điểm tính chất địa kỹ thuật

Trên cơ sở tổng hợp công tác khảo sát lấy mẫu đất đá, thu thập tài liệu hố khoan của công trình Viện Kiểm sát, đo địa vật lý, và phân loại mức độ phong hóa đã xây dựng mặt cắt địa kỹ thuật thể hiện trên Hình 10, 11.

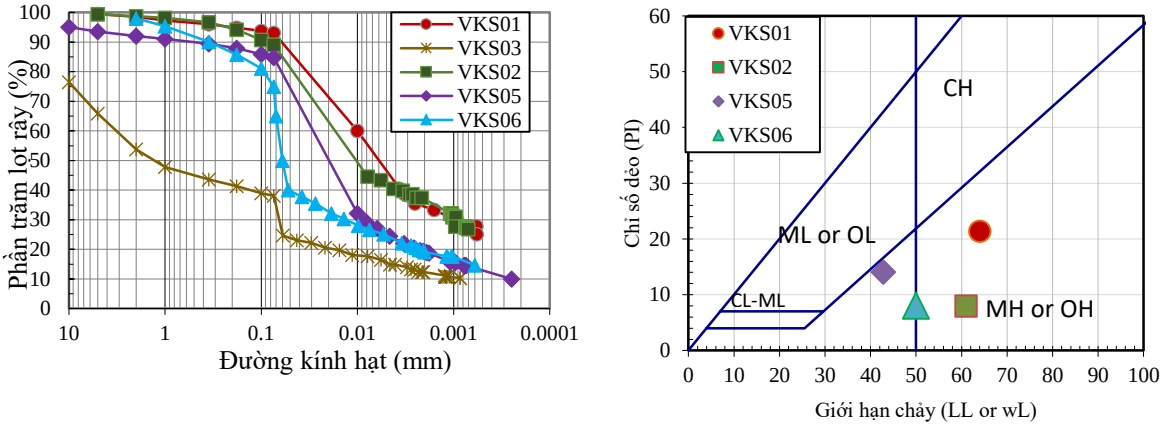


Hình 10. Mặt cắt hướng A-B từ đỉnh đến chân khối trượt (hướng Đông Bắc – Tây Nam).

Thứ tự lớp	Độ sâu (m)	Bề dày lớp (m)	Địa tầng	Mô tả đất đá (theo địa chất công trình)	Thí nghiệm SPT (búa)			
					N1	N2	N3	N30
	0,3	0,3		Đất canh tác: Sét pha lẫn rễ cây, …				
2	2, 1	1,8		Bột sét pha lẫn dăm sạn, xám gụ	3	5	10	15
3	5,5	3,4		Dăm cuội lẫn sét: xám gụ, nâu gụ, xám khi; kết cấu chặt vừa Tầng dăm cuội lẫn sét, xám gụ, xsam nâu; kết cấu chặt vừa	6	10	10	20
	7,2	1,7		Tầng dăm cuội lẫn sét, xám ghi, xám trắng, xám gụ; kết cấu rất chặt	10	29	29	58
4		5,6		Dăm cuội lẫn sét, xám gụ, nâu gụ, xám ghi, chặt vừa	7	10	15	25
	12,8	(TL: 1/2)		Tầng dăm cuội lẫn sét, xám ghi, xám trắng, xám gụ; rất chặt	12 15	24 18	35 40	59 58
5	20,0	7,2 (TL: 1/2)		Sét – sét pha lẫn dăm sạn, xám gụ, gụ vàng; nửa cứng – cứng	6 6 12 31	7 8 20 10	9 10 31 50	16 18 54 >50
	23	3,0 (1/2)		Đá ryolit, xám ghi, xám gụ				>50

Hình 11. Phân bố các lớp đất theo hình trụ hố khoan công trình Viện Kiểm sát cũ
(Nguồn tài liệu thu thập hồ sơ của công trình lưu tại UBND xã).

