

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



ĐÀO MINH ĐỨC

**NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM HÌNH THÀNH VÀ
PHÁT TRIỂN MỘT SỐ KHỐI TRƯỢT LỚN Ở KHU VỰC
MIỀN NÚI PHÍA BẮC (LẤY VÍ DỤ TẠI
HUYỆN XÍN MÀN, TỈNH HÀ GIANG)**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA CHẤT

Hà Nội - 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

ĐÀO MINH ĐỨC

NGHIÊN CỨU ĐẶC ĐIỂM HÌNH THÀNH VÀ
PHÁT TRIỂN MỘT SỐ KHỐI TRƯỢT LỚN Ở KHU VỰC
MIỀN NÚI PHÍA BẮC (LẤY VÍ DỤ TẠI
HUYỆN XÍN MÀN, TỈNH HÀ GIANG)

Chuyên ngành: Địa chất học

Mã số: 9 44 02 01

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐỊA CHẤT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

GS. TS. Đỗ Minh Đức

PGS. TSKH. Vũ Cao Minh

Hà Nội - 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học độc lập của riêng tôi. Các số liệu sử dụng phân tích trong luận án có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn theo đúng quy định. Các kết quả nghiên cứu trong luận án do tôi tự tìm hiểu, phân tích một cách trung thực, khách quan và phù hợp với thực tiễn của khu vực nghiên cứu. Các kết quả này chưa từng được công bố trong bất kỳ nghiên cứu nào khác.

Nghiên cứu sinh

Đào Minh Đức

LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành tại Khoa các Khoa học Trái đất, Học viện Khoa học và Công nghệ với sự hướng dẫn khoa học của GS. TS. Đỗ Minh Đức và PGS. TSKH. Vũ Cao Minh. NCS xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc nhất đến các thầy đã tận tình hướng dẫn, động viên và tạo điều kiện tốt nhất cho NCS hoàn thành luận án của mình.

Trong quá trình làm luận án, NCS luôn nhận được sự hỗ trợ nhiệt tình của Ban lãnh đạo và các anh chị chuyên viên của Học viện Khoa học và Công nghệ. Bên cạnh đó, NCS còn nhận được sự động viên, giúp đỡ và góp ý tận tình về chuyên môn của Ban lãnh đạo, các đồng nghiệp trong Viện Địa chất và thầy cô và bạn đồng nghiệp tại Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên. Tác giả xin chân thành cảm ơn những sự giúp đỡ quý báu đó.

Trong quá trình làm luận án, NCS cũng nhận được các góp ý rất giá trị từ các nhà khoa học: TS. Trần Quốc Cường, TS. Lương Đức Trọng, PGS. TS. Trần Thương Bình, TS. Phạm Văn Tiên, TS. Nguyễn Thành Long, ThS. Đỗ Minh Ngọc, ThS. Đinh Thị Quỳnh, ThS. Đặng Thị Thùy, TS. Dương Thị Toan ... và các bạn đồng nghiệp khác. Tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ quý báu của các nhà khoa học trên.

Bên cạnh đó, để hoàn thiện luận án của mình, NCS đã nhận được sự động viên và hỗ trợ vô cùng to lớn của gia đình và người thân đã chia sẻ khó khăn trong suốt thời gian thực hiện nghiên cứu này.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN.....	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT.....	vi
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	viii
DANH MỤC BẢNG BIỂU.....	xii
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG I. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ KHÓI TRƯỢT LỚN TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM.....	6
1.1. Trên thế giới.....	6
1.1.1. Khái niệm và phân loại KTL.....	6
1.1.2. Đặc điểm của KTL.....	8
1.1.2. Phương pháp khảo sát hiện trạng.....	13
1.1.3. Thành lập bản đồ nguy cơ hình thành.....	14
1.1.4. Phân tích mô phỏng.....	17
1.1.5. Quan trắc và cảnh báo nguy cơ dịch chuyển của KTL.....	18
1.1.6. Giải pháp phòng, chống và giảm nhẹ thiệt hại.....	19
1.2. Trong nước.....	20
1.2.1. Phương pháp khảo sát trượt đất, đá.....	20
1.2.2. Thành lập bản đồ nguy cơ hình thành trượt đất đá.....	22
1.2.3. Phân tích ổn định KTL bằng mô hình số.....	23
1.2.4. Quan trắc và cảnh báo sớm.....	24
1.3. Các vấn đề nghiên cứu.....	25
CHƯƠNG II. CÁCH TIẾP CẬN VÀ HỆ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.....	27
2.1. Cách tiếp cận.....	27
2.1.1. Tiếp cận phân tích hệ thống.....	27
2.1.2. Tiếp cận tích hợp chuỗi thời gian.....	30
2.1.3. Khung logic nghiên cứu KTL.....	31
2.2. Hệ phương pháp nghiên cứu.....	32

2.2.1. Nhóm phương pháp khảo sát KTL.....	32
2.2.2. Nhóm phương pháp thống kê và học máy.....	37
2.2.3. Nhóm phương pháp quan trắc KTL.....	43
2.2.4. Ứng dụng các phần mềm mô hình Địa kỹ thuật	46
CHƯƠNG III. ĐẶC ĐIỂM CÁC KHỐI TRƯỢT LỚN Ở MIỀN NÚI PHÍA BẮC..	48
3.1. Đặc điểm hiện trạng trượt đất đá khu vực MNPB	48
3.2. Phân phối thống kê về thể tích các khối trượt ở MNPB	55
3.2.1. Phân phối thống kê thể tích	55
3.2.2. Giới hạn về thể tích KTL ở MNPB.....	57
3.3. Đặc điểm hình thái khối trượt lớn	58
3.3.1. Đặc điểm hình học các KTL.....	58
3.3.2. Đặc điểm mặt trượt.....	61
3.4. Các loại hình khối trượt lớn	68
3.4.1. KTL dạng tịnh tiến.....	68
3.4.2. KTL dạng hỗn hợp.....	69
3.4.3. Diễn biến dịch chuyển của KTL.....	69
CHƯƠNG IV. ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ HÌNH THÀNH KHỐI TRƯỢT LỚN Ở MIỀN NÚI PHÍA BẮC	73
4.1. Đặc điểm các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở MNPB	73
4.1.1. Yếu tố thạch học.....	73
4.1.2. Yếu tố kiến tạo	76
4.1.3. Yếu tố vô phong hóa	78
4.1.4. Nhóm yếu tố địa hình.....	78
4.1.5. Nhóm yếu tố thủy văn	83
4.1.6. Nhóm yếu tố sử dụng đất.....	87
4.1.7. Yếu tố hoạt động của con người.....	88
4.2. Đánh giá tổng hợp tương quan thống kê của các yếu tố ảnh hưởng	89
4.2.1. Tương quan cặp đôi giữa các yếu tố ảnh hưởng	89
4.2.2. Tính đa cộng tuyến các yếu tố ảnh hưởng.....	91
4.2.3. Lựa chọn các yếu tố ảnh hưởng cho mô hình đánh giá nguy cơ	91
4.3. Kết quả đánh giá nguy cơ hình thành KTL	94
4.3.1. Đánh giá nguy cơ hình thành của KTL tại MNPB.....	94
4.3.2. Nhận định về quy luật phân bố KTL ở MNPB.....	104

CHƯƠNG V. PHÂN TÍCH ĐẶC ĐIỂM ĐỘNG LỰC HỌC KHỐI TRƯỢT LỚN KHU VỰC HUYỆN XÍN MÀN, TỈNH HÀ GIANG	107
5.1. Các biểu hiện động lực học của KTL.....	107
5.2. Hệ thống quan trắc hiện trường KTL tại XM-HG	107
5.2.1. Quan trắc mưa	108
5.2.2. Quan trắc địa kỹ thuật.....	112
5.2.3. Quan trắc bằng công nghệ radar giao thoa	115
5.3. Phân tích động học một số KTL dựa vào kết quả quan trắc	116
5.3.1. Ảnh hưởng của mưa và sự dao động mực nước ngầm tới vận động của KTL	116
5.3.2. Diễn biến dịch chuyển của các KTL.....	120
5.4. Phân tích động lực KTL dựa vào các mô hình Địa kỹ thuật.....	125
5.4.1. Phân tích ổn định KTL.....	125
5.4.2. Phân tích phạm vi ảnh hưởng của KTL.....	128
5.5. Giải pháp giảm thiểu tác động của KTL	130
5.5.1. Nâng cao hiệu quả của công tác khảo sát và khả năng nhận diện KTL.....	130
5.5.2. Quy hoạch sử dụng đất ở khu vực nguy cơ cao về trượt khối lớn	133
5.5.3. Giải pháp quan trắc phục vụ cảnh báo sớm.....	135
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	139
DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ LIÊN QUAN	141
TÀI LIỆU THAM KHẢO	142
PHỤ LỤC.....	149
Phụ lục 1: Đặc điểm hiện trạng một số KTL ở MNPB do NCS đo vẽ, khảo sát	149
Phụ lục 2: Bản đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến sự hình thành KTL ở MNPB.....	163
Phụ lục 3: Tổng hợp đặc điểm động học các KTL trong khu vực XM-HG	169

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Ký hiệu viết tắt	Chữ viết đầy đủ
ANN	Mạng neural nhân tạo
AUC	Diện tích dưới đường cong đặc trưng máy thu
BMA	Phương pháp trung bình hóa mô hình theo Bayes
CSDL	Cơ sở dữ liệu
ĐCCT	Địa chất công trình
DEM	Mô hình số độ cao
DTM	Mô hình số bề mặt
FoS	Hệ số ổn định sườn dốc
GIS	Hệ thống thông tin địa lý
ICL	Hiệp hội Quốc tế về Trượt đất đá (The International Consortium on Landslides)
InCL	Cảm biến Inclinometer
KTL	Khối trượt lớn (nhấn mạnh về mô tả đối tượng)
KTNN	Khối trượt nhỏ nông
LSI	Chỉ số nhạy cảm trượt đất đá
MNPB	Miền núi phía Bắc
NCS	Nghiên cứu sinh
nnk	Những người khác
PCTT	Phòng chống thiên tai
PIE	Cảm biến piezometer
PWP	Áp lực nước lỗ rỗng
ROC	Đường cong đặc trưng máy thu
SVM	Máy vector hỗ trợ
T-InSAR	Radar giao thoa mặt đất khẩu độ tổng hợp
TKL	Trượt khối lớn (nhấn mạnh về mô tả diễn biến)
TWI	Chỉ số mức độ ẩm địa hình
UAV	Thiết bị bay không người lái
UBND	Ủy ban nhân dân

VIF	Hệ số lạm phát phương sai
VPH	Vỏ phong hóa
Vlog	Logarit thể tích khối trượt
XM-HG	huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang
L_f	Phạm vi ảnh hưởng
c'	Lực dính có hiệu
ϕ'	Góc ma sát trong có hiệu của đất
r_u	Hệ số áp lực nước lỗ rỗng
τ	Sức kháng cắt của đất
τ_r	Sức kháng cắt dư của đất
u_a	Giá trị áp suất không khí trong lỗ rỗng
u_w	Giá trị áp lực nước lỗ rỗng
L_r	Chiều dài khối trượt lớn
W_r	Chiều rộng khối trượt lớn
H_r	Chiều cao khối trượt lớn
V_r	Thể tích khối trượt lớn
D_r	Chiều sâu mặt trượt của khối trượt lớn
210/40	Phương vị hướng dốc/Góc dốc

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1. 1. Tính tích hợp liên ngành trong nghiên cứu trượt đất đá [5].....	7
Hình 1. 2. Sơ đồ mô tả đặc điểm nhận diện chung của KTL.....	10
Hình 1. 3. Các yếu tố hình thành thường được sử dụng trong phân tích, đánh giá nguy cơ hình thành trượt đất đá	11
Hình 1. 4. Ảnh chụp mặt trượt của KTL Tsaoling –phía Tây Nam Đài Loan có chiều dài hơn 2 km, với quá trình mở rộng được ghi nhận nhiều lần từ 1931 đến 2002 ...	14
Hình 1. 5. Sơ đồ tổng hợp các phương pháp đánh giá nguy cơ trượt đất đá.....	15
Hình 1. 6. Sơ đồ minh họa phạm vi ảnh hưởng và các quan hệ hình học của KTL	18
Hình 1. 7. Hệ thống quan trắc bằng công nghệ T-InSar theo dõi KTL dưới chân tu viện thánh Scholastica tại Subiaco, Italia.....	19
Hình 1. 8. Giải pháp thoát nước bề mặt (a) và sử dụng giếng đứng giảm áp lực nước (b) trên KTL tại Nhật Bản.....	20
Hình 1. 9. Kết quả mô tả phạm vi ảnh hưởng và mô hình số bề mặt KTL gây sóng thần trên sông Trường tại Quảng Nam.....	22
Hình 2. 1. Khung logic nghiên cứu sự hình thành và phát triển của KTL ở MNPB	33
Hình 2. 2. Quy trình thành lập mô hình số bề mặt, ước lượng thể tích và lập các loại mặt cắt cho KTL.....	35
Hình 2. 3. Sơ đồ cấu trúc tổng quát ANN trong phân tích nguy cơ hình thành KTL.....	42
Hình 2. 4. Sơ đồ nguyên tắc lắp đặt các thiết bị cảm biến trên thân KTL	44
Hình 2. 5. Sơ đồ các bước mô phỏng phạm vi ảnh hưởng của KTL bằng phần mềm LS-Rapid	47
Hình 3. 1. Sơ đồ hiện trạng KTL khu vực MNPB trên nền bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000.....	52
Hình 3. 2. Sơ đồ hiện trạng KTL và trạm quan trắc hiện trường tại huyện XM- HG	54
Hình 3. 3. Mức độ biến động logarit thể tích điểm trượt đất đá theo các địa phương MNPB.....	56
Hình 3. 4. Kết quả kiểm định luật phân phối thống kê của logarit thể tích khối trượt theo biểu đồ Cullen & Frey	57
Hình 3. 5. Biểu đồ mật độ xác suất xuất hiện trượt đất đá theo logarit của thể tích khối trượt ở MNPB	58
Hình 3. 6. Vách trượt thứ cấp cắt ngang KTL tại thị trấn Bắc Yên, Sơn La có chiều cao 1,5m	59

Hình 3. 7. Ảnh chụp bằng UAV KTL chợ Tân Sơn, Nám Dẩn và rãnh xói rộng từ 0,5m đến hơn 2m, sâu 1m xuất hiện sau mưa lớn tháng 8 năm 2016.....	61
Hình 3. 8. Mối quan hệ theo thông số hình học của 26 KTL được khảo sát chi tiết với độ sâu mặt trượt.....	62
Hình 3. 9. Mặt trượt là các mặt không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt tại KTL thác Khanh (a) và KTL Bắc Yên (b).....	63
Hình 3. 10. VP1 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL thôn Dú Hạ, xã Bản Dú, XM-HG.	64
Hình 3. 11. VPH2 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL Bắc Yên, Sơn La.....	65
Hình 3. 12. VPH 3 - Mặt cắt VPH KTL trên QL32 đoạn qua xã Nậm Búng, Yên Bái...	65
Hình 3. 13. VPH4 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL thác Khanh, Tân Sơn, Hòa Bình ..	66
Hình 3. 14. VPH5 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL Móng Sến, Lào Cai	66
Hình 3. 15. VPH5 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL TT. Cốc Pài, XM-HG.....	67
Hình 3. 16. VPH 6 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL Chế Cu Nha, Mù Cang Chải, Yên Bái	67
Hình 3. 17. Thống kê theo tỷ lệ các kiểu trượt đất đá và TKL xuất hiện ở MNPB ..	68
Hình 3. 18. Hình ảnh Google Earth và ảnh chụp UAV khảo sát thể hiện diễn biến mở rộng KTL Chế Cu Nha, Mù Cang Chải trước các năm 2010, 2016 và 2020.....	71
Hình 4. 1. Biểu đồ tương quan tỷ lệ tần suất xuất hiện các loại thạch học theo vị trí TKL, KTNN và các điểm không xác định trượt	74
Hình 4. 2. Kết quả phân tích tương quan giữa các yếu tố ảnh hưởng với các đặc điểm của VPH	91
Hình 4. 3. Biểu đồ tương quan giữa các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL	92
Hình 4. 4. Lựa chọn mô hình hồi quy logistic bằng BMA	93
Hình 4. 5. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở MNPB bằng mô hình hồi quy logistic (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)	97
Hình 4. 6. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở MNPB bằng mô hình máy vector hỗ trợ (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)	98
Hình 4. 7. Lựa chọn số lượng nút ẩn trong mô hình neural nhân tạo	99
Hình 4. 8. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành TKL MNPB bằng mô hình neural nhân tạo (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)	100
Hình 4. 9. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành trượt khu vực MNPB bằng mô hình tổng hợp xếp chồng (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000).....	101
Hình 4. 10. Đường cong ROC và chỉ số AUC của các mô hình máy học đào tạo và kiểm định mô hình	103
Hình 4. 11. Đường cong ROC và chỉ số AUC của mô hình phân tích sau khi đã giảm các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL	103