Các lớp đất đá khu vực khối trượt phân bố như thể hiện trên Hình 10, 11, cụ thể gồm các lớp như sau: Lớp 1- Bột sét pha, trạng thái cứng, đôi chỗ lẫn dăm sạn bắt gặp trên vách trượt tại vị trí VKS01; vách có chiều cao 3-3,5 m. Lớp này tiếp tục gặp ở hố khoan với bề dày khoảng 2 m; Lớp 2 phân bố từ chân vách trượt xuống dưới chân khối trượt. Lớp này hỗn hợp của lớp sườn tích – tàn tích. Ngay chân vách trượt, tại VKS02 là có thành thần tương tự lớp 1 trên vách VKS01, càng xuống phía cuối chân tại VKS05 và VKS06 là sản phẩm của khối trượt đã bị dịch chuyển và tích tụ lại. Lớp này có thành phần hạt thô hơn chứa dăm sạn, có tính dẻo kém hơn; Tại chân khối trượt gần vị trí VKS05 có đất bột sét chứa cuội sạn sỏi là sản phẩm sườn tích lũ tích đã được vận chuyển và tích tụ tại đây. Theo thiết đồ lỗ khoan (Hình 11) dưới phần đất canh tác là lớp bột sét pha lẫn dăm sạn tương ứng với Lớp 1 trên vách trượt. Tiếp theo là Lớp (3) gồm dăm cuội lẫn sét xám gụ, nâu gụ, xám khi; kết cấu chặt vừa, dày 3,4 m có giá trị SPT băng 20, tương tự thành phần hạt của VSK03; Lớp (4) Tảng dăm cuội lẫn sét, xám ghi, xám trắng, xám gụ; kết cấu rất chặt, dày khoảng 7,3 m, giá trị SPT khoảng 58-59. Giữa lớp này có đới đá dăm cuội, có giá trị SPT giảm thấp chỉ khoảng 25 (đánh dấu khung đỏ trên Hình 11) ở độ sâu 7,2 m. Tại độ sâu này có nguy cơ phát sinh mặt trượt; Lớp 5 là Sét – sét pha lẫn dăm sạn, xám gụ, gụ vàng, nửa cứng – cứng, dày 7,2 m và tiếp đến gặp đá gốc phân bố độ sâu dưới 23 m từ bề mặt công trình Viện Kiểm Sát.

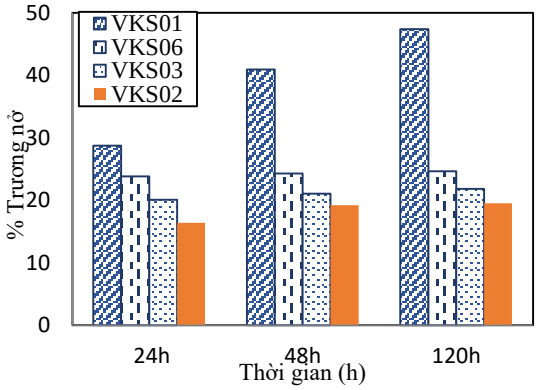


Hình 12. Đường cong độ hạt và phân loại mẫu đất của khối trượt.

Hình 12 và Bảng 5 thể hiện tính chất địa kỹ thuật các lớp đất đá. Dựa vào các tính chất cơ lý, đất khu vực khối trượt có đặc điểm như sau: Đất trên vách trượt (L1, tại VKS01) và đất tại bề mặt khối trượt tại VKS02 xếp vào loại đất hạt mịn MH, đất bột pha sét, tính dẻo cao. Tại VKS05 và VKS06 là sườn tích – tàn tích, đất thuộc loại bột sét ML, tính dẻo thấp, đất đều có trạng thái cứng. Tại VSK03 bắt gặp đất sạn sỏi lẫn mảnh đá, phân loại theo đất hạt thô sạn sỏi. Sức chống cắt của các mẫu có lực dính từ 15,6 kPa đến 28,7 kPa, góc ma sát trong từ 25 đến 30,42 độ. Hệ số thấm khá cao từ 2,68E-05 đến 4,33E-03 cm/s. Hệ số thấm cao tại lớp đáy của VKS03, ứng với độ sâu có với chỉ số phong hóa CIA thấp = 71 (Bảng 3). Trong điều kiện có mưa và dòng chảy thấm xuống sẽ tăng tốc thấm ở độ sâu của đáy VKS03, có nguy cơ gây chuyển hướng dòng thấm và gây biến dạng thấm ở độ sâu này.

Hình 13 là hình thể hiện đặc điểm tính chất trương nở một số mẫu đất. Trong đó đất tại VKS01 có độ trương nở cao nhất và tiếp tục tăng khi tăng thời gian ngâm trong nước. Mức độ trương nở giảm xuống ở các mẫu VSK03, VKS06 và cuối cùng là VKS 02. Các mẫu này đều là đất phong hóa hoàn toàn với chỉ số CIA