Hình 4. 12. Tổng hợp tương quan phân phối mật độ xác suất giữa vị trí TKL, KTNN và các điểm không xác định trượt của các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL.....	106
Hình 5. 1. Mặt cắt địa chất công trình KTL chợ Tân Sơn, Nám Dẩn.....	114
Hình 5. 2. Mặt cắt địa chất công trình KTL Dúu Thượng, xã Bản Dúu.....	114
Hình 5. 3. Kết quả quan trắc lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Tân Sơn- Nám Dẩn tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ năm 2007 đến 2021	115
Hình 5. 4. Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Dúu Thượng- Bản Dúu tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ 8/01/2017 đến 31/12/2019	115
Hình 5. 5. Phổ dịch chuyển trung bình của các điểm quan trắc trên thân khối trượt Tân Sơn.	116
Hình 5. 6. Kết quả quan trắc lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Tân Sơn- Nám Dẩn tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ năm 2007 đến 2021	118
Hình 5. 7. Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Dúu Thượng- Bản Dúu tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ 8/01/2017 đến 31/12/2019.....	119
Hình 5. 8. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm r_u vượt quá 0,53 với dịch chuyển cộng dồn và vận tốc dịch chuyển tại trạm Tân Sơn.....	121
Hình 5. 9. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm r_u vượt quá 0,53 với dịch chuyển cộng dồn và vận tốc dịch chuyển tại trạm Dúu Thượng...	122
Hình 5. 10. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm giới hạn 0,53 với vận tốc nghịch đảo	123
Hình 5. 11. So sánh dịch chuyển theo thời gian của KTL chợ Tân Sơn bằng kết quả đo P14 - T-InSar với số liệu dịch chuyển đo bằng inclinometer từ ngày 10/08/2019 đến 4/12/2019	124
Hình 5. 12. Kết quả phân tích ổn định mái dốc trong trường hợp hệ số áp lực nước lỗ rỗng $r_u = 0,53$ tại KTL Tân Sơn	127
Hình 5. 13. Kết quả phân tích ổn định mái dốc trong trường hợp hệ số áp lực nước lỗ rỗng $r_u = 0,53$ tại KTL Dúu Thượng	127
Hình 5. 14. Mô hình số 3D KTL chợ Tân Sơn & KTL Dúu Thượng, Bản Dúu	128
Hình 5. 15. Kết quả phân tích phạm vi vận động của KTL Tân Sơn bằng phần mềm LS Rapid.....	129
Hình 5. 16. Kết quả phân tích phạm vi vận động của KTL Dúu Thượng bằng phần mềm LS Rapid.....	130

Hình 5. 17. Tổng hợp các biểu hiện bên ngoài mất ổn định của khu vực có nguy cơ cao xuất hiện KTL.....	132
Hình 5. 18. Dòng chảy mặt bị hạn chế mở rộng do cây cỏ voi phát triển nhanh phía sau chợ Tân Sơn, Năm Dân.....	133
Hình 5. 19. Dự đoán xác suất 90%, 50%, và 10% khoảng phạm vi ảnh hưởng (đường màu xanh lá cây, nét đứt xanh da trời, đỏ) dựa theo thể tích KTL cho khu vực XM-HG.....	135
Hình 5. 20. Các bước phân tích dữ liệu quan trắc phục vụ cảnh báo sớm tại biển TKL.....	138

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1. 1. Phân loại trượt đất đá theo thể tích (m ³) của một số nghiên cứu trên thế giới.....	8
Bảng 1. 2. Thống kê chủng loại cảm biến và thông số quan trắc của các hệ thống cảnh báo sớm trượt đất đá ở Việt Nam hiện nay	25
Bảng 2. 1. Bảng phân cấp mức độ biến đổi theo thời gian của các yếu tố ảnh hưởng	29
Bảng 2. 2. Bảng phân loại VPH theo chiều sâu trên sườn dốc theo Garet Hearn [78]	34
Bảng 2. 3. Bảng phân loại thạch học một số nhóm chính phục vụ nghiên cứu KTL .	37
Bảng 3. 1. CSDL thống kê các KTL theo địa phương ở MNPB	51
Bảng 4. 1. Mối tương quan thống kê của yếu tố thành phần thạch học theo khả năng hình thành KTL	74
Bảng 4. 2. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến ranh giới thạch học theo khả năng hình thành KTL.....	75
Bảng 4. 3. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến đứt gãy theo khả năng hình thành KTL	77
Bảng 4. 4. Mối tương quan thống kê của yếu tố cao độ địa hình theo khả năng hình thành KTL	79
Bảng 4. 5. Mối tương quan thống kê của yếu tố hướng dốc địa hình theo khả năng hình thành KTL	80
Bảng 4. 6. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ dốc địa hình theo khả năng hình thành KTL	81
Bảng 4. 7. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ cong ngang sườn theo khả năng hình thành KTL	82
Bảng 4. 8. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ cong dọc sườn theo khả năng hình thành KTL	82
Bảng 4. 9. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ sâu thung lũng theo khả năng hình thành KTL	83
Bảng 4. 10. Mối tương quan thống kê của yếu tố TWI theo khả năng hình thành KTL .	85
Bảng 4. 11. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến sông suối theo khả năng hình thành KTL	85
Bảng 4. 12. Mối tương quan thống kê của yếu tố lượng mưa trung bình năm theo khả năng hình thành KTL	86
Bảng 4. 13. Mối tương quan thống kê của yếu tố lượng mưa trận lớn nhất theo khả năng hình thành KTL	87
Bảng 4. 14. Bảng phân loại đối tượng theo giá trị NDVI sau hiệu chỉnh.....	88

Bảng 4. 15. Môi tương quan thống kê của yếu tố NDVI theo khả năng hình thành KTL.....	88
Bảng 4. 16. Môi tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến đường giao thông theo khả năng hình thành KTL.....	89
Bảng 4. 17. Kết quả phân tích thành phần chính các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở MNPB.....	94
Bảng 4. 18. Hệ số beta và kết quả kiểm định thống kê của các biến được sử dụng trong phương trình hồi quy logistic.....	96
Bảng 4. 19. Tổng hợp các thông số đánh giá các mô hình máy học.....	102
Bảng 5. 1. Tổng hợp các trường hợp mưa gây ra sự kiện TKL trên địa bàn XM-HG từ năm 2008 đến nay	108
Bảng 5. 2. Đặc điểm thống kê lượng mưa giữa các trạm quan trắc mưa xung quanh khu vực XM-HG	109
Bảng 5. 3. Chung loại và độ sâu các thiết bị sensor quan trắc lắp đặt trong hố khoan tại các KTL Tân Sơn- Nấm Dẩn và Dúi Thượng- Bản Dúi XM-HG	113
Bảng 5. 4. Kết quả thí nghiệm mẫu đất gần vị trí mặt trượt nguy hiểm của KTL Tân Sơn và Dúi Thượng	125
Bảng 5. 5. Tổng hợp kết quả phân tích FoS của KTL Tân Sơn và Dúi Thượng theo các mức hệ số áp lực nước lỗ rỗng khác nhau.	126

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Theo báo cáo của Ngân hàng Thế giới năm 2018, thảm họa do thiên tai ở Việt Nam có thể xảy ra thường xuyên hơn với mức độ ngày càng tăng trong tương lai. Cảnh báo này nhắc chúng ta cần phải chú ý hơn nữa với các hiện tượng thiên tai cực đoan trong đó có trượt đất đá. Và thực tế cho thấy, hiện tượng trượt đất đá đang có xu hướng diễn biến phức tạp hơn và để lại nhiều thiệt hại nghiêm trọng. Theo số liệu thống kê của đề án "*Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt đất đá các vùng miền núi Việt Nam*", số lượng điểm trượt nhỏ và rất nhỏ được ghi nhận xuất hiện nhiều nhưng tổng thể tích của chúng nhỏ hơn nhiều các KTL. Bên cạnh đó, số lượng KTL tuy không nhiều nhưng sự xuất hiện của chúng gây ra sức tàn phá nguy hiểm, để lại thiệt hại lớn và tốn kém hơn nhiều khi phải khắc phục hậu quả.

Hiện tượng TKL là hiểm họa tiềm tàng cho các khu dân cư, công trình hạ tầng giao thông, ruộng bậc thang, đường dây truyền tải điện ở MNPB. Điển hình như, vào mùa mưa năm 2007- 2008, hiện tượng TKL xuất hiện nhiều ở khu vực thị trấn Cốc Pài, XM-HG, trong đó khu nhà UBND huyện và nhà làm việc của các phòng ban được xác định nằm trên một KTL có chiều dài 350- 500m, chiều rộng 150- 200m cần xử lý ngay. KTL tại chợ Tân Sơn, Nám Dẩn, XM-HG xuất hiện vào cuối tháng 7 năm 2012, đã phá hủy một phần khu chợ, làm sập nhà của 5 gia đình. Ngoài ra, trên địa bàn XM-HG còn rất nhiều KTL khác nằm rải rác tại các xã Bản Dú, Nám Dẩn, Xín Mần, Chế Là, Quảng Nguyên, Nà Chì,... gây khó khăn trong phát triển kinh tế của huyện.

Từ thực tế trên, việc chọn đề tài luận án "*Nghiên cứu đặc điểm hình thành và phát triển một số khối trượt lớn ở khu vực miền núi phía Bắc (lấy ví dụ tại huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang)*" là rất cấp thiết và có ý nghĩa khoa học, thực tiễn cao.

2. Mục tiêu

- Làm sáng tỏ đặc điểm hiện trạng, các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành và phát triển KTL ở MNPB.
- Làm sáng tỏ đặc điểm động lực học của quá trình phát triển KTL bằng các công nghệ quan trắc hiện trường tại XM-HG.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

- *Đối tượng nghiên cứu của luận án* là một số KTL ở khu vực MNPB, nghiên cứu chi tiết các KTL tại khu vực XM-HG. Giới hạn đối tượng nghiên cứu không bao

gồm: dòng lũ bùn đá, các khối trượt hình thành do hoạt động khai thác khoáng sản; xây dựng và vận hành các công trình thủy điện- thủy lợi.

- *Về diện tích nghiên cứu:* Khu vực miền núi phía Bắc bao gồm 15 tỉnh: Hà Giang, Cao Bằng, Lào Cai, Bắc Kạn, Lạng Sơn, Tuyên Quang, Yên Bái, Thái Nguyên, Phú Thọ, Bắc Giang, Lai Châu, Điện Biên, Sơn La, Hòa Bình, Quảng Ninh, có tổng diện tích là 95.264,4 km². Nghiên cứu chi tiết về động lực học KTL tại XM-HG (gồm 17 xã), diện tích 582 km².

4. Nội dung nghiên cứu

Để đạt được các mục tiêu nêu trên, nội dung nghiên cứu của luận án gồm:

- Nghiên cứu đặc điểm hiện trạng và các đặc trưng của KTL ở MNPB.
- Phân tích các yếu tố ảnh hưởng (tự nhiên và nhân tạo) đến sự hình thành KTL ở MNPB.
- Nghiên cứu đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở MNPB.
- Nghiên cứu đặc điểm động lực học của một số KTL ở XM-HG.
- Đề xuất các biện pháp giảm nhẹ tác động của KTL ở XM-HG.

5. Luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Khối trượt lớn ở khu vực MNPB được đặc trưng bởi thể tích lớn hơn 4.500m³, phần lớn thuộc loại trượt tịnh tiến và hỗn hợp, có mặt trượt trùng với mặt không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt kiến tạo.

Luận điểm 2: Kiến tạo, thạch học, độ dốc địa hình và hoạt động nhân sinh được xác định là các yếu tố chính dẫn đến sự hình thành KTL ở MNPB dựa trên cơ sở phân tích tổng hợp các mô hình thống kê và học máy.

Luận điểm 3: Dịch chuyển khối trượt lớn tại XM-HG là quá trình không đồng nhất, không liên tục, trong đó dịch chuyển tăng lên đáng kể khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng (r_u) ở vị trí mặt trượt $\geq 0,53$.

6. Những điểm mới của luận án

- Đã hệ thống hóa được các đặc trưng chủ yếu của các KTL cho toàn bộ MNPB dựa trên các phương pháp phân tích thống kê.
- Thành lập được bản đồ đánh giá mức độ nguy cơ hình thành KTL ở MNPB bằng cách kết hợp phân tích thống kê và học máy.
- Xây dựng được quy trình phân tích dữ liệu quan trắc hiện trường các thông số địa kỹ thuật phù hợp với điều kiện thực tế của KTL tại XM-HG.

- Xác định hệ số áp lực nước lỗ rỗng ru tại vị trí mặt trượt nguy hiểm khi có dịch chuyển đáng kể của KTL, hỗ trợ công tác cảnh báo sớm nguy cơ mất ổn định KTL tại XM-HG.

7. Ý nghĩa khoa học của luận án

a./ Ý nghĩa khoa học

- Góp phần hoàn thiện phương pháp luận nghiên cứu hiện tượng trượt đất đá nói chung và TKL nói riêng trong điều kiện cụ thể của MNPB.
- Hệ thống hóa quá trình phân tích hiện tượng TKL, từ đó nâng cao độ tin cậy trong dự báo và cảnh báo sớm hiện tượng TKL.
- Giải thích ảnh hưởng của mưa, gia tăng áp lực nước lỗ rỗng đến quá trình dịch chuyển KTL ở XM-HG dựa trên kết quả quan trắc dài hạn.

b./ Ý nghĩa thực tiễn

- Xác định các khu vực có nguy cơ cao hình thành KTL phục vụ chủ động ứng phó với tai biến trượt đất đá.
- Đề xuất hệ thống quan trắc TKL và giải pháp cảnh báo sớm hiện tượng TKL cho khu vực MNPB.

8. Cơ sở tài liệu của luận án

Luận án được hoàn thành trên cơ sở các tài liệu, số liệu được thu thập, khảo sát, ghi đo và thí nghiệm liên quan đến hiện tượng TKL trong thời gian từ 2002 đến nay. Tài liệu phục vụ nghiên cứu của luận án gồm:

a./ Dữ liệu thu thập

- *CSDL hiện trạng trượt đất đá* khu vực MNPB được NCS tổng hợp từ các nguồn:
 - Đề án "*Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam*" do Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản thực hiện.
 - Báo cáo thiên tai thường niên hằng năm của Tổng cục PCTT (cập nhật dữ liệu trượt đất đá cho những năm gần đây từ 2015 đến nay).
 - Chương trình hợp tác với Na uy VINO GEO-SRV 07/056 với nội dung "*Tăng cường năng lực giảm thiểu và thích ứng với địa tai biến liên quan đến môi trường và phát triển năng lượng ở Việt Nam*" – Giai đoạn II – Chủ trì thực hiện GS. TS. Mai Trọng Nhuận
 - Các đề tài cấp nhà nước do Viện Địa chất thực hiện như: "*Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp cảnh báo sớm tai biến sụt đất, trượt lở, lũ quét, lũ bùn đá miền Bắc Việt Nam bằng công nghệ viễn thám và dữ liệu về cấu trúc*

địa chất” Chủ nhiệm đề tài TS. Trần Quốc Cường - Đề tài cấp nhà nước mã số VT-UD.05/18-20. Đề tài “*Nghiên cứu đánh giá sự biến đổi môi trường sau thiên tai lũ quét khu vực miền núi phía bắc Việt Nam, đề xuất giải pháp cải tạo phục hồi và quản lý môi trường*” mã số KC.08.09/11-15 (2015), Chủ nhiệm đề tài PGS. TS. Trần Văn Tư - Đề tài cấp nhà nước. Đề tài cấp nhà nước “*Nghiên cứu xây dựng thử nghiệm hệ thống cảnh báo sớm cấp thôn (bản) tích hợp tai biến trượt lở, lũ bùn đá, lũ quét có sự tham gia của cộng đồng tại một số khu vực trọng điểm miền núi phía Bắc*” mã số ĐTĐL.CN-78/21.

- *Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000* được thành lập và hiệu chỉnh chính thức xuất bản vào năm 2005. Khu vực MNPB bao gồm 19 tờ bản đồ địa chất và khoáng sản tỷ lệ 1:200.000. Mặc dù, bản đồ địa chất khoáng sản tỷ lệ 1:50.000 đang được thành lập nhưng đến nay chưa hoàn thiện và phủ kín MNPB nên tỷ lệ nghiên cứu trong luận án vẫn sử dụng tỷ lệ 1:200.000 cho các đánh giá rộng khắp MNPB.
- *Dữ liệu địa hình* được NCS thu thập từ dữ liệu ảnh viễn thám Alos Palsar, độ phân giải 12,5 x 12,5m, được chụp vào năm 2010. Dữ liệu Palsar là sản phẩm không gian đã được hiệu chỉnh và được xây dựng bằng sự kết hợp giữa các cơ quan hàng không NASA - Hoa Kỳ và Nhật Bản – JAXA. Dữ liệu được mã hóa ở dạng GEOTIFF đã hiệu chỉnh nên rất tiện lợi trong việc sử dụng để phân tích theo diện tích lớn như khu vực MNPB. Tổng số khối lượng ảnh chụp NCS sử dụng để phân tích cho toàn bộ MNPB là 51 tấm ảnh chụp vào năm 2010.
- *Các dữ liệu thu thập khác*
 - Dữ liệu sông suối và đường giao thông được NCS tổng hợp từ bộ bản đồ hiện trạng tỷ lệ 1:50.000.
 - Số liệu thảm phủ thực vật được tổng hợp từ ảnh Landsat 8 thu được từ ngày 03/12/2019 đến 26/12/2019 (cung cấp bởi Hội địa chất Hoa Kỳ) thông qua chỉ số khác biệt thực vật NDVI.
 - Dữ liệu mưa được sử dụng trong phân tích không gian được kế thừa từ bản đồ đẳng mưa trong Atlas khí hậu và BĐKH.
 - Dữ liệu quan trắc mưa giờ được tổng hợp từ dữ liệu quan trắc mưa của một số trạm khí tượng thủy văn Việt bắc từ năm 2010 trở lại đây.

b./ Số liệu do NCS ghi đo, khảo sát và thí nghiệm

- *Khảo sát thực địa đo vẽ một số KTL ở MNPB.* NCS trực tiếp khảo sát, đo vẽ mô tả 26 KTL, thông số được ghi chép vào trong các phiếu điều tra theo mẫu thống nhất.