cao (>85%) (kết quả ở Bảng 3) nhưng mức độ trương nở và các tính chất khác nhau, có thể do hàm lượng khoáng vật sét quyết định. Hàm lượng khoáng sét, đặc biệt là khoáng vật Smectite trong VKS01 cao nhất, tiếp đến là VKS06, VKS03 và cuối cùng là VKS02. Như vậy độ trương nở đất ở đây có mối tương quan chặt chẽ với hàm lượng khoáng vật sét. Đất có độ trương nở cao là những loại đất nhạy cảm với điều kiện thay đổi của nhiệt độ thời tiết, do đó ảnh hưởng đến quá trình hấp thụ nước, tích trữ nước tăng tải trọng lên mái dốc trong mùa mưa. Còn vào mùa khô đất bị mất nước giảm thể tích bị co ngót và phát triển hệ khe nứt. Các nghiên cứu của (Lu, 2019; Zhan và cs, 2019) [25] cũng cho thấy sự ảnh hưởng tương tự của các loại khoáng vật sét đến các tính chất cơ lý của đất. Trong đất sét trương nở, sự hấp phụ và thoát nước xảy ra trên các tấm xen kẽ nơi tập trung của các cation có thể trao đổi, các phân tử nước chịu thêm lực cản mạnh của lực van der Waals giữa các tấm trong quá trình hấp phụ. Do đó với đất có chứa khoáng vật sét trương nở cao trữ nước lớn và thoát nước chậm, làm tăng tải trọng công trình trong mùa mưa. Ngoài ra, khu vực này có sự đan xen giữa các lớp đất có các đặc điểm khác nhau dẫn đến các quá trình tương tác giữa môi trường đất và nước sẽ trở nên lên phức tạp hơn, gây lên sự dịch chuyển bất đồng nhất của bề mặt khối trượt.



Hình 13. Mức độ trương nở đất phong hóa mái dốc.

Bảng 5. Một số tính chất cơ bản các lớp đất trong thân khối trượt

Các tính chất cơ lý của đất đá		Vị trí mẫu thí nghiệm				
		VKS01	VKS02	VKS05	VKS06	VKS03
Lớp đất		L1	L2	L2	L2	L3
Độ hạt (%)	Sạn sỏi: > 2 mm	1,47	1,3	3,49	2,03	46,28
	Cát: 2–0.075 mm	6,7	9,56	8,25	18,88	15,68
	Bột: 0.075–0.002 mm	33,92	51,65	68,01	54,92	31,6
	Sét < 0.002 mm	57,92	37,49	20,26	24,17	6,44
	Cu	-	-	-	-	1300
	Cc	-	-	-	-	1,3
Độ ẩm tự nhiên (%)		17,53	37,67	36,14	42,52	18,37
Khối lượng thể tích		1,75	1,94	1,65	1,86	1,67
Khối lượng riêng		2,67	2,69	2,70	2,69	2,71
Giới hạn chảy (%)		63,95	61,01	42,83	49,97	
Giới hạn dẻo (%)		42,52	53,03	28,76	41,93	
Hệ số dẻo (PI)		21,43	7,98	14,07	8,04	
Độ sệt (B)		-1,17	-1,92	0,52	0,07	
Tên gọi đất		MH	MH	ML	ML	S(G)
Sức chống cắt	Lực dính (kPa)	25,00	27,00	32,70	33,70	30,42
	Góc ma sát (độ)	22,56	18,26	28,70	17,74	15,60
Hệ số thấm (cm/s)		2,43E-04	5,30E-05	2,68E-05	1,33E-04	4,33E-03

Như vậy căn cứ kết hợp việc thu thập tài liệu, khảo sát lấy mẫu và phân tích trong phòng đã lập được mặt cắt Địa kỹ thuật đại diện và đánh giá một số tính chất cơ lý đất và thành phần khoáng vật của chúng. Sơ bộ từ các kết quả này cho thấy đất bề mặt chứa hàm lượng sét nhất định, đều bị

trương nở khi bão hòa, làm giảm đồ bền của đất. Trên bề mặt khối trượt lộ ra vách trượt, và các vết nứt bề mặt, thúc đất quá trình tương tác thấm – dịch chuyển. Về cấu trúc khối trượt có nguy cơ phát sinh mặt trượt tại độ sâu đất phong hóa trung bình (theo chỉ số CIA) và các đới dập vỡ (theo hình trụ hố khoan và thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn). Đây là những đới xung yếu và khối trượt sẽ có nguy cơ trượt theo bề mặt có độ sâu này.

Ngoài ra, còn quan sát thấy hướng dòng chảy thoát nước của khối trượt có xu hướng dồn về sau toàn nhà Viện Kiểm sát (Hình 7). Áp lực dòng chảy mặt góp phần kéo theo toàn bộ khối trượt hướng về phía công trình tòa nhà Viện Kiểm sát, Trung tâm dạy nghề và các công trình dân sinh lân cận dọc QL32.