- *Dữ liệu ảnh chụp bằng thiết bị UAV phục vụ nghiên cứu ở một số KTL.* Dữ liệu bay chụp bằng UAV trong luận án thu thập bằng cách bay tự động theo sơ đồ đề thành lập mô hình số bề mặt. Ảnh chụp KTL bằng UAV cho phép nhìn nhận KTL từ nhiều góc độ khác nhau, dễ dàng đánh giá quy mô thực tế của KTL.
- *Triển khai khảo sát chi tiết và lắp đặt hệ thống quan trắc hiện trường KTL tại XM-HG.* NCS tiến hành khảo sát chi tiết các KTL tại XM-HG, thiết kế và thi công khoan khảo sát 2 KTL ở XM-HG (Tân Sơn và Dúu Thượng), thiết kế mạng lưới cảm biến quan trắc trong thân KTL, đo đạc quan trắc các chu kỳ đầu để xác định chiều sâu mặt trượt, xác định hệ số hiệu chỉnh cho dữ liệu quan trắc, lắp đặt và duy trì hệ thống quan trắc tại hiện trường.
- *Thí nghiệm cơ lý, thí nghiệm cắt xoay mẫu đất trong phòng.* NCS đã tiến hành thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý cơ bản phục vụ đánh giá mức độ ổn định cho 2 KTL Tân Sơn và Dúu Thượng bằng mô hình số. Đặc biệt, thí nghiệm cắt xoay phục vụ phân tích bằng mô hình xác định phạm vi ảnh hưởng của KTL bằng phần mềm LS-Rapid.
- *Ghi đo dữ liệu quan trắc hiện trường.* NCS trực tiếp duy trì ghi đo các chuỗi dữ liệu quan trắc tại hiện trường KTL Tân Sơn, xã Năm Dán và KTL Dúu Thượng xã Bản Dúu từ năm 2017 đến nay.

9. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án, ngoài các phần Mở đầu, Kết luận, gồm có 5 chương như sau:

- Chương 1. Tổng quan các nghiên cứu về khối trượt lớn trên thế giới và Việt Nam.
- Chương 2. Cách tiếp cận và hệ phương pháp nghiên cứu.
- Chương 3. Đặc điểm các khối trượt lớn ở miền núi phía Bắc.
- Chương 4. Đánh giá nguy cơ hình thành khối trượt lớn ở miền núi phía Bắc.
- Chương 5. Phân tích đặc điểm động lực học khối trượt lớn khu vực huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang.

CHƯƠNG I. TỔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU VỀ KHỐI TRƯỢT LỚN TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM

1.1. Trên thế giới

1.1.1. Khái niệm và phân loại KTL

Trượt đất đá nói chung từ lâu đã được nhiều lĩnh vực quan tâm nghiên cứu vậy nên khái niệm về trượt đất đá cũng có nhiều quan niệm khác nhau. Trong cuốn sách “Landslide and Engineering Practice, 1958”, David Varnes đã đưa ra khái niệm đầu tiên về trượt đất đá và phân loại hiện tượng trượt đất đá theo loại vật liệu (đá gốc, đất và hỗn hợp đất đá) và kiểu dịch chuyển (đổ lở, trượt, chảy). Khái niệm trượt này khá rộng và bao hàm cả lũ bùn đá, đá đổ, lở tuyết nên đã gây ra nhiều ý kiến và chỉ trích mặc dù trượt đất đá đều gián tiếp liên quan đến các hiện tượng kể trên. Sau đó, nhóm công tác về giảm nhẹ thảm họa thiên nhiên của UNESCO đã điều chỉnh các thuật ngữ mô tả hiện tượng trượt đất đá, nhất là: cấu trúc, kích thước, vận tốc, trạng thái hoạt động của khối trượt. Từ đó, **Cruden & Varnes (1996) [1]** đã hoàn thiện định nghĩa trượt đất đá là "Sự di chuyển của khối đất đá hoặc mảnh vụn xuống dưới sườn dốc". Đây là cơ sở rất quan trọng trong lịch sử phát triển của lĩnh vực nghiên cứu trượt đất đá và hiện được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về trượt đất đá.

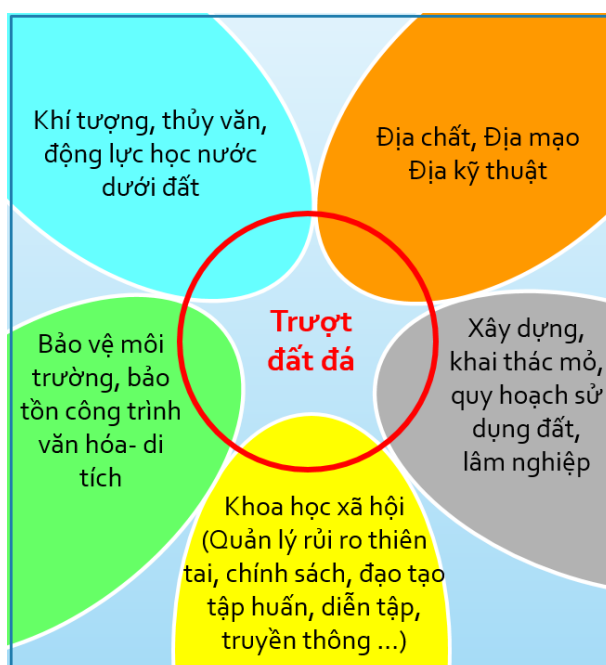
Trượt đất đá được nghiên cứu ở nhiều quốc gia với các điều kiện môi trường rất khác nhau, từ các khu vực núi cao đến các khu vực ven biển, từ khu vực rất ẩm ướt hoặc mưa nhiều đến khu vực rất khô, và từ khu vực có hoạt động địa chấn hay núi lửa đến các khu vực hoạt động kiến tạo ít ảnh hưởng. Một số KTL không chỉ là kết quả của một chuỗi đa thiên tai mà còn được gây ra bởi các hoạt động của con người như làm đường giao thông và đường sắt, khai thác khoáng sản và mở rộng khu vực đô thị. Tai biến trượt đất đá được nhiều cơ quan chính phủ, bộ ngành, viện nghiên cứu quan tâm giải quyết. Tổng hợp các nghiên cứu cho thấy rằng để nhận diện nguyên nhân, đề xuất giải pháp và ứng phó với hiện tượng trượt đất đá cần tích hợp từ nhiều lĩnh vực (**Hình 1.1**).

Do sự khác biệt về điều kiện tự nhiên của mỗi vùng, khái niệm về KTL trên thế giới cũng có sự khác nhau. Qua tổng hợp, một số tác giả đã đưa ra khái niệm về KTL đáng quan tâm có thể kể đến như:

- **Agliardi (2012) [2]** đã mô tả KTL là những chuyển động có thể tích lớn. Chúng được tìm thấy trong hầu hết các loại đất đá, với phạm vi hình thành không liên

tục và kém xác định, thể tích lớn, chiều sâu mặt trượt lớn và tốc độ di chuyển tương đối thấp trong thời gian dài.

- **Lo (2017) [3]** đã tổng hợp các trường hợp trượt đất đá ở Đài Loan và cho rằng KTL có mặt trượt nằm trong đá gốc, vật liệu trượt bị đưa đi với khoảng cách lớn, diện tích bề mặt lớn hơn 10ha, chiều sâu mặt trượt lớn hơn 5m.
- **Roering & nnk (2015) [4]** cho rằng sự xuất hiện và hoạt động của KTL là hiện tượng đất đá dịch chuyển trên diện tích bề mặt lớn hơn 0,1 km², vật liệu trượt bị đưa đi với khoảng cách lớn, chịu nhiều ảnh hưởng của yếu tố môi trường và địa chất. KTL là kết quả của sự kết hợp của nhiều yếu tố, từ yếu tố điều kiện làm sườn dốc bị mất ổn định (như mương xói, hình dạng sườn dốc, cấu trúc địa chất, suy giảm độ bền cắt) tới các yếu tố tức thời (thủy văn và địa chấn).



Hình 1. 1. Tính tích hợp liên ngành trong nghiên cứu trượt đất đá [5]

Nhìn nhận theo khía cạnh khác, **Lômtadze (1979) [6]** định nghĩa “Khối trượt là khối đất đá hoặc đang trườn về phía dưới sườn dốc mái dốc (sườn nhân tạo) do ảnh hưởng của trọng lực, áp lực thủy động, lực địa chấn và một số lực khác”. Sự hình thành khối trượt là kết quả của quá trình địa chất, biểu hiện ở sự dịch chuyển thẳng đứng và dịch chuyển ngang những khối đất đá. Hiện tượng trượt phá hủy sườn dốc và mái dốc làm cải biến hình dạng bên ngoài của chúng tạo nên địa hình mới. Sự dịch chuyển đất đá thường xảy ra theo một hoặc một vài mặt trượt. Mặt trượt và vách trượt là yếu tố kiến trúc đặc trưng và không thể thiếu được đối với mỗi khối trượt. Mỗi một khối trượt hình thành đều tạo nên một khu vực mà ranh giới và hình dạng của nó ở trên mặt bằng được quyết định bởi thể tích và các kiểu hình trượt.

Hiện nay có khá nhiều cách phân loại trượt đất đá như: dựa vào quá trình trượt, dựa vào kiểu dạng bề mặt trượt, dựa vào thể tích khối trượt, dựa vào tuổi/ giai đoạn vận động của khối trượt, dựa vào độ sâu mặt trượt và dựa vào thành phần thạch học của khối trượt. Dựa vào cơ chế hình thành, Postoev (2010) [7] đưa ra 3 loại trượt chính: trượt sâu do nén ép; trượt theo mặt cắt (trượt nông); và trượt dạng dòng hoặc chảy. Theo ICL tổng hợp, trượt đất đá có 6 kiểu dịch chuyển bao gồm: rơi, đổ lở, trượt, trượt tịnh tiến, trượt dạng dòng, trượt hỗn hợp. Tuy nhiên, trong các CSDL về trượt đất đá, thông tin về thể tích và kích thước là những số liệu đồng bộ và đáng tin cậy nhất hiện nay. Phân chia theo thể tích được nhiều nhà khoa học như Fell, Lômtdadze và ICL đưa ra 7 cấp độ với quy mô thể tích khác nhau và kết quả cho thấy sự khác biệt khá lớn (bảng 1.1). Thực tế còn cho thấy, khi phân tích về thể tích và vận tốc, KTL có các dạng trượt chính là trượt đá tốc độ lớn; trượt hỗn hợp với tốc độ trung bình và dòng chảy bùn đá.

Bảng 1. 1. Phân loại trượt đất đá theo thể tích (m^3) của một số nghiên cứu trên thế giới

Cấp phân loại	ICL	Fell, (1994) [8]	V. Đ. Lômtdadze	Mô tả
7	$> 10^8$	5×10^6	> 200.000	Đặc biệt lớn
6	$10^7 - 10^8$	$10^6 - 5 \times 10^6$		Rất lớn
5	$10^6 - 10^7$	$25 \times 10^4 - 10^6$	1.000-200.000	Lớn
4	$10^5 - 10^6$	$5 \times 10^4 - 25 \times 10^4$		Trung bình – Lớn
3	$10^4 - 10^5$	$5 \times 10^3 - 5 \times 10^4$	200-1000	Trung bình
2	$10^3 - 10^4$	500 – 5.000	10-200	Nhỏ
1	$< 10^2$	< 500	< 10	Rất nhỏ

1.1.2. Đặc điểm của KTL

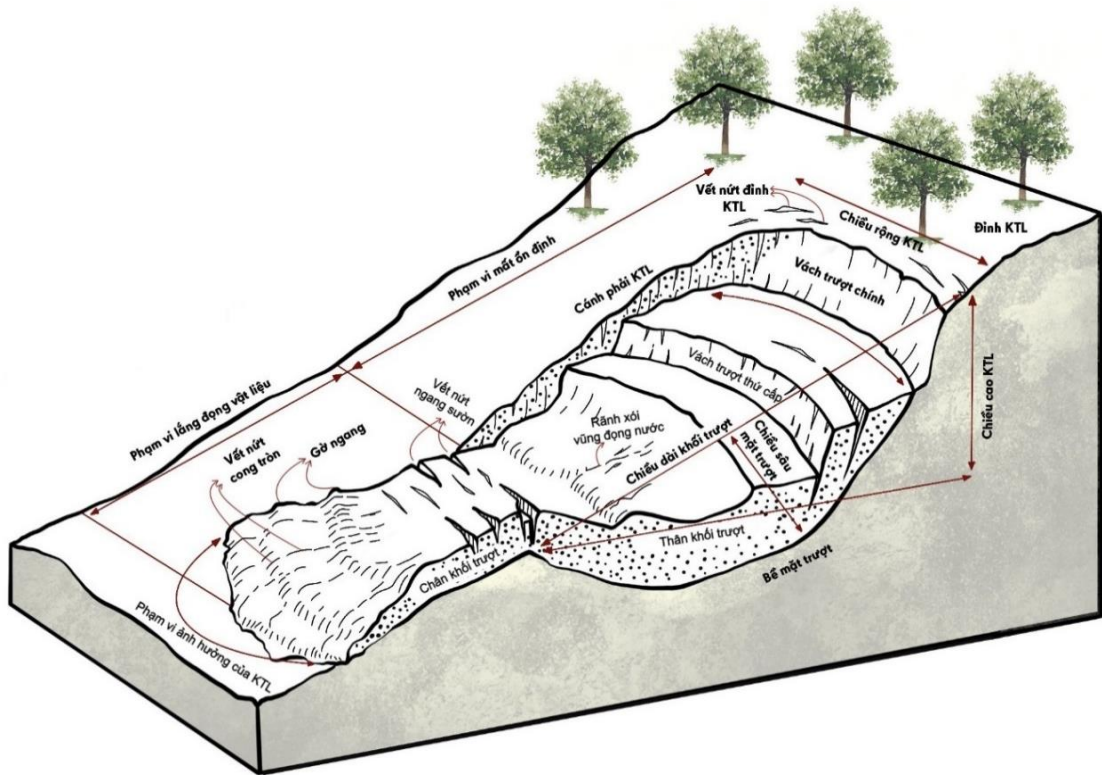
a./ Hình thái KTL

Nghiên cứu của Cruden & Varnes (1996) [1] đã tổng hợp và chỉ ra một số đặc điểm nhận diện chung nhất được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu trượt đất đá (hình 1.2). Đối với KTL các đặc trưng về cấu trúc này càng được thể hiện rõ hơn ở các chi tiết đó bao gồm:

- *Mặt trượt* là bề mặt mà dọc theo đó khối đất đá di chuyển về phía dưới mái dốc. Mặt trượt là dấu hiệu quan trọng khi nhận biết hiện tượng trượt, một khối trượt có thể có một hoặc nhiều mặt trượt với cấu trúc và hình dạng khác nhau. Do KTL thường có điều kiện đất đá không đồng nhất, không liên tục, nhiều mặt phân cách

do khe nứt trong đá. Vậy nên với đất đá không đồng nhất thì mặt trượt có thể có những dạng khác nhau.

- *Chân khối trượt* là nơi mà mặt trượt xuất lộ ở phía dưới chân dốc. Do tác dụng của lực ma sát và giảm độ dốc sườn nên chân khối trượt thường bị biến dạng đôi khi gần giống uốn nếp.
- *Đỉnh khối trượt* là nơi cao nhất có biểu hiện dịch chuyển của khối trượt, tiếp giáp với vị trí cao nhất trên vách trượt chính, xung quanh xuất hiện các khe nứt tách kéo dài hoặc dạng vòng cung.
- *Vách trượt* là phần trên của khối trượt lộ ra cho thấy một phần bề mặt phân cách giữa phần thân khối trượt bị dịch chuyển với bề mặt đất đá ổn định, do mức độ dịch chuyển khác nhau nên vách trượt tạo thành nhiều bậc trên bề mặt khối trượt, vách trượt ở trên cao nhất là vách trượt chính, các vách trượt nối tiếp bên dưới là vách trượt thứ cấp.
- *Thân khối trượt* là phần đất đá được giới hạn bởi đỉnh và chân khối trượt. Bề mặt thân khối trượt thường không bằng phẳng ảnh có dạng gồ ghề gợn sóng do sự dịch chuyển của đất đá. Tại thân trượt thường có những thảm thực vật bị chia cắt và có hiện tượng cây nghiêng ngã. Do đất đá dịch chuyển trở nên tơi xốp hơn nên trên thân trượt thường xuất hiện các vũng đọng nước.
- *Chiều cao khối trượt* là khoảng chênh cao giữa cao độ đỉnh khối trượt so với cao độ chân khối trượt.
- *Chiều sâu mặt trượt* là chiều sâu lớn nhất tính từ bề mặt đất ban đầu xuống tới mặt trượt của KTL.
- *Phạm vi lắng đọng vật liệu* là khu vực mà vật liệu đất đá di chuyển từ trên cao xuống vùng dưới thấp và lắng đọng tại đó, làm nâng cao bề mặt địa hình hơn so với ban đầu. Phạm vi tính từ đỉnh khối trượt đến điểm xa nhất mà vật liệu đất đá di chuyển tới được gọi là phạm vi ảnh hưởng của KTL. Góc giữa đường nối đỉnh KTL đến điểm xa nhất mà vật liệu trượt lắng đọng lại hợp với phương ngang được gọi là góc Fahrboschung.
- *Phạm vi mất ổn định* là khu vực sườn dốc được giới hạn từ đỉnh đến chân khối trượt, hai bên là vách trượt, trên bề mặt địa hình bị biến đổi do dịch chuyển có xu hướng làm hạ thấp bề mặt địa hình hơn so với ban đầu.



Hình 1. 2. Sơ đồ mô tả đặc điểm nhận diện chung của KTL

- Ước lượng thể tích khối trượt: Jaboyedoff & nk (2020) [9] đã đưa ra khuyến nghị về thể tích của KTL nên sử dụng công thức như sau:

$$V = \frac{\pi}{6} D \times W \times L$$

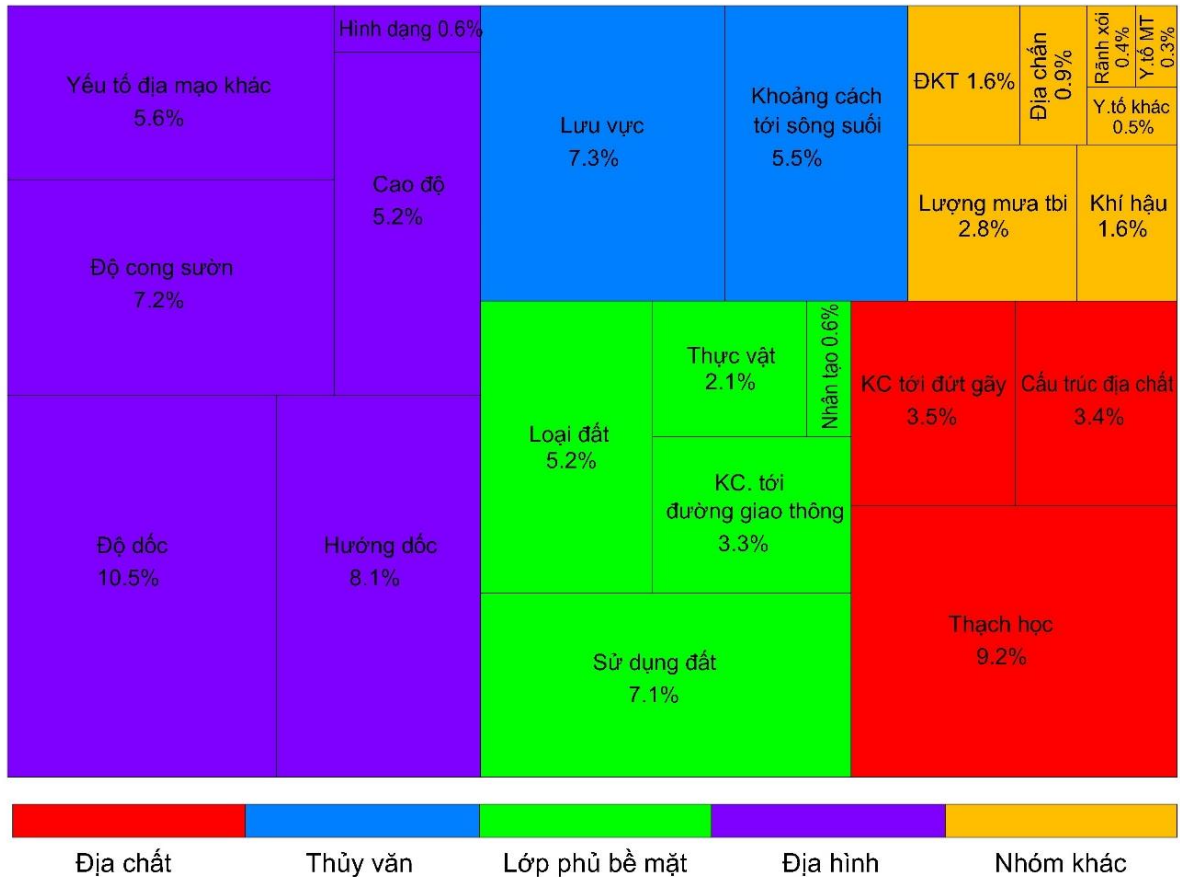
Trong đó: V: Thể tích của khối trượt đất đá, D: Chiều sâu lớn nhất tính từ bề mặt đến độ sâu mặt trượt, W: Chiều rộng lớn nhất của khối trượt, L: Chiều dài khối trượt.

b./ Các yếu tố hình thành KTL

Các nhóm nghiên cứu tại khu vực Nam Mỹ tập trung phân tích chi tiết đặc điểm động lực của từng KTL đã cho thấy sự hình thành KTL liên quan đến cấu trúc địa chất phức tạp [10, 11, 12]. Các nghiên cứu này đều khẳng định hoạt động kiến tạo và thành phần thạch học là những yếu tố đầu tiên tạo nên cấu trúc đặc biệt và thể tích đủ lớn để hình thành KTL. Khi phân tích khu vực miền đông dãy Alps, Agliardi & nk (2001) [13] đã chứng minh các yếu tố hình thành KTL ở đây hội tụ bởi 3 yếu tố: cấu trúc địa chất, đặc điểm địa mạo và cơ học đất đá. Yếu tố địa mạo được mô tả theo 6 đặc điểm đặc trưng: hai gò sóng đôi, vách sụt đỉnh, vách sụt song song, rãnh sụt mở, rãnh sụt tách giãn, và tổng hợp nhiều loại vách sụt. Yếu tố địa chất thể hiện ở sự phân bố mạng lưới các đứt gãy có hướng phát triển chủ đạo cắt ngang hướng sườn dốc.

Việc lựa chọn các yếu tố hình thành trong nghiên cứu theo diện chưa có quy định chuẩn mực. Các yếu tố hình thành phụ thuộc vào nguồn số liệu sẵn có và khả

năng thu thập bổ sung thêm của nhà khoa học [14]. Hầu hết các nghiên cứu đều hướng đến sử dụng nhiều nhất có thể các yếu tố trong nhóm yếu tố hình thành: địa hình, địa chất, thủy văn, sử dụng đất và các loại khác (hình 1.3).



Hình 1. 3. Các yếu tố hình thành thường được sử dụng trong phân tích, đánh giá nguy cơ hình thành trượt đất đá

c./ Các yếu tố kích hoạt

Tại hội nghị quốc tế về trượt đất đá lần thứ 6 tổ chức tại NewZealand, một số nhà khoa học đã tổng hợp và phân tích các trường hợp TKL ở khu vực Nam Mỹ. Qua phân tích 23 trường hợp TKL, các nhà khoa học đã chỉ ra có 7 nguyên nhân chính thúc đẩy động lực khởi trượt phát triển gồm: mưa lớn và kéo dài; động đất; xói mòn sườn dốc trong thời gian dài; vỡ đập tự nhiên; núi lửa hoạt động; băng tan; áp lực dòng thấm từ hồ nhân tạo [15]. Khi tiến hành nghiên cứu chi tiết cho từng KTL, một số tác giả còn phân tích ảnh hưởng của dao động mực nước ngầm và khẳng định rằng đây cũng chính là một yếu tố kích hoạt. Bên cạnh đó, các nước châu Á Thái Bình Dương nằm trên đới xung yếu của vỏ trái đất, thường xuyên chịu ảnh hưởng của động đất và núi lửa phun trào. Do đó, có khá nhiều công trình nghiên cứu nhắc tới ảnh hưởng của diễn biến của động đất và dẫn chứng nhiều trường hợp có diễn biến bất thường và khó dự đoán. Đây là điểm khác biệt lớn cần cân nhắc xem xét trong điều kiện địa chất của MNPB.

Đứng trên quan điểm nghiên cứu trượt đất đá là khoa học đa ngành, yếu tố kích hoạt còn là những tác động của con người (thay đổi độ dốc sườn, điều chỉnh dòng chảy tự nhiên, gia tăng áp lực lên sườn dốc, sản xuất nông lâm nghiệp). Tác động của con người được gia tăng hơn khi kết hợp với các yếu tố kích hoạt từ tự nhiên [16]. Đặc biệt, KTL xuất hiện nhiều hơn khi có tác động của con người vào môi trường tự nhiên được khẳng định trong các nghiên cứu tại khu vực hồ thủy điện Tam Hiệp – Trung Quốc [17].

d./ Các giai đoạn phát triển

Theo **Lômtadze (1979) [6]**, khi hội tụ đầy đủ các điều kiện địa chất tự nhiên thuận lợi và tác dụng của các lực cắt được gia tăng thì việc chuẩn bị phá hủy cân bằng của KTL sẽ được bắt đầu. Khi đó, quá trình dịch chuyển khối trượt là không thể tránh khỏi và trạng thái cân bằng mới sẽ lại được thiết lập. Tóm lại, động lực phát triển của một khối trượt có thể phân chia ra làm 3 giai đoạn: (1) giai đoạn chuẩn bị trượt là giai đoạn giảm dần độ ổn định của khối đất đá (2) giai đoạn thành tạo trượt thực thụ, cường độ ổn định của đất mái dốc đi tương đối nhanh và rất đột ngột (3) giai đoạn tồn tại – giai đoạn ổn định trượt, lập lại ổn định của khối đất đá.

Nghiên cứu các quá trình địa cơ học, các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL thúc đẩy hiện tượng dịch chuyển từ giai đoạn này sang giai đoạn khác, quyết định đến mức độ dịch chuyển và thời gian xảy ra. Hướng tư duy này giúp giải thích rõ hơn quá trình dịch chuyển TKL theo kiểu trượt chậm và KTL được mở rộng nhiều lần liên tiếp. Nhiều công trình nghiên cứu cũng đã giải thích sự hình thành của các KTL trượt chậm hay KTL bị kích hoạt lại. Tổng hợp lại, **Leroueil (2001) [18]** đã giải thích chi tiết về 4 giai đoạn dịch chuyển của KTL như sau:

- *Giai đoạn tiền mất ổn định*: bao gồm tất cả các quá trình biến dạng dẫn đến mất ổn định, được kiểm soát chủ yếu bởi các biến dạng do thay đổi ứng suất, từ biến và gia tăng mất ổn định.
- *Bắt đầu mất ổn định*: được đặc trưng bởi sự hình thành của một bề mặt trượt liên tục trong thân khối trượt.
- *Giai đoạn sau khi mất ổn định*: bao gồm sự di chuyển của KTL từ ban đầu cho đến khi nó thực sự dừng lại, được đặc trưng bởi sự gia tăng rất nhanh của tốc độ dịch chuyển rồi sau đó giảm đột ngột.
- *Giai đoạn kích hoạt lại*: khi một khối trượt được mở rộng thêm từ những mặt trượt đã có sẵn.

1.1.2. Phương pháp khảo sát hiện trạng

a./ Phương pháp đo vẽ, khảo sát truyền thống

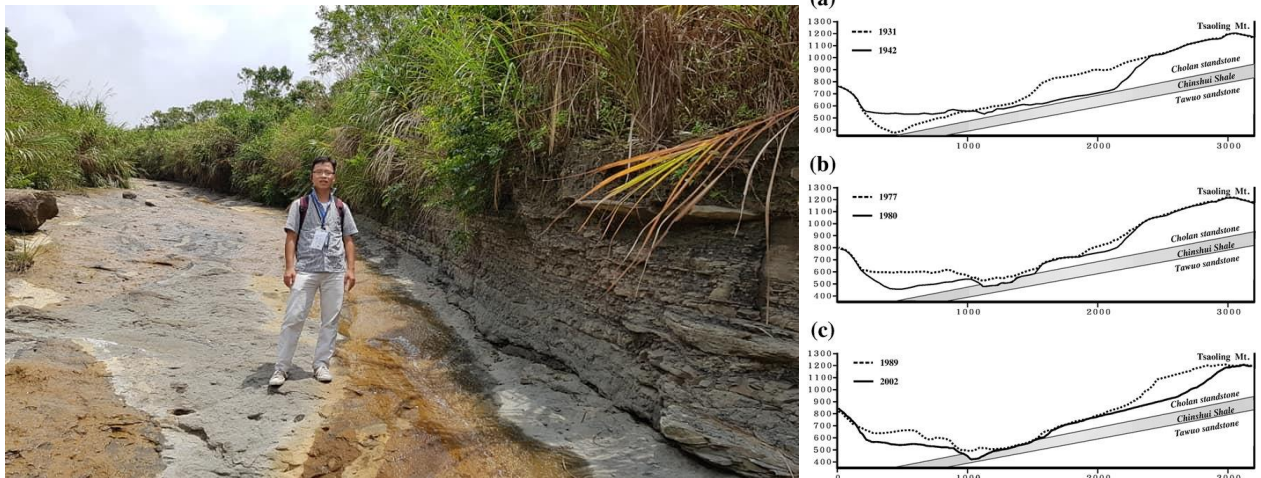
Lịch sử nghiên cứu trượt đất đá ghi nhận Barry Voight là người đã đặt những viên gạch đầu tiên nghiên cứu mô tả đặc điểm của KTL. Từ năm 1978, ông ghi chép diễn biến một số vụ TKL tại khu vực Bắc Mỹ. Từ đó đến năm 1990, các nước phát triển ở Châu Âu, Mỹ đều đã có những nghiên cứu cơ bản về KTL. Cách tiếp cận chủ yếu hướng vào đánh giá quan hệ giữa đặc điểm địa chất – địa mạo, quan hệ giữa thành phần thạch học với tốc độ dịch chuyển của KTL; quan hệ giữa cấu trúc khe nứt trong đá gốc với độ sâu hình thành mặt trượt; quan hệ giữa lượng mưa với thời điểm trượt xảy ra; quan hệ giữa đặc điểm địa hình với cấu trúc thung lũng để xác định hình dạng khối vật liệu lắng đọng; quan hệ giữa đặc điểm địa chất địa hình với góc Fahrboschung của khối trượt. Nhìn chung, phương pháp đo vẽ địa chất truyền thống giúp giải thích rõ diễn biến phát triển của KTL tại từng điểm nhất định.

Nhật Bản là quốc gia phát triển có nhiều nghiên cứu cơ bản nhằm PCTT trượt đất đá được áp dụng vào thực tiễn. Điều này được khẳng định qua nhiều công trình đã công bố trên diễn đàn của ICL. Quy trình khảo sát trượt đất đá chi tiết được quy định cụ thể trong tài liệu hướng dẫn [19]. Phương pháp khảo sát cấu trúc địa chất tại KTL bằng công nghệ khoan nòng ba cho tỷ lệ mẫu nòn khoan cao, kết hợp với số liệu khảo sát địa vật lý giúp dễ dàng nhận định chiều sâu mặt trượt, quan trắc mực nước ngầm và áp lực nước lỗ rỗng giữa các tầng chứa nước. Các số liệu khảo sát phục vụ nghiên cứu trượt đất đá được kế thừa và tiếp nối tạo thành hệ CSDL rất tốt.

b./ Phương pháp giải đoán ảnh viễn thám

Để xây dựng bản đồ hiện trạng KTL ở khu vực Osco, phía nam Thụy Sĩ, **Strozzi & nk (2013) [20]** đã tổng hợp 205 bộ ảnh chụp máy bay trong vòng 50 năm. Dựa vào ảnh chụp qua thời gian dài, KTL được xác định và phân loại theo khối trượt đang dịch chuyển và khối trượt tiềm năng. Vách trượt chính của KTL được nhận diện cho thấy phạm vi của KTL được hình thành từ rất nhiều vách trượt khác nhau và do đó có thể hình thành những mặt trượt khác nhau phụ thuộc vào từng mức độ quy mô. Lúc này, bản đồ hiện trạng KTL có thể chỉ ra các cấu trúc chính của KTL như: vách trượt, thân khối trượt, và phạm vi tích tụ. Với công nghệ chụp ảnh nhiều thời kỳ bằng UAV, **Chen (2016) [21]** đã làm rõ quá trình mở rộng vách trượt tại KTL Tsaoiling – Đài Loan trong nhiều năm, được ghi nhận chi tiết từ 1931 đến 2002 (**hình 1.4**). Kết quả khảo sát bằng ảnh chụp cho phép đánh giá tốc độ mở rộng vách trượt của khối trượt, kết quả định lượng cho thấy phân tích tương quan với tốc độ xói mòn bề mặt của khu vực xung quanh. Tốc độ xói mòn bề mặt rất cao ở quy mô cục bộ (0,01

km³/năm) trong phạm vi KTL và tăng mạnh hơn khi có các hoạt động động đất diễn ra.