4. Kết luận

Trượt lở vỏ phong hóa là một dạng trượt lở điển hình ở miền núi Việt Nam. Ảnh hưởng của quá vỏ phong hóa đến trượt lở là một trong yếu tố quan trọng trong nghiên cứu đánh giá nguy cơ trượt lở. Áp dụng cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu vỏ phong hóa cho khối trượt Viện Kiểm sát thị trấn Mù Cang Chải đã thực hiện ở hai quá trình: i) Sử dụng bảng phân loại vỏ phong hóa đánh giá cho đá; và ii) Xây dựng mối tương quan giữa thành phần khoáng vật, hóa học và chỉ số phong hóa đối với loại đất phong hóa. Kết quả cho thấy đã dựa vào quy trình đó có thể làm rõ hơn đặc điểm mức độ biến đổi đá gốc về màu sắc, độ bền, nguy cơ bị phá hủy. Đồng thời kết hợp việc kết hợp các tính chất địa kỹ thuật của đất với thành phần khoáng vật, hóa học có thể lý giải ảnh hưởng của chúng đến các quá trình biến đổi tính chất, biến dạng thấm và mất ổn định mái dốc.

Một số nguyên nhân gây ảnh hưởng khối trượt sau công trình Viện Kiểm sát, thị trấn Mù Cang Chải có thể do: i) Do đất đá phong hóa không đồng nhất, từ trung bình đến mạnh và triệt để. Đá gốc phân phiến mỏng có hệ khe nứt trùng với hướng dịch chuyển của khối trượt; ii) Đất đá bề mặt khối có chứa hàm lượng sét cao bị trương nở khi bão hòa; và iii) Một số lớp đất đá tồn tại đới phong hóa dở dang (chỉ số CIA=60-85) hệ số thấm cao, và đới dập vỡ có giá trị xuyên tiêu chuẩn thấp là nơi có nguy cơ phát sinh mặt trượt.

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] S. R. Hencher, S. G. Lee, Landslide Mechanisms in Hong Kong, Geological Society Engineering Geology Special Publication, Vol. 23, 2010, pp. 77-103, https://doi.org/10.1144/EGSP23.6.

[2] M. T. Nhuan, N. N. Truong, D. T. Thuan, On the Classification Coefficient of Weathering Crusts of Non-Quartz-Bearing Rocks, Journal of Science, Iss. 4, 1985, pp. 19-25 (in Vietnamese).

[3] P. V. An, Final Report on the Research Project Tropical Humid Weathering Crusts in Vietnam and the Assessment of Related Mineral Potential, under the KT-01 Program, Project Code KT-01-06, Ministry of Science and Technology, Hanoi, 1985 (in Vietnamese).

[4] N. V. Pho, Tropical Humid Weathering in Vietnam, Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi, 2013 (in Vietnamese).

[5] N. T. Yem, Research on the Assessment of Landslides and Debris Flows in High-Risk Areas of the Northern Mountainous Region of Vietnam, and Recommendations for Prevention and Damage Mitigation, Project Research on Developing Zoning Maps for Natural Environmental Hazards in Vietnam's Territory, under the KC-08 Program, Ministry of Science and Technology, Hanoi, 2006 (in Vietnamese).

[6] N T. T. Nhan, H. V. Hanh, D. Q. Thien, H. N. T. Do, N. Q. Tuan, Assessment of Slope Stability of Deluvial Debris Soil and Rock in the Hilly Areas of Thua Thien Hue Province, Journal of Science and Technology, University of Sciences, Hue University, Hue, Vol. 15, No. 2, 2020, pp. 181-193 (in Vietnamese).

[7] N. V. Ky, V. V. Vinh, V. N. Tien, The Relationship between Weathering Intensity and Geomorphological, Geological Factors and Landslide Phenomena in the Buon Tung Area, Dak

Nong Province, Journal of Science and Technology Development, Vol. 10, No. 2, 2007 (in Vietnamese).

[8] L. Q. Hung, Report on the Investigation, Assessment, and Zoning of Landslide Hazard Warnings in the Mountainous Regions of Vietnam. Phase I Product of the Project Investigation, Assessment, and Zoning of Landslide Hazards in the Mountainous Regions of Vietnam, Conducted by the Institute of Geosciences and Mineral Resources, Hanoi, 2015, http://canhbaotruotlo.vn/hientrangcactinh.html (accessed on: April 1st, 2024).