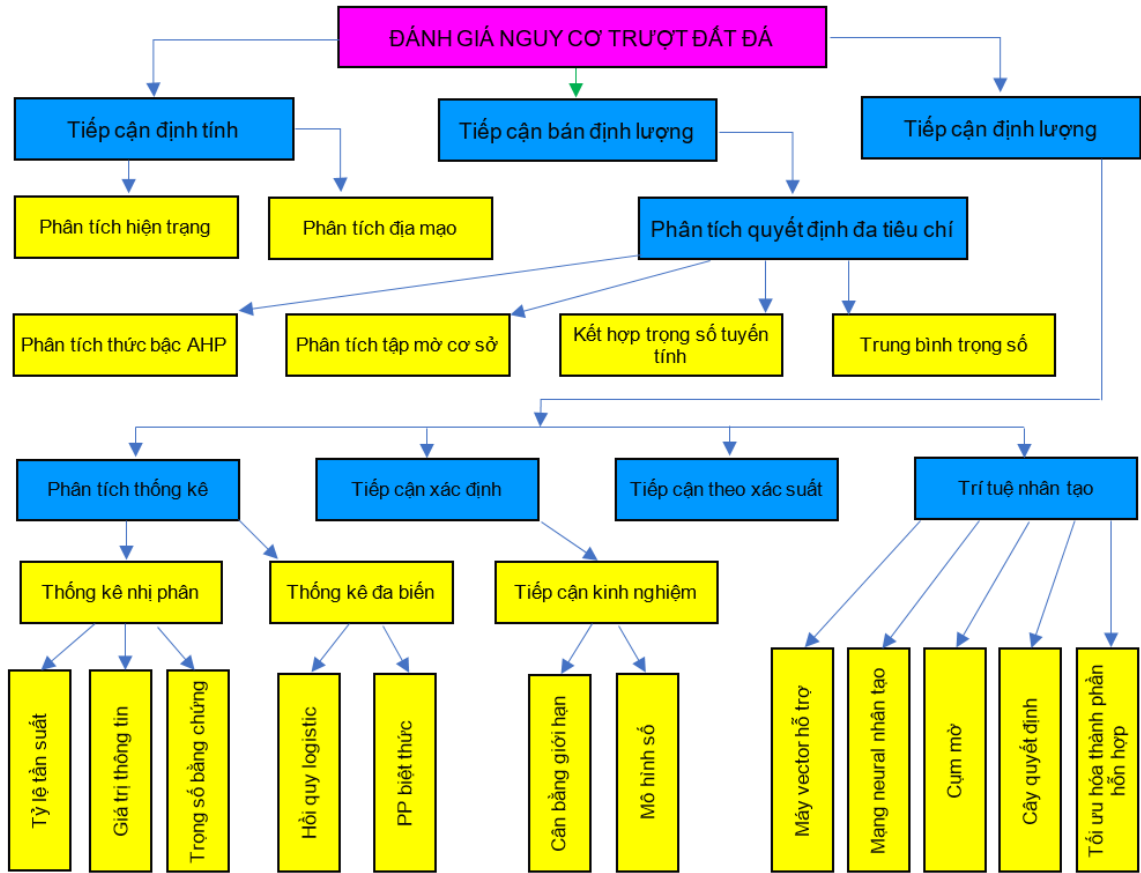
Hình 1. 4. Ảnh chụp mặt trượt của KTL Tsaoiling –phía Tây Nam Đài Loan có chiều dài hơn 2 km, với quá trình mở rộng được ghi nhận nhiều lần từ 1931 đến 2002

1.1.3. Thành lập bản đồ nguy cơ hình thành

Lập bản đồ nguy cơ hình thành trượt đất đá là sự phân chia không gian thành các khu vực có khả năng xảy ra trượt đất đá khác nhau. Để đánh giá nguy cơ hình thành trượt đất đá, có rất nhiều phương pháp và kỹ thuật đã được đề xuất, bao gồm đánh giá hiện trạng, phân tích địa mạo, phân tích quyết định đa tiêu chí, phương pháp thống kê, phương pháp xác suất, phương pháp học máy... [22, 23] và Leulalem Shano & nnk (2020) [24] đã tổng hợp theo 3 cách tiếp cận chính (hình 1.5). Trong thời gian gần đây, các phương pháp tiếp cận định lượng được sử dụng rộng rãi và chiếm ưu thế về số lượng hơn trong các công trình nghiên cứu đánh giá nguy cơ hình thành trượt đất đá nhờ có sự hỗ trợ của máy tính và công cụ viễn thám.

Một giả định cơ bản được áp dụng trong hầu hết các nghiên cứu: Sự kết hợp của các yếu tố hình thành hiện tượng trượt trong quá khứ ở một khu vực sẽ tái diễn ở các khu vực khác nếu có các yếu tố hình thành tương đồng. Đây chính là tiền đề để có thể dự kiến xác suất sẽ xảy ra trượt đất đá trong tương lai [25]. Phương pháp đánh giá nguy cơ hình thành trượt đất đá phụ thuộc vào mục đích điều tra, phạm vi khu vực được bao phủ, loại đơn vị bản đồ, tỷ lệ bản đồ được tạo ra, loại dữ liệu sẽ được sử dụng, loại trượt đất đá, nguồn lực sẵn có, khả năng và kỹ năng của một người đánh giá, khả năng tiếp cận của khu vực nghiên cứu, v.v... Hơn nữa, rất khó để đưa ra lựa chọn các yếu tố hình thành trượt đất đá để đánh giá nguy cơ hình thành của hiện tượng. Vì vậy, cần xem xét ảnh hưởng của từng yếu tố hình thành đến hiện tượng và

so sánh kết quả phân tích của một số phương pháp để tìm quy trình phân tích tối ưu nhất.



Hình 1. 5. Sơ đồ tổng hợp các phương pháp đánh giá nguy cơ trượt đất đá

Cụ thể tại Hoa Kỳ, trượt sâu (Deep-Seated landslide) được hiểu như một đối tượng nghiên cứu của KTL với chiều sâu mặt trượt thường nằm trong đới đá phong hóa. Nghiên cứu trượt sâu được thể hiện trên bản đồ nguy cơ hình thành lần đầu tiên được USGS thực hiện tại bang California bằng cách phân loại cường độ đá gốc theo 3 cấp và độ dốc thành 8 cấp để lập bảng ma trận tương quan nguy cơ hình thành KTL với 10 cấp độ [26]. Tuy nhiên cách làm này phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm điều tra khảo sát và số liệu bản đồ ĐCCT chi tiết.

Nhóm các phương pháp theo cách tiếp cận thực nghiệm - xác định thường yêu cầu chất lượng tốt của dữ liệu địa chất và địa kỹ thuật, phù hợp để áp dụng phạm vi nghiên cứu nhỏ và có sẵn nguồn lực để tạo ra dữ liệu địa chất và địa kỹ thuật chất lượng tốt.

Với phạm vi vùng nghiên cứu rộng, mục đích nghiên cứu nhằm phân tích đặc điểm phân bố hiện tượng trượt trong không gian thì phương pháp thống kê là phương pháp đơn giản và dễ áp dụng. Phương pháp thống kê không yêu cầu dữ liệu hiện trạng trượt quá chi tiết mà chỉ yêu cầu dữ liệu điều tra đủ lớn và đảm bảo tính đại diện trong

khu vực nghiên cứu. Có 2 phương pháp thống kê được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu trượt đất đá là hồi quy logistic và thống kê tần suất. Phương pháp phân tích tần suất dựa vào đánh giá chỉ số LSI và cho biết mối tương quan giữa từng loại yếu tố ảnh hưởng trong không gian khu vực nghiên cứu [27, 28]. Ưu điểm của phương pháp này là việc thực hiện khá đơn giản và tốc độ xử lý nhanh nên có thể áp dụng tốt cho những khu vực nghiên cứu có diện tích lớn. Nhược điểm của phương pháp này là cần có bộ dữ liệu đủ lớn và tin cậy. Phương pháp hồi quy logistic cho phép dự đoán hiện tượng trượt đất đá như một biến nhị phân, biến số đại diện cho sự xuất hiện hay không xuất hiện hiện tượng trượt đất đá. Kết quả phân tích cho biết khả năng xuất hiện hiện tượng trượt đất đá được coi là biến mục tiêu của mô hình phân tích. Phương pháp này yêu cầu các yếu tố hình thành hiện tượng trượt đất đá là các biến độc lập. Việc đi tìm khả năng xuất hiện KTL sẽ tương đương việc tìm hàm hồi quy logistic đa biến đơn giản trong toán học thống kê. Vì vậy, trong số các phương pháp thống kê đa biến, hồi quy logistic là phương pháp phổ biến nhất để đánh giá nguy cơ trượt đất đá.

Với nhiều công cụ thống kê toán học và máy tính kết hợp, các phương pháp học máy gần đây được áp dụng rất nhiều trong các phân tích nguy cơ trượt đất đá như: máy vector hỗ trợ, ANN, cây quyết định, mô hình tổng hợp. Phương pháp SVM ban đầu được phát triển như một bộ phân loại nhị phân nhằm mục đích tìm ra một siêu phẳng tuyến tính để phân tách hai lớp một cách tối ưu nên đã được sử dụng để giải các bài toán phân loại và phân tích hồi quy phức tạp trong nghiên cứu về trượt đất đá [29]. Phương pháp ANN biến đổi các yếu tố hình thành từ một không gian đa biến ban đầu sang không gian đa biến mới qua các lớp ẩn nên có thể giải quyết các mối quan hệ phi tuyến tính phức tạp trong nghiên cứu trượt đất đá. Ngoài ra, phương pháp ANN cho phép quản lý dữ liệu không hoàn hảo hoặc không đầy đủ nên rất phù hợp với nghiên cứu trượt đất đá.

Như vậy, phương pháp học máy và thống kê cho kết quả định lượng khách quan, khả năng tái lập trong nghiên cứu cao, có thể giải thích vai trò của các yếu tố đối với sự phát triển của hiện tượng trượt. Phương pháp thống kê hồi quy logistic, phương pháp máy vector hỗ trợ và phương pháp ANN thể hiện tính ưu việt hơn hẳn những phương pháp định lượng khác. Đây là những phương pháp tiên tiến được sử dụng nhiều nhất không chỉ trong các phương pháp đánh giá nguy cơ trượt đất đá nói chung mà còn rất phù hợp với KTL nói riêng [14].

1.1.4. Phân tích mô phỏng

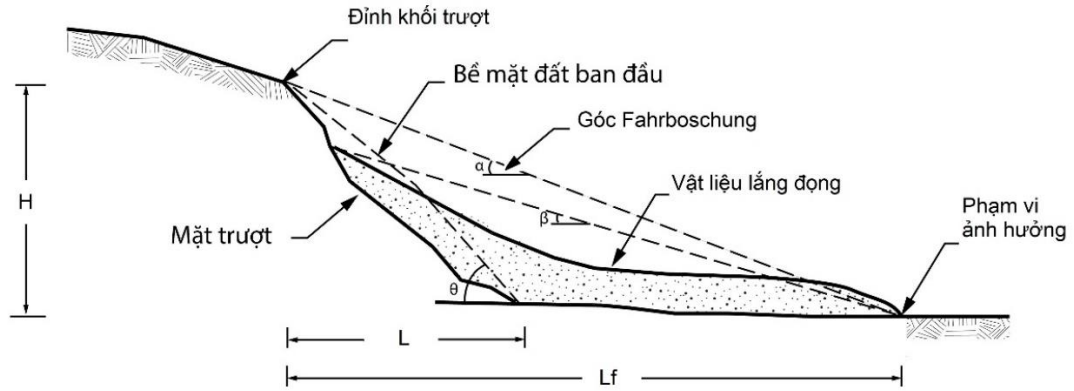
a./ Phân tích mô hình số

Tại châu Âu có rất nhiều nhóm nghiên cứu về trượt đất đá, hướng nghiên cứu vào phát triển công cụ phân tích ổn định của mái dốc. **Crosta & mnk (2002) [30]** sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn 2D để phân tích mức độ ổn định và khả năng dịch chuyển của khối lở đá lớn do tuyết tan. Phân tích này cho thấy mức độ mất ổn định của khối lở đá phát triển theo thời gian rất nhanh do sự thay đổi của áp lực nước lỗ rỗng trong thân khối trượt. Phân tích của **Doug Stead (2013) [31]** đã xem KTL là những khối vật thể đồng nhất đang mất dần khả năng kết nối với phần còn lại của nền đất. Nghiên cứu nhấn mạnh rằng diễn biến các vụ TKL hình thành do tính bất đồng nhất của khối đá, điều kiện địa hình và quan hệ của nước dưới đất. Nghiên cứu trượt sâu còn được chú ý nghiên cứu với những khối trượt cụ thể ở vùng phía Nam Seattle, Washington bằng công cụ phân tích 3D cho thấy việc kết quả phân tích phụ thuộc nhiều vào các nhận định chủ quan người sử dụng [32]. Bên cạnh đó, phân tích mô hình số trượt đất đá còn được hỗ trợ bởi rất nhiều phần mềm thương mại quen thuộc như: Titan, Charm, RockScience, Plaxis, Abaqus, GEOSTudio.

b./ Mô phỏng phạm vi ảnh hưởng

Trong lịch sử nghiên cứu phạm vi ảnh hưởng của khối trượt, các phương pháp đơn giản được phát triển trước tiên cho các sự kiện TKL trên đá bằng việc đánh giá quan hệ giữa góc Fahrboschung với các đặc điểm hình dạng của khối trượt (**hình 1.6**). **Heim (1932)** là người đầu tiên chỉ ra góc Fahrboschung tỷ lệ thuận với thể tích đất đá trượt xa. Từ sau đó, hàng loạt nghiên cứu về khoảng phạm vi ảnh hưởng tiếp cận theo hướng thống kê chỉ ra rằng khoảng phạm vi ảnh hưởng của khối trượt phụ thuộc vào nhiều yếu tố (thành phần thạch học, góc dốc của sườn dốc, thể tích khối trượt, kiểu trượt) nhưng thể tích khối trượt vẫn là yếu tố có tương quan rõ nhất [33, 34].

Ban đầu, với giả thuyết quá trình dịch chuyển của khối trượt như một dòng chất lỏng, **Oldrich Hungr (1995) [35]** đã áp dụng trong tính toán các KTL dạng dòng chảy do nguyên nhân lở tuyết. Hướng nghiên cứu này đã phát triển nhiều ứng dụng nhằm giải quyết bài toán động lực học của KTL, trong đó nổi bật nhất hiện nay là phần mềm LS-Rapid. Giả thuyết KTL là một thể hạt rời, một nhóm gồm nhiều thành viên từ các trường đại học đã hợp tác trong một chương trình mang tên Anura3D, nhằm mô hình hóa quá trình dịch chuyển KTL qua mối quan hệ giữa cấu trúc đất và nước ngầm. Tuy nhiên, để thực hiện các phương pháp phân tích đòi hỏi nhiều tính chất đặc biệt của đất đá nên mô hình này ít được kiểm chứng thực tế.



Hình 1. 6. Sơ đồ minh họa phạm vi ảnh hưởng và các quan hệ hình học của KTL

c./ Phương pháp mô hình vật lý

Để mô phỏng quá trình mất ổn định của KTL dưới tác dụng của mưa, **Moriwaki & mnk (2004) [36]** đã thiết kế một dụng cụ thí nghiệm dạng máng trượt kết hợp với dàn mưa nhân tạo để mô phỏng quá trình trượt. Trên đó, các cảm biến và máy ảnh kỹ thuật số ghi lại liên tục diễn biến quá trình mất ổn định trượt và sự dao động của áp lực nước lỗ rỗng. Quan sát liên tục cho thấy diễn biến dịch chuyển bề mặt của khối trượt phát triển theo thời gian. Sự gia tăng nhanh áp lực nước lỗ rỗng ở phần sườn dốc phía trên là do phá hủy cấu trúc đất rời trong quá trình trượt tịnh tiến, trong khi phần phía dưới của sườn dốc là do sự kết hợp giữa ứng suất pháp và ứng suất tiếp trong đất. Phương pháp này đòi hỏi máy móc thiết bị hiện đại, công tác chế bị mẫu đất trên sườn dốc mất nhiều thời gian và công sức.

1.1.5. Quan trắc và cảnh báo nguy cơ dịch chuyển của KTL

Trên thế giới, các hệ thống cảnh báo sớm trượt đất đá thường được áp dụng cho các KTL. Dựa vào phương thức làm việc của cảm biến, hệ thống quan trắc KTL được chia theo 3 nhóm chính: nhóm các công nghệ quan trắc mặt đất, nhóm các công nghệ địa kỹ thuật và địa vật lý, nhóm công nghệ viễn thám. Tổng hợp 21 hệ thống quan trắc ở các nước châu Âu hiện nay, các thông số quan trắc thường được ghi đo là lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, độ ẩm đất, dịch chuyển ngang trong hố khoan, dịch chuyển bề mặt, mực nước ngầm [37].

Rất nhiều công nghệ quan trắc KTL hiện đại đã được các nhà khoa học địa chất Trung Quốc lắp đặt ở khu vực núi Longjingwan thuộc huyện Khai Dương, tỉnh Quý Châu, Trung Quốc. Đáng chú ý, có 3 hệ cảm biến không dây được lắp trên khối trượt: cảm biến đo mưa, cảm biến đo dịch chuyển ngang hố khoan và cảm biến đo áp lực nước lỗ rỗng. Toàn bộ dữ liệu giám sát khác nhau có thể được truyền qua việc truyền

dữ liệu từ xa bằng dịch vụ vô tuyến gói tổng hợp -GPRS. Kết quả phân tích cho thấy tương quan rõ rệt giữa số liệu mưa và những dịch chuyển của KTL này.

Gần đây, công nghệ radar giao thoa khẩu độ tổng hợp, được thực hiện thông qua cảm biến từ vệ tinh hoặc mốc mặt đất, đã chứng minh khả năng đánh giá các trường chuyển vị mặt đất trên các khu vực rộng [38]. Đặc biệt, nó cho phép phát hiện các dịch chuyển bề mặt với độ chính xác cao. Nhiều thử nghiệm công nghệ quan trắc này được tiến hành trong khuôn khổ chương trình nghiên cứu được tài trợ bởi Cơ quan Vũ trụ Italia và Hội đồng Nghiên cứu Quốc gia Italia. Các kỹ thuật mới đã thử nghiệm tại các KTL khác nhau như ở tu viện thánh Scholastica tại Subiaco và KTL Calatabiano tại tỉnh Catania, Italia (hình 1.7).



Hình 1. 7. Hệ thống quan trắc bằng công nghệ T-InSar theo dõi KTL dưới chân tu viện thánh Scholastica tại Subiaco, Italia

1.1.6. Giải pháp phòng, chống và giảm nhẹ thiệt hại

Giải pháp công trình áp dụng để xử lý KTL đòi hỏi cần có kinh phí đủ lớn để xử lý triệt để là một trong những khó khăn lớn nhất. Tùy thuộc vào quy mô và đặc điểm KTL, những biện pháp được áp dụng thường hướng tới khả năng thoát nước trong thân khối trượt. Trong đó, sử dụng hệ thống kênh thoát nước bề mặt bằng bê tông và dùng giếng đứng giảm áp lực nước ngầm đã được thi công tại Nhật Bản và Đài Loan cho kết quả thực tiễn rất hữu ích (hình 1.8).

Ngoài các thành tựu như trên, Đài Loan đã khá thành công khi đưa công nghệ phòng chống thiên tai tiến tới gần gũi hơn với người dân những khu vực nguy cơ cao. Cộng đồng từng phải chịu ảnh hưởng của KTL đã biến nơi nguy hiểm thành nơi có khả năng làm du lịch ngay trên những di tích còn sót lại như ở khu tưởng niệm KTL tại làng Shaolin- Kaohsiung; khu chứng tích KTL Chiu Feng Erh Shan, Nam Đài. Cộng đồng lấy các bài học kinh nghiệm từ thực tế thảm họa KTL gây ra để kể lại cho khách đến tham quan và trở thành điểm đặc sắc của chuyến du lịch. Mô hình này giờ đây đã phổ biến ở nhiều nơi trên thế giới như: Khu tưởng niệm KTL Thredbo – Úc,

Khu tưởng niệm KTL Oso – Úc, Khu tưởng niệm Unzen – Nhật Bản. Cộng đồng còn trực tiếp tham gia vận hành hệ thống quan trắc cảnh báo sớm tại KTL.



Hình 1. 8. Giải pháp thoát nước bề mặt (a) và sử dụng giếng đứng giảm áp lực nước (b) trên KTL tại Nhật Bản

1.2. Trong nước

Trượt đất đá ở nước ta là một chủ đề hấp dẫn với rất nhiều nhà khoa học. Lịch sử nghiên cứu trượt đất đá trong nước đã được triển khai từ trước năm 1990 đến nay ở nhiều cơ quan: Viện Địa chất- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; Viện Địa lý; Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản; Viện Khoa học Giao thông Vận tải; Công ty cổ phần Tư vấn Điện I; Viện Khoa học Thủy lợi; Trường Đại học Mỏ Địa chất; Trường Đại học Giao thông Vận tải... Các đề tài nghiên cứu đều coi việc nghiên cứu KTL như một đối tượng trọng tâm nghiên cứu với các diễn biến rất phức tạp, ảnh hưởng tới nhiều mặt của cuộc sống. Tổng hợp các nghiên cứu về KTL trong nước cho thấy một số kết quả nghiên cứu nổi bật như sau:

1.2.1. Phương pháp khảo sát trượt đất, đá a./ Phương pháp đo vẽ địa chất truyền thống

KTL ở trong nước đã được bắt đầu đo vẽ từ rất sớm, khi xây dựng các công trình quan trọng, khai thác mỏ, xây dựng khu tái định cư cho đồng bào dân tộc thiểu số ở miền núi do **Nguyễn Thanh, Hồ Chát** thực hiện từ trước những năm 1990. Từ sau năm 1990, nghiên cứu KTL được quan tâm hơn khi có nhiều KTL xuất hiện trong các khu đô thị và trên đường giao thông đe dọa trực tiếp tới an toàn của người dân. Từ đây dần hình thành và hoàn thiện cách tiếp cận truyền thống (phân tích quan hệ giữa hiện trạng - địa chất – địa hình) trong nghiên cứu KTL qua các công trình nghiên cứu tại thành phố Sơn La, nghiên cứu phòng chống hiện tượng nứt - trượt tại khu vực đồi Khau Cả và đồi Khí Tượng, đề xuất biện pháp phòng chống và xử lý nứt - trượt ở thành phố Sơn La, nghiên cứu và dự báo diễn biến nứt trượt đất Đồi Ông tượng

[39]. Hầu hết các nghiên cứu chủ yếu tập trung mô tả hiện trạng, đánh giá mức độ thiệt hại dựa trên mối quan hệ với các đặc điểm cấu trúc địa chất- địa hình [40, 41, 42, 43]. Kết quả nghiên cứu về các KTL chỉ ra mối quan hệ chặt chẽ giữa cấu tạo địa chất, đới hoạt động của đứt gãy với khả năng trượt đất đá của các điểm trượt. Những nơi cấu trúc địa chất bị xóa, thì khả năng trượt đất đá sẽ bị chi phối bởi các yếu tố trọng lực [44, 45].

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu lại tập trung theo hướng phân tích các ảnh hưởng do quá trình thi công thay đổi độ dốc của mái dốc tự nhiên hoặc do quá trình thi công chưa đảm bảo nên dẫn đến TKL [46, 47, 48, 49]. Hướng nghiên cứu này cho thấy yếu tố ảnh hưởng tới ổn định KTL là do chủ quan của con người. Số liệu thống kê KTL cho thấy số lượng điểm trượt xuất hiện phần lớn ở các vách sườn nhân tạo, vách taluy đường giao thông (chiếm 85%), một số ít xảy ra trên các sườn tự nhiên (chiếm 15%). Chỉ số này khẳng định ảnh hưởng rõ ràng của hoạt động nhân sinh đối với sự hình thành và phát triển của KTL.

Để đưa ra nhận định chính xác về độ sâu mặt trượt khi khoan khảo sát, các chuyên gia Nhật Bản phối hợp với Viện Khoa học và Công nghệ Giao thông vận tải đã áp dụng công nghệ khoan xoay lấy lõi kết hợp màng và dung dịch polyme của Nhật khi khảo sát KTL trên đèo Hải Vân trong khuôn khổ dự án của JICA phối hợp với ITST tại Việt Nam. Kết quả mẫu nôn khoan được xếp vào khay mẫu giúp nhận định rõ ràng ranh giới địa tầng các lớp đất đá và xác định vị trí mặt trượt trên thực tế.

b./ Khảo sát thực địa kết hợp với công nghệ viễn thám

Đề án "Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt đất đá các vùng miền núi Việt Nam" do TS. Lê Quốc Hùng triển khai đã kết hợp viễn thám với khảo sát thực địa để xây dựng bộ CSDL hiện trạng trượt đất đá cho 15 tỉnh MNPB. Khoảng 76% các điểm trượt nằm ở các khu vực không thể tiếp cận và chỉ 24% các điểm trượt nằm ở các khu vực có thể tiếp cận. Bên cạnh đó, có 65% các điểm trượt đang vẫn còn nguy cơ trượt tại thời điểm khảo sát. Mặc dù vẫn còn một số hạn chế về phân loại khối trượt, kích thước và nguyên nhân mất ổn định nhưng đây vẫn là bộ CSDL phong phú và có tính thống nhất cho toàn khu vực MNPB nhất từ trước tới nay.

KTL thường nằm ở các khu vực có địa hình phức tạp, đan xen nhiều loại hình sản xuất – sinh hoạt, diện tích rộng nên trên đó có thể tồn tại nhiều loại hình thảm thực vật. Trước năm 2010, các công nghệ chụp ảnh viễn thám gặp rất nhiều khó khăn trong việc nhận diện và phân tách các đối tượng nằm trên KTL. Thời điểm diễn ra tai biến thường là thời gian có diễn biến khí hậu phức tạp nên công cụ viễn thám không thể xác định rõ đối tượng thiên tai khi đó. Gần đây, đề tài VT/UD-03/13-15 [50] đã áp dụng thành

công phương pháp viễn thám trong nghiên cứu tai biến địa chất khu vực Tây Bắc Việt Nam. Tuy nhiên, đề tài chưa có điều kiện thực hiện các giám sát, quan trắc đa thời gian bằng công nghệ viễn thám.

Trong phạm vi đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.CN-23/17. “Nghiên cứu dự báo nguy cơ tai biến trượt lở mái dốc dọc các tuyến giao thông trọng điểm miền núi tỉnh Quảng Nam và đề xuất giải pháp ứng phó” đã tiến hành khảo sát và đánh giá rất nhiều KTL xuất hiện do mưa lớn dọc các tuyến đường giao thông. Áp dụng kết hợp các công nghệ khảo sát mới nhất hiện nay (UAV, đo khoảng cách bằng ống kính laser, đánh giá mật độ khe nứt và đánh giá bằng biểu đồ Markland, thí nghiệm cắt xoay), đề tài đã chỉ rõ phạm vi ảnh hưởng và mức độ tàn phá của KTL. Ngoài những dẫn chứng cụ thể về khả năng tạo ra động năng lớn làm gia tăng ảnh hưởng tàn phá của dòng bùn đá như tại khối trượt đường ĐT619, đường QL40B và đường HCM, nhóm nghiên cứu còn chỉ ra hiện tượng TKL tạo ra sóng “thần” trên sông Trường làm phá hủy 3 ngôi nhà và 1 người thiệt mạng (hình 1.11) [51].



Hình 1. 9. Kết quả mô tả phạm vi ảnh hưởng và mô hình số bề mặt KTL gây sóng thần trên sông Trường tại Quảng Nam

1.2.2. Thành lập bản đồ nguy cơ hình thành trượt đất đá

Viện Địa chất thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam trong nhiều năm qua đã thực hiện nhiều đề tài, dự án nghiên cứu tai biến trượt đất trên các phạm vi từ tỉnh đến toàn quốc. Các công trình nghiên cứu về trượt đất đá cấp nhà nước của Viện đã thực hiện có thể kể ra như [52, 53, 54, 55, 56]. Kết quả các nghiên cứu này hướng đến mục đích phân vùng quy hoạch và sử dụng hợp lý lãnh thổ. Gần

đây, Nguyễn Quốc Thành (2015) [57] đã đưa ra hệ thống bản đồ cảnh báo thiên tai phần đất liền trong đó có bản đồ cảnh báo thiên tai trượt lở. Kết quả nghiên cứu bước đầu đã đạt được những thành tựu đáng kể trong việc thành lập các bản đồ hiện trạng; phân loại các khu vực có nguy cơ trượt với quy mô khác nhau; đánh giá cụ thể tác động của trượt đến các công trình xây dựng quan trọng, các cụm dân cư,...; xác định các yếu tố kích thích tai biến trượt đất, đá; khoanh vùng dự báo nguy cơ tiềm ẩn tai biến và đưa ra những biện pháp trước mắt cũng như lâu dài phục vụ sự phát triển bền vững cho nền kinh tế - xã hội ở nước ta.

Đánh giá nguy cơ trượt đất đá được phân tích bằng nhiều phương pháp, song phương pháp phân tích thứ bậc AHP vẫn thường được sử dụng nhất và đã được áp dụng trong một số nghiên cứu [58, 59, 60]. Gần đây, một số công trình nghiên cứu dựa trên công cụ thống kê và học máy đang được các nhà khoa học trong nước chú ý đến nhiều hơn trong những năm gần đây. Đáng chú ý có thể kể đến công trình của Bùi Tiến Diệu & ntk (2016) [61] đã so sánh 2 phương pháp thống kê (chỉ số thống kê, hồi quy logistic) khi phân tích nguy cơ trượt đất đá ở tỉnh Hòa Bình. Kết quả phân tích cho thấy kết quả dự báo của cả 2 mô hình là tương đương. Tiếp nối nghiên cứu theo hướng này, nhiều nhà khoa học đã so sánh 4 phương pháp học máy (máy vector hỗ trợ, mạng nơron và hồi quy logistic hạt nhân và cây mô hình logistic) áp dụng cho phân tích ở lưu vực thủy điện Sơn La, Mù Cang Chải, dọc quốc lộ 32. Kết quả cho thấy việc áp dụng mô hình nào phụ thuộc vào các kỹ thuật phân tích tối ưu [62, 63, 64].

1.2.3. Phân tích ổn định KTL bằng mô hình số

Các nghiên cứu đánh giá ổn định mái dốc thường dựa vào lý thuyết cân bằng giới hạn được kiểm toán bằng các phương pháp Fellenius, Terzaghi, Tsugaev, Bishop và sau đó là Janbu, Spencer, Morgenstern-Price được áp dụng ở trong nước từ khá sớm. Từ sau năm 2000, với công nghệ tính toán bằng máy tính, các phần mềm tính ổn định mái dốc bắt đầu được áp dụng trong nước như GeoStudio, Plaxis, GEO5 đánh dấu bắt đầu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong tính toán ổn định mái dốc, đặc biệt trong xây dựng và giao thông. Các phần mềm này dần được áp dụng rộng rãi trong kiểm định ổn định mái dốc cho các KTL xuất hiện khi xây dựng công trình phục vụ cho thiết kế ổn định mái dốc (đặc biệt là ở các tuyến cao tốc) [65].

Nghiên cứu KTL theo hướng phân tích ổn định mái dốc được nâng lên một tầm mới khi có những nghiên cứu phân tích ảnh hưởng của mưa và mực nước ngầm trong mái dốc [66, 67, 68, 69, 70]. Trong đó, Đỗ Minh Đức & ntk (2013 và 2018) [71, 72] đã nhận định ảnh hưởng của mưa tới hiện tượng TKL và phân tích đưa ra các ngưỡng

mưa gây trượt. Gần đây, [Đoàn Huy Lợi & nnk \(2017\) \[73\]](#) đã áp dụng lý thuyết về phân tử chất lỏng để phân tích phạm vi ảnh hưởng của KTL do mưa lớn..

1.2.4. Quan trắc và cảnh báo sớm

Ngoài các cách tiếp cận nghiên cứu TKL thông thường như trên, Viện Địa chất đã tiến hành nghiên cứu TKL bằng công nghệ quan trắc từ năm 2005. KTL được tiến hành lắp đặt các thiết bị quan trắc đầu tiên là khu vực đồi ông Tượng, thành phố Hòa Bình. Tại đây, lần đầu tiên bố trí hệ thống quan trắc tự động bằng các loại cảm biến đo dịch chuyển ngang và áp lực nước lỗ rỗng đặt trong hố khoan và có được những nhận định đầu tiên về dịch chuyển tại vị trí mặt trượt [\[74\]](#). Tiếp nối kết quả nghiên cứu này, các nghiên cứu chi tiết KTL Cốc Pài trong phạm vi đề tài cấp nhà nước mã số KC.08.33/06-10 là sự phát triển thêm một bước mới hướng nghiên cứu về KTL [\[75\]](#). Nổi bật nhất là đề tài đã xây dựng được hệ thống quan trắc tự động ở thị trấn Cốc Pài truyền dữ liệu qua đường điện thoại, đưa ra 8 giải pháp phòng tránh và xử lý KTL này.

Dự án phát triển công nghệ đánh giá rủi ro trượt đất đá dọc theo các tuyến đường giao thông chính tại Việt Nam được thực hiện bởi Bộ Giao thông vận tải bước đầu áp dụng một số phương pháp tiên tiến về khảo sát và lắp đặt hệ thống quan trắc KTL trên đèo Hải Vân phục vụ cảnh báo nguy cơ TKL cho tuyến đường sắt Bắc Nam.

Chương trình hợp tác với Naury VINOGEOSRV 07/056 cũng đã triển khai nhiều nội dung nghiên cứu về trượt đất đá, trong đó có nhiều nội dung nghiên cứu tại khu vực XM-HG. Các chuyên gia của Viện Địa kỹ thuật Naury đã cùng với các chuyên gia Việt Nam triển khai khảo sát thực địa tại khu vực XM-HG và bước đầu đã có một số kết quả rất khả quan về hiện trạng trượt tại XM-HG. NCS cũng đã tham gia chương trình, trực tiếp khảo sát, tiến hành lắp đặt trạm quan trắc tự động KTL tại địa bàn XM-HG và xã Tân Nam, huyện Quang Bình.

Ngoài các hướng nghiên cứu kể trên, một số công trình nghiên cứu ứng dụng điện tử viễn thông nhằm phục vụ dự báo nguy cơ trượt cũng bắt đầu được triển khai [\[76\]](#). Kết hợp với công nghệ thông tin, một số nhóm nghiên cứu về văn hóa xã hội cũng đã đóng góp tích cực vào việc đưa ra các thông điệp cảnh báo thiên tai trượt đất đá. Tổng hợp các công nghệ quan trắc KTL hiện có ở trong nước cho thấy chưa có thiết kế kỹ thuật thống nhất ([bảng 1.2](#)).

Bảng 1. 2. Thống kê chủng loại cảm biến và thông số quan trắc của các hệ thống cảnh báo sớm trượt đất đá ở Việt Nam hiện nay

Dự án / Đề tài nghiên cứu	Cảm biến đã sử dụng	Thông số quan trắc
Thử nghiệm công nghệ cảnh báo sớm dịch chuyển KTL Đồi Ông Tượng	- Piezometer - Inclinometer - Thiết bị đo mưa	- Áp lực nước lỗ rỗng - Dịch chuyển ngang - Lượng mưa + nhiệt độ
Hệ thống quan trắc KTL UBND thị trấn Cốc Pài, huyện Xín Mần, Hà Giang mã số KC.08.33/06-10	- Piezometer - Inclinometer - Thiết bị đo mưa	- Áp lực nước lỗ rỗng - Dịch chuyển ngang - Lượng mưa + nhiệt độ
Hệ thống quan trắc trượt lở dọc các tuyến đường giao thông miền núi tỉnh Quảng Nam (Đề tài ĐTDL.CN- 23/17)	- Piezometer - Inclinometer - Thiết bị đo mưa Imetos	- Áp lực nước lỗ rỗng - Dịch chuyển ngang - Lượng mưa + nhiệt độ
Hệ thống quan trắc trượt lở dạng dòng lũ bùn đá (đề tài thử nghiệm TNMT.2019.03.01) áp dụng thử nghiệm tại Sapa – Lào Cai	- Geophone - Ultrasonic đo mực nước - Thiết bị đo mưa imetos - Camera giám sát	- Đo rung động nền đất - Đo mực nước - Lượng mưa + nhiệt độ - Hình ảnh dòng suối
Hệ thống quan trắc trượt lở khối lớn tại Xín Mần – Hà Giang (chương trình VINOGEOSRV 07/056)	- Piezometer - Inclinometer - Thiết bị đo mưa	- Áp lực nước lỗ rỗng - Dịch chuyển ngang - Lượng mưa

1.3. Các vấn đề nghiên cứu

KTL là một đối tượng nghiên cứu phức tạp, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố môi trường tới sự hình thành và phát triển, quá trình phát triển động học có nhiều giai đoạn phát triển khác nhau. KTL là một cấu trúc vừa có quy luật vận động riêng vừa mang đặc điểm hình thành chung với các loại hình trượt đất đá khác. Vậy nên, ý tưởng khoa học mà nghiên cứu hướng tới là giới hạn đối tượng nghiên cứu là KTL, phân tích các yếu tố ảnh hưởng và đánh giá nguy cơ hình thành của KTL ở MNPB, phân tích đặc điểm động học của KTL trong khu vực XM-HG nhằm hướng tới đề xuất cảnh báo sớm tai biến. Tóm lại, một số vấn đề về KTL cần nghiên cứu làm sáng tỏ gồm có 3 khía cạnh:

a./ Về đặc điểm hình thái KTL

Tùy thuộc vào từng mục đích nghiên cứu cần phân loại đối tượng hiện tượng trượt để làm rõ cơ chế hình thành và phát triển thì mới có thể đưa ra biện pháp xử lý phù hợp và giảm thiểu thiệt hại. Nhiều công trình nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy, KTL có đặc điểm hình thành rất riêng, liên quan đến mật thiết đến các điều kiện riêng về địa chất. Hơn nữa, các nghiên cứu về đặc điểm KTL chủ yếu tập trung vào nghiên cứu từng điểm trượt cụ thể mà chưa có nghiên cứu nào hệ thống hóa các đặc điểm hình thành KTL cho khu vực rộng như MNPB. Vậy nên, với điều kiện tự

nhiên phức tạp như ở MNPB, các đặc trưng của KTL cần được hệ thống hóa lại nhằm nhận diện và đặc biệt là những đánh giá mang tính định lượng.

b./ Về nguy cơ hình thành KTL ở MNPB

Các nguồn CSDL không gian mở phục vụ cho mục đích nghiên cứu khoa học hiện nay rất phong phú và tin cậy. Với quy mô diện tích MNPB, phân tích dữ liệu không gian cần có các công cụ bán tự động để khai thác. Công cụ phân tích không gian mã nguồn mở kết hợp với các phần mềm phân tích thống kê chuyên dụng là cách làm phù hợp để nghiên cứu các yếu tố hình thành KTL. Phân tích thống kê dữ liệu đủ lớn cho phép xác định các yếu tố mang tính trội trong việc quyết định sự hình thành KTL ở MNPB.