[9] P. T. Binh, B. T. Dieu, I. Prakash, Landslide Susceptibility Modelling Using Different Advanced Decision Trees Methods, Civil Engineering and Environmental Systems, Vol. 35, No. 1-4, 2018, pp. 139-157, https://doi.org/10.1080/10286608.2019.1568418

[10] D. Norbury, S. R. Hencher, J. Cripps, A. Lumsden, Description and Classification of Weathered Rocks for Engineering Purposes: Geological Society Engineering Group Working Party Report, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Vol. 28, 1995, pp. 207-242, http://qjegh.geoscienceworld.org/cgi/content/abstract/28/3/267 (accessed on: April 1st, 2024).

[11] D. G. Move, Engineering Geology for the Snowy Mountain Scheme, Journal of Institution of Engineers, Australia, Vol. 27, 1955, pp. 287-298, https://doi.org/10.5575/geosoc.98.155.

[12] R. P. Martin and S. R. Hencher, Principles for Description and Classification of Weathered Rocks for Engineering Purposes, ln: HAWKINS, A. B. (ed.) Site Investigation Practice: Assessing BS5930, Geological Society, London, Engineering Geology Special Publication, Vol. 2, 1986, pp. 299-308, https://doi.org/10.1144/GSL.1986.002.01.53.

[13] Anonymous, The Description and Classification of Weathered Rocks for Engineering Purposes, Geological Society Engineering Group Working Party Report, Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 28, 1995, pp. 207-242, https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1995.028.P3.05.

[14] GCO, Guide Rock and Soil descriptions (Geoguide 3), Geotechnical Control Office, Hong Kong, 1988.

[15] GEO, Report No. 138 Guidelines for Natural Terrain Hazard Studies, Geotechnical Control Office, Hong Kong, 2016.

[16] GEO, Geoguide 2 - Guide to Site Investigation, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Hong Kong, 2017.

[17] L. Borrelli, F. Perri, S. Critelli, G. Gullà, Minero-Petrographical Features of Weathering Profiles in Calabria, Southern Italy, Catena, Vol. 92, 2012, pp. 196-207, https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.01.003.

[18] L. Borrelli, S. Coniglio, S. Critelli, A. La Barbera, G. Gullà, Weathering Grade in Granitoid Rocks: the San Giovanni in Fiore area (Calabria, Italy), J Maps, Vol. 12, No. 2, 2016, pp. 260-275.

[19] F. Ietto, F. Perri, F. Cella, Weathering Characterization for Landslides Modeling in Granitoid Rock Masses of the Capo Vaticano promontory (Calabria, Italy), Landslides, Vol. 15, No. 1, 2018, pp. 43-62, https://doi.org/10.1007/s10346-017-0860-5.

[20] F. Arıkan, R. Ulusay, N. Aydın, Characterization of Weathered Acidic Volcanic Rocks and a Weathering Classification Based on a Rating System, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 66, No.4, 2007, pp. 415-430, https://doi.org/10.1007/s10064-007-0087-0

[21] H. M. Tuyen, L. H. Dung, L. T. Nghia, Flash Flood Events in Mu Cang Chai and Muong La on August 2017 – Cause and Prevention Meaures, Journal of Climate Chang Science, No. 3, 2017, pp. 61-67.

[22] D. T. Toan, O. Soulinthone, N. T. Thanh, N. V. Ha, D. Q. Khang, B. V. Dong, D. M. Duc, Inventory of Landslides Triggered by Extreme Rainfall in August 2023 along the National Road No. 32, Mu Cang Chai district, Yen Bai province. Proceedings of the Sixth International Scientific Conference: Earth and Environmental Science Mining for Digital Transformation, Green Development and Response to Global Change, Science and Technics Publishing House, ISBN:978-804-87-2826-9, 2023, pp 227-239.

[23] 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,

[24] H.W. Nesbitt, G.M. Young, Early Proterozoic Climates and Plate Motions Inferred from Major Element Chemistry of Lutites, Nature, Vol. 299, 1982, pp. 715-717.

[25] N. Lu, Linking Soil Water Adsorption to Geotechnical Engineering Properties, In Springer Series in Geomechanics and Geoengineering (Issue June), Springer International Publishing, 2019, https://doi.org/10.1007/978-3-030-06249-1_4

[26] J. Zhan, Q. Wang, W. Zhang, Y. Shangguan, S. Song, J. Chen, Soil-Engineering Properties and Failure Mechanisms of Shallow Landslides in Soft-Rock Materials, Catena, Vol. 181, 2019, https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104093.