Các nghiên cứu cho thấy, tùy vào đặc điểm từng kiểu trượt đất đá và tỷ lệ nghiên cứu, các phương pháp phân vùng nguy cơ hình thành có mức độ chính xác khác nhau. Với đặc trưng môi trường tự nhiên và xã hội như MNPB cần làm rõ phương pháp đánh giá nguy cơ hình thành của KTL phù hợp. Với khả năng tái lập trong nghiên cứu, các phương pháp thống kê và học máy hiện là những phương pháp phổ biến trong nghiên cứu trượt đất đá. Tuy nhiên, mô hình nào phù hợp nhất nhằm dự báo nguy cơ hình thành KTL cho MNPB cần được định lượng và phân tích chi tiết.

c./ Về đặc điểm động lực học của hiện tượng TKL

Diễn biến dịch chuyển TKL là một quá trình liên tục kéo dài theo nhiều giai đoạn, với mỗi giai đoạn có tốc độ dịch chuyển của KTL lại không giống nhau và con người khó có thể nhận ra bằng cảm quan. Bên cạnh đó, các công nghệ quan trắc KTL hiện nay có đặc trưng chuỗi số liệu thời gian khác nhau (theo ngày, theo giờ, theo sự kiện), do đó cần tích hợp dữ liệu quan trắc theo thời gian một cách thống nhất thì mới có thể đưa ra dự báo chính xác.

Áp lực nước lỗ rỗng trên sườn dốc ảnh hưởng đến ứng suất có hiệu và là một trong các yếu tố kích hoạt mất ổn định KTL. Vì vậy, số liệu quan trắc áp lực nước lỗ rỗng được xem là đầu vào quan trọng để phân tích ổn định KTL bằng mô hình số. Căn cứ vào số liệu quan trắc tại 2 KTL ở XM-HG, cần đưa ra định lượng cho đặc trưng động lực học KTL.

CHƯƠNG II. CÁCH TIẾP CẬN VÀ HỆ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Cách tiếp cận

2.1.1. Tiếp cận phân tích hệ thống

Tiếp cận hệ thống là phương pháp luận sử dụng để giải quyết những vấn đề thực tế trên cơ sở xem xét xử lý đầy đủ các đặc điểm hệ thống của đối tượng. Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, sự hình thành và phát triển các KTL là quá trình diễn biến phức tạp theo cả không gian và thời gian, nên việc lựa chọn phương pháp tiếp cận hệ thống cho phép khái quát hóa hóa, phân tích và dự báo được sự vận động của KTL. Khi áp dụng phương pháp luận hệ thống vào thực tiễn cần chú ý 4 vấn đề sau của hệ thống [77]:

1. *Tính nhất thể*: phải xét hệ thống được nghiên cứu trong tổng thể các yếu tố tác động đến nó, tức là trong môi trường. Môi trường tác động lên hệ thống và ngược lại, hệ thống cũng tác động đến môi trường, góp phần thay đổi môi trường; sự tác động qua lại đó phải được xét trong không gian và thời gian.

2. *Tính hướng đích của hệ thống*: mọi hệ thống đều có xu hướng tiến đến mục tiêu là một trạng thái ổn định nào đó. Đối với hệ lớn, yêu cầu đặt ra thường là phải giải quyết đúng đắn mối quan hệ giữa mục tiêu chung của toàn hệ với mục tiêu của từng hệ con để đảm bảo cho hệ thống hoạt động hài hòa và phát triển thuận lợi.

3. *Tính trôi*: không thể quan niệm một hệ thống lớn là phép cộng đơn giản của các hệ con với nhau. Theo nguyên lý hệ thống, các tác động là đồng bộ, có phối hợp và tương tác, có những yếu tố chiếm ưu thế, đồng thời có thể tạo nên hiệu quả lớn hơn nhiều so với phép cộng đơn thuần các tác động.

4. *Cấu trúc, hành vi, phân cấp*: cấu trúc là một trong những khái niệm quan trọng nhất của tiếp cận hệ thống. Cấu trúc của hệ thống được đặc trưng bởi quan hệ tương tác giữa các hợp phần của hệ thống.

Các bước tiến hành nghiên cứu quá trình trượt đất đá theo cách tiếp cận phân tích hệ thống bao gồm: mô hình hóa, phân tích và tối ưu hóa. Trong thực tế, ba bước tiến hành này được lặp lại trong chuỗi chu trình liên tiếp.

a./ Mô hình tổng quát của hệ thống nghiên cứu KTL

Trước hết coi quá trình hình thành và phát triển trượt đất đá là một hệ thống. Giả sử U là tập hợp các tác động vào hệ thống và Y là tập hợp các phản ứng của hệ

thống (các phản ứng có ảnh hưởng đến diễn biến của quá trình) khi đó hệ thống được mô tả bằng ánh xạ:

$$F : U \rightarrow Y$$

Trên thực tế, các tác động và phản ứng đều phụ thuộc vào thời gian nên tại mỗi thời điểm t ta có:

$$F(t) : u(t) \rightarrow y(t)$$

Khi nghiên cứu sự hình thành và phát triển trượt đất đá trong không gian X và khoảng thời gian $t_0 \leq t \leq t_s$, với giả thiết đã biết trạng thái ban đầu (ứng với thời điểm t_0) và biết quy luật tác động vào $u(t)$, do đó xác định được trạng thái của hệ thống ở thời điểm t_s , tức là $x(t_s)$. Khi đó, theo Hoàng Tuy (1987) [77], cách thức xây dựng mô hình tổng quát cho hiện tượng TKL dựa vào công thức:

$$x(t_s) = G(x(t_0), u(\cdot), t_0, t_s)$$

Ở đây, $x(t_0)$ là phần tử của không gian trạng thái X , $u(\cdot)$ là phần tử của tập các tác động điều khiển Ω (lấy giá trị trong U là tập hợp các hàm vào chấp nhận được); $t_0, t_s \subset T$ (trục thời gian), còn mỗi giá trị của G là một phần tử của X . Vậy ta có ánh xạ:

$$G : X \times U \times T \times T \rightarrow X$$

Ánh xạ G được gọi là toán tử chuyển trạng thái (state transition operator).

Nếu $u(t) = v(t)$ với mọi $t \in T$ thì $G(x(t_0), u(\cdot), t_0, t_s) = G(x(t_0), v(\cdot), t_0, t_s)$

Có nghĩa là khi đã cho trạng thái ban đầu $x(t_0)$ thì cùng một tác động vào như nhau phải cho những kết quả như nhau.

Trong phạm vi nghiên cứu của luận án, U là tập hợp các hàm đầu vào chấp nhận được (các yếu tố tác động), bao gồm $u_1(x)$, $u_2(x, t)$ và $u_3(x, t)$, trong đó:

- $u_1(x)$ là các yếu tố tự nhiên biến đổi theo không gian, không / rất ít biến đổi theo thời gian;
- $u_2(x)$ là các yếu tố tự nhiên và nhân sinh biến đổi theo không gian và thời gian;
- $u_3(x)$ là các yếu tố tự nhiên biến đổi rất nhanh theo không gian và thời gian.

b./ Phân tích các yếu tố tác động vào hệ thống

Nhiều công trình nghiên cứu về KTL cho thấy, hoạt động nội sinh ảnh hưởng trực tiếp đến sự hình thành KTL là các đới dập vỡ kiến tạo, khu vực có mức độ bất đồng nhất cao về thành phần thạch học. Ảnh hưởng của hoạt động nội sinh xem xét trong không gian rộng thường được phản ánh qua các yếu tố khoảng cách đến đứt gãy và khoảng cách đến ranh giới thạch học. Ảnh hưởng của nhóm yếu tố địa hình có vai trò làm thúc đẩy hiện tượng TKL diễn ra thuận lợi hơn, đồng thời nó ảnh hưởng

đến hầu hết các yếu tố tự nhiên khác. Ảnh hưởng của VPH thường quyết định đến chiều sâu mặt trượt và kiểu trượt đất đá. Mặt khác, các yếu tố kiến tạo, thạch học, địa hình và khí hậu lại ảnh hưởng đến cấu trúc của VPH. Ngoài ra, nhóm yếu tố ngoại sinh và nhân sinh cũng đều có tác động trực tiếp tới sự hình thành của KTL, đồng thời có quan hệ qua lại với nhau. Mưa được xem là yếu tố kích hoạt nhưng với những nghiên cứu xem xét KTL theo diện, lượng mưa trung bình năm được xem xét là yếu tố hình thành. Ảnh hưởng của nhóm yếu tố nhân sinh đến sự hình thành KTL được thể hiện dưới nhiều hình thức khác nhau, phổ biến và rộng nhất là qua yếu tố sử dụng đất và đường giao thông. Như vậy, các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành của KTL trong môi trường tự nhiên có khả năng quan hệ qua lại lẫn nhau và có mức độ biến đổi theo thời gian khá khác nhau (bảng 2.1).

Bảng 2. 1. Bảng phân cấp mức độ biến đổi theo thời gian của các yếu tố ảnh hưởng

Loại	Yếu tố	Mức độ biến đổi theo không gian và thời gian			
		u ₁ (x)	u ₂ (x)		u ₃ (x)
		Rất chậm	Chậm	Nhanh	Rất nhanh
Yếu tố hình thành	Thạch học	√	-	-	-
	Kiến tạo	√	-	-	-
	VPH	√	-	-	-
	Địa hình	√	-	-	-
	Thủy văn	-	√	√	-
	Khí hậu	-	√	-	-
	Sử dụng đất	-	√	-	-
	Hoạt động nhân sinh	-	√	√	-
Yếu tố kích hoạt	Động đất				√
	Mưa	-	-		√

Khi coi các yếu tố tác động vào hệ thống (gồm: thạch học, kiến tạo, VPH, địa hình, thủy văn, khí hậu, sử dụng đất và hoạt động nhân sinh) là một tập thống kê, để hiểu rõ động thái và hành vi của hệ thống, quá trình vận động thực tế, các xu thế chính của nó cần phân tích tính tương quan giữa các yếu tố. Hơn nữa, các yếu tố còn có khả năng quan hệ qua lại lẫn nhau như trên đã nêu thì trong quá trình phân tích cũng cần xem xét tính đa cộng tuyến của chúng.

Việc ghi nhận các sự kiện tác động của động đất đến KTL ở MNPB hiện còn hạn chế trong luận án này nên NCS chưa có điều kiện xem xét đánh giá chi tiết. Trong phạm vi nghiên cứu, NCS chỉ phân tích yếu tố kích hoạt TKL do mưa lớn.

c./ Xác định các yếu tố chính tác động vào hệ thống

KTL là kết quả tác động của một loạt các yếu tố môi trường tự nhiên và nhân sinh đan xen nên có rất nhiều yếu tố cần đưa vào trong phân tích nhưng cần xem xét những yếu tố nào mang tính trội trong hệ thống, góp phần định hướng các giải pháp chủ động ứng phó. Ngoài ra, nhằm hướng tới việc dự báo hình thành KTL ở MNPB, việc xem xét tất cả các yếu tố môi trường tác động trong khoảng thời gian ngắn là điều không thể nên cần phân tích hệ thống nhằm giảm thiểu khối lượng tính toán một cách tối đa mà vẫn đảm bảo độ tin cậy. Tốc độ tính toán trong phạm vi rộng như MNPB cũng là vấn đề cần xem xét nhằm cảnh báo sớm tai biến. Do vậy, khi xem xét KTL như một hệ thống trong môi trường tự nhiên cần xác định tổ hợp các yếu tố chính tác động dẫn đến sự hình thành KTL.

2.1.2. Tiếp cận tích hợp chuỗi thời gian

Sự hình thành KTL là một quá trình với những biểu hiện dịch chuyển không liên tục theo thời gian và thường chỉ được ghi nhận bởi con người qua các sự kiện tại những thời điểm nhất định. Bên cạnh đó, các yếu tố hình thành KTL có mức độ biến đổi theo thời gian khá khác nhau. Nếu xem xét hiện tượng TKL trong khoảng thời gian tính bằng thập kỷ thì sự biến đổi theo thời gian của lượng mưa trung bình chỉ ở mức chậm. Tuy nhiên, khi xem xét sự biến đổi theo thời gian của từng trận mưa thì diễn biến cho thấy là rất nhanh. Yếu tố nhân sinh có mức độ biến đổi theo thời gian được cho là từ chậm chuyển sang nhanh. Do đó, cần tích hợp các diễn biến môi trường theo chuỗi thời gian nhằm làm rõ sự phát triển của KTL.

Chuỗi thời gian ghi nhận diễn biến TKL thường không đồng nhất, không liên tục và có nhiều yếu tố ngẫu nhiên. Do các quan sát không đủ dài nên tính chu kỳ trong chuỗi dữ liệu thời gian ít khi được xem xét. Khoảng thời gian đo lường các sự kiện & đặc điểm dịch chuyển của KTL được thể hiện theo rất nhiều khoảng khác nhau: giờ, ngày, tháng, mùa nhưng cần được ghép nối lại theo trật tự phát triển của khối trượt. Đặc biệt trong nghiên cứu hiện tượng trượt, sự kiện TKL được ghi nhận theo thời gian là các thời điểm riêng biệt; quá trình mất ổn định của KTL là khoảng thời gian ngắn; giai đoạn phát triển của KTL được ghi lại bằng chuỗi thời gian dài. Để ghép nối vào chuỗi thời gian liên tục cần được tích hợp đồng dạng.

Trong khái niệm thời gian còn được hiểu ở nhiều mức độ khác nhau: thời điểm xuất hiện hiện tượng dịch chuyển trượt gắn với các yếu tố kích hoạt (ngưỡng mưa);

thời gian diễn ra dịch chuyển chậm của KTL (tốc độ dịch chuyển chậm); thời gian mưa trận làm mất ổn định KTL. Vậy nên, cần xem xét sự phát triển KTL theo chuỗi thời gian liên tục đủ dài. Trong phạm vi luận án, chuỗi thời gian ghi nhận diễn biến TKL tại XM-HG được ghi lại chi tiết từ năm 2012.

Cách tiếp cận tích hợp là cách tiếp cận phổ biến được sử dụng trong tai biến địa chất nói chung. Trong luận án này, cách tiếp cận tích hợp chuỗi thời gian cho phép lồng ghép nhiều kỹ thuật phân tích đặc điểm động học của KTL như: thống kê sự kiện, quan trắc tại hiện trường, mô hình số. Như các phân tích ở trên, cách tiếp cận tích hợp chuỗi thời gian sẽ hướng tới sử dụng tối đa dữ liệu thời gian là các sự kiện xuất hiện của KTL. Cách tiếp cận tích hợp thời gian còn cho phép dễ dàng bổ sung các dạng dữ liệu khác nhau của chuỗi thời gian giúp nâng cao tính tin cậy của kết quả phân tích.

2.1.3. Khung logic nghiên cứu KTL

Như vậy, nhằm giải quyết và sáng tỏ 2 mục tiêu chính của đề tài, trong phạm vi nghiên cứu của luận án, NCS sẽ cần tiến hành giải quyết các nội dung theo trình tự logic các bước được tổng hợp trong hình 2.1. Với hai cách tiếp cận như trên, các bước thực hiện sẽ đi từ khái quát đến chi tiết theo trình tự được mô tả như sau:

- Bước 1: Tổng hợp dữ liệu, làm rõ đặc điểm thống kê của dữ liệu hiện trạng trượt đất đá, các yếu tố ảnh hưởng.
- Bước 2: Phân tích dữ liệu, giải thích các mối quan hệ tương quan, đa cộng tuyến và yếu tố thành phần chính ảnh hưởng đến sự hình thành KTL.
- Bước 3: Xây dựng mô hình đánh giá nguy cơ hình thành KTL tối ưu bằng các phương pháp phân tích thống kê và học máy.
- Bước 4: Tổng hợp các sự kiện TKL và giới hạn phạm vi ảnh hưởng của chúng qua thống kê - thực nghiệm.
- Bước 5: Phân tích thống kê tích hợp chuỗi thời gian các dữ liệu quan trắc để đánh giá đặc trưng thống kê của chúng và tìm mối tương quan, so sánh giữa sự kiện thực tế với các kết quả phân tích động lực học.
- Bước 6: Dự đoán động lực học KTL bằng mô hình số: dựa vào số liệu quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, kết quả khảo sát và thí nghiệm ĐCCT, phân tích khả năng mất ổn định và phạm vi ảnh hưởng của KTL bằng các phần mềm mô hình số.
- Bước 7: Phân tích đặc điểm hình thành của KTL cho từng điểm cụ thể, làm sáng tỏ cấu trúc địa chất và mức độ ảnh hưởng của các yếu tố địa chất tới sự hình thành KTL.

- Bước 8: Đề xuất giải pháp xử lý và giảm thiểu thiệt hại, tập trung vào các giải pháp mang tính chủ động: nâng cao khả năng nhận diện sớm tai biến, áp dụng quan trắc vào công tác cảnh báo sớm tai biến KTL.

Với khung logic như trên, để xuyên chuỗi các bước nghiên cứu, NCS sử dụng 4 nhóm phương pháp, trong đó có nhiều phương pháp hiện đại mới được áp dụng trong nước.

2.2. Hệ phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Nhóm phương pháp khảo sát KTL

a./ Phương pháp khảo sát thực địa

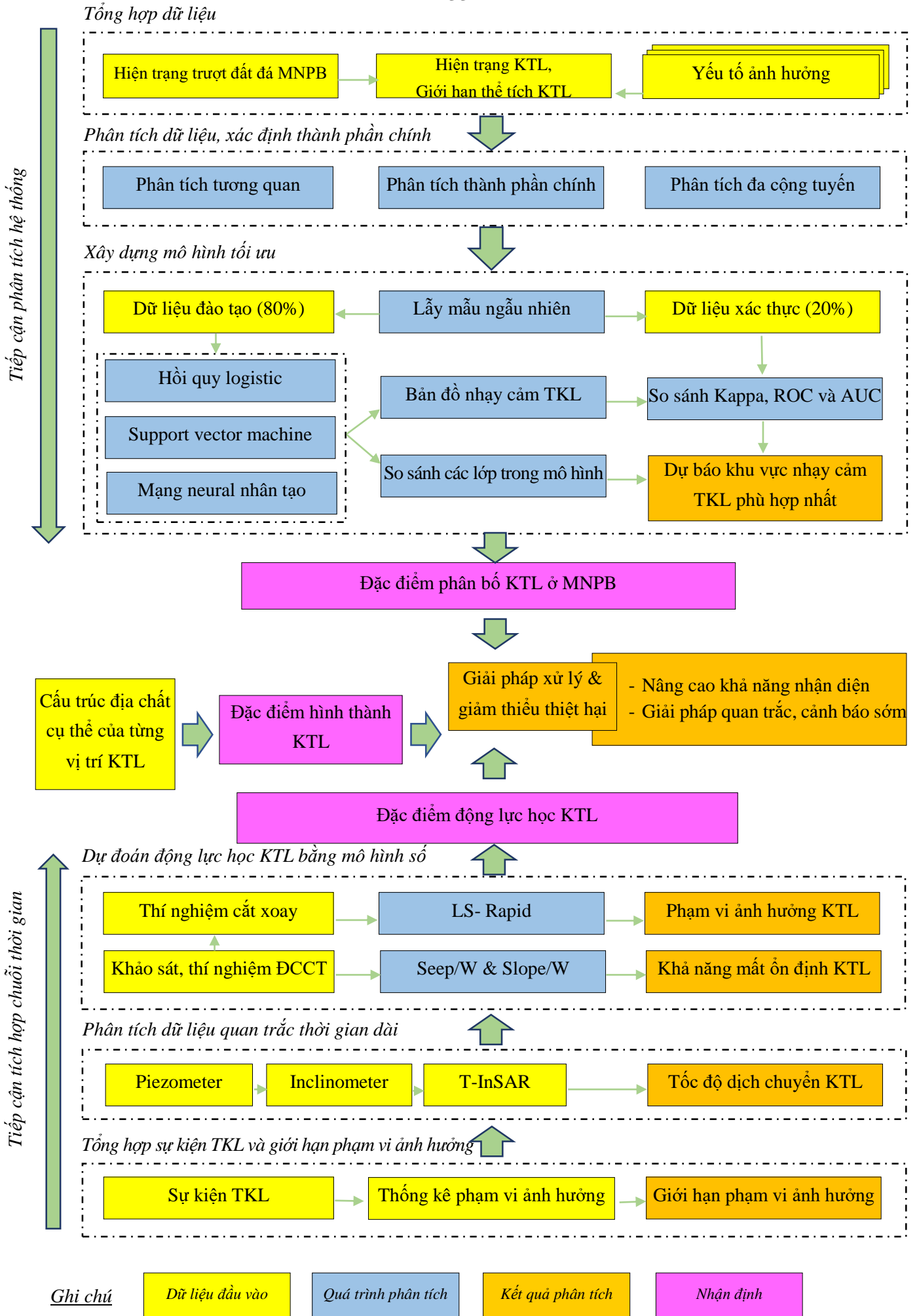
Phương pháp khảo sát thực địa là phương pháp truyền thống trong các nghiên cứu trượt đất đá nói chung. Phương pháp mô tả KTL tại hiện trường được **Đỗ Minh Đức (2018) [70]** tổng hợp đầy đủ từ kinh nghiệm trong và ngoài nước. Phương pháp khảo sát đo vẽ thực địa bao gồm các nội dung khảo sát như sau:

- *Điều tra phỏng vấn tại thực địa:*

Người dân bản địa thường là người nắm chắc nhất những diễn biến phát triển lâu dài của hiện tượng TKL nên NCS đã tập trung vào điều tra thông tin từ họ. Đặc biệt, với KTL có nhiều mặt trượt hình thành trong các giai đoạn khác nhau cần được làm rõ thứ tự phát triển các mặt trượt đó, các sự kiện mưa lớn đi kèm với quá trình hình thành mặt trượt. Phỏng vấn người dân bản địa còn giúp bổ sung các thông tin đặc biệt khi tai biến đã xảy ra và hậu quả để lại, sự hỗ trợ của chính quyền địa phương và phương án khắc phục hậu quả sau thiên tai.

- *Ghi chép bằng phiếu điều tra khảo sát:*

Kỹ thuật này tiến hành các công việc xác định tọa độ bằng GPS, mô tả vị trí địa lý, đo phương sườn, hướng nghiêng, góc dốc sườn, độ cao sườn. Đối với sườn cấu tạo từ đá gốc cần xác định các loại đá cùng mức độ phong hóa và đập vỡ, đo các yếu tố cấu tạo: Thế nằm của lớp, của mặt ép, khe nứt, mặt trượt. Đối với sườn cấu tạo từ vật liệu gắn kết yếu hoặc bờ rời cần xác định bề dày. Ngoài ra còn đánh giá mức độ lớp phủ thực vật và biểu hiện nước ngầm. Xem xét khối trượt trong mối quan hệ với địa hình, sông suối xung quanh cùng với các hoạt động nhân sinh. Các số liệu này được ghi đầy đủ trong nhật ký đi kèm các ảnh chụp minh họa.



Hình 2. 1. Khung logic nghiên cứu sự hình thành và phát triển của KTL ở MNPB

- *Khoan khảo sát hiện trường KTL*

NCS đã trực tiếp thực hiện khoan khảo sát tại 02 KTL tại XM-HG. Quá trình khoan khảo sát thực hiện bằng máy XJ-1A, khoan không dùng dung dịch, lấy mẫu bằng ống mẫu T6.86. Mẫu lấy được sắp xếp theo thứ tự từ trên xuống dưới theo trật tự của địa tầng, được ghi chép và mô tả lại vào hình trụ hồ khoan. Mẫu được xếp vào trong khay, chụp ảnh để lưu lại, mỗi khay mô tả 5m chiều dài địa tầng. Vì vậy, có thể dễ dàng nhận thấy độ sâu gặp tầng lãn hay biến đổi đặc biệt về địa tầng, nhận định sơ bộ về chiều sâu mặt trượt để lắp đặt các loại cảm biến quan trắc trong hồ khoan.

- *Lập mặt cắt VPH cho KTL*

Đặc điểm VPH là yếu tố tổng hợp chịu ảnh hưởng của các yếu tố tự nhiên như: địa chất, địa hình, thảm phủ thực vật, điều kiện khí hậu, đặc điểm thủy văn. Do vậy, các kiểu VPH trên sườn dốc cần được phân chia theo mức độ ảnh hưởng do phong hóa tới độ ổn định của sườn dốc. Cột địa tầng VPH của KTL được mô tả dựa vào các lớp như trong **bảng 2.2**.

Bảng 2. 2. Bảng phân loại VPH theo chiều sâu trên sườn dốc theo Garet Hearn [78]

Ký hiệu	Phạm vi hình thành	Tên lớp	Mô tả chi tiết
edQ	Đất bị tác động dịch chuyển hoặc lắng đọng trên sườn	Lớp sườn-tàn tích	Có thành phần chủ yếu là vật liệu vụn thô lẫn lộn đôi khi có lẫn cả cuội tảng.
VI	Đất phong hóa tại chỗ thành vật liệu vụn mịn	Lớp phong hóa triệt để	Cấu trúc và kiến trúc ban đầu của đá gốc đã bị phong hóa biến đổi hoàn toàn, vật liệu đá đã chuyển hết thành đất
V		Lớp phong hóa hoàn toàn	Tất cả vật liệu đá gốc đã bị phong hóa chuyển thành đất nhưng về cấu trúc khối ban đầu vẫn còn giữ được khá nguyên vẹn
IV		Lớp phong hóa mạnh	Có hơn 50% thành phần vật liệu đá gốc bị phong hóa chuyển thành đất, đá phong hóa bị biến đổi màu sắc nằm phân bố không liên tục
III	Đá gốc và đá phong hóa	Lớp phong hóa trung bình	Có ít hơn 50% thành phần vật liệu đá gốc bị phong hóa chuyển thành đất, đá phong hóa ít bị biến đổi màu sắc phân bố liên tục hoặc đan xen nhau

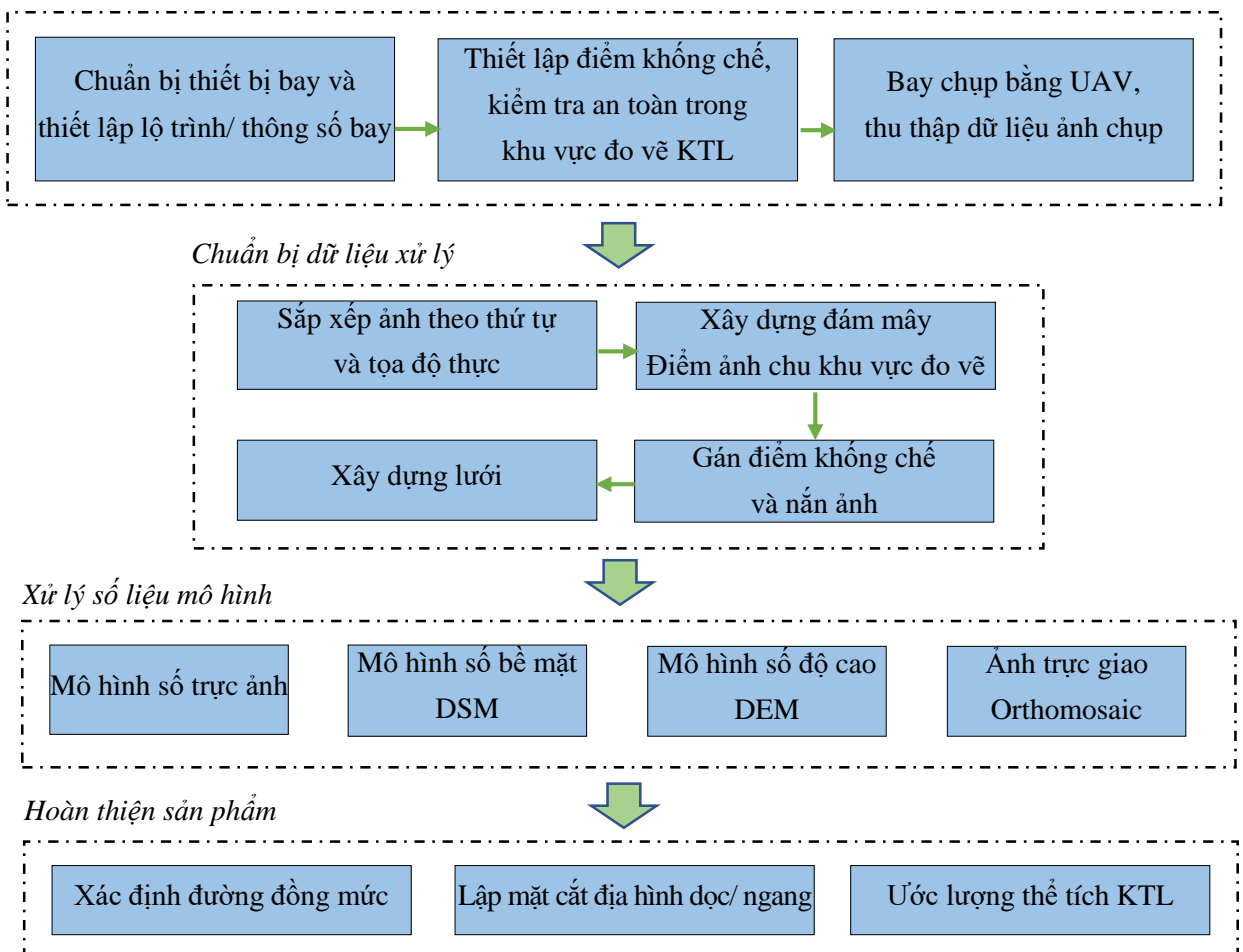
II		Lớp phong hóa yếu	Đá gốc bị đổi màu, vật liệu đất lấp vào các khe nứt và bề mặt không liên tục, tính chất cơ lý bị suy giảm
I		Lớp đá tươi	Không nhìn thấy dấu hiệu của phong hóa

b./ Phương pháp khảo sát bằng UAV và xây dựng mô hình số bề mặt

KTL là một đối tượng phức tạp mà con người khó có thể cảm nhận toàn diện bằng cảm quan bình thường. Sử dụng UAV giúp NCS nhìn nhận toàn cảnh hiện trạng KTL, phân tích phạm vi ranh giới vách trượt, đo vẽ kích thước hiện trạng của KTL và xây dựng mô hình số bề mặt cho khu vực xảy ra TKL.

Bản chất của phương pháp thành lập mô hình DEM từ ảnh UAV theo phương pháp tam giác không gian ảnh. Do mỗi điểm có số lượng điểm ảnh cùng tên rất lớn nên phương pháp bình sai đa tia được sử dụng trong phần mềm xử lý ảnh. Trình tự chi tiết xây dựng mô hình số được thực hiện qua các bước như ở hình 2.2. NCS sử dụng máy tính work station cấu hình mạnh cài đặt phần mềm Agisoft Metashape để xây dựng mô hình và xử lý ảnh.

Bay chụp ngoài hiện trường



Hình 2. 2. Quy trình thành lập mô hình số bề mặt, ước lượng thể tích và lập các loại mặt cắt cho KTL

Để hiệu chỉnh tọa độ của mô hình, NCS đã bố trí các điểm khống chế ảnh mặt đất phải đảm bảo các điểm này được trải đều khu đo và kích thước phải hợp lý để có thể định tâm chính xác trên ảnh chụp [79, 80]. Điểm khống chế được thiết kế kích thước 60x60cm, in trên giấy có độ phản xạ cao. Điểm khống chế ảnh được tính toán tối thiểu cho 1 KTL là 8 điểm: trong đó có 5 điểm nấn ảnh và 3 điểm để kiểm tra. Hệ tọa độ của các điểm khống chế ảnh thiết lập ở hệ tọa độ WGS84.

c/ Thí nghiệm cơ lý mẫu đất

Kết quả thí nghiệm mẫu đất tại vị trí KTL được NCS kế thừa từ kết quả nghiên cứu trong dự án VINOGE0-SRV, bổ sung thí nghiệm mẫu khoan khảo sát lấy ở hai khối trượt được lắp đặt thiết bị quan quan KTL (Tân Sơn – Nấm Dẩn và Dúu Thượng - Bản Dúu, XM-HG).

Các mẫu thí nghiệm được phân tích tại phòng thí nghiệm địa kỹ thuật để xác định các đặc trưng cơ lý mẫu đất như thành phần hạt để phân loại đất, độ ẩm, dung trọng, giới hạn alterberg, sức kháng cắt trực tiếp. Trong cách phân loại đất sử dụng hệ thống phân loại đất theo ASTM D-18 ban hành năm 2011 cho các mẫu đất thí nghiệm. Các đặc tính địa kỹ thuật này của mái dốc sau đó được sử dụng để tính toán FoS bằng cách sử dụng các mô-đun SEEP / W và SLOPE / W trong phần mềm GeoStudio.

d./ Thí nghiệm xác định sức kháng cắt dư mẫu đất

Sức kháng cắt dư của đất được xem là sức kháng cuối cùng của đất sau khi đã bị cắt và dịch chuyển thêm một khoảng cách lớn. Các mẫu thí nghiệm cắt xoay đã được NCS thí nghiệm theo sơ đồ có kết thoát nước theo tiêu chuẩn ASTM D6467. Mẫu thí nghiệm đều được mẫu chế bị trong cối hình vành khuyên lấy ở vị trí mặt trượt nguy hiểm của khối trượt khu vực chợ Tân Sơn và Bản Dúu. Đây là những thí nghiệm lần đầu tiên được thực hiện ở Việt Nam. Ưu điểm chính của phương pháp này hơn so với các thí nghiệm cắt trực tiếp thông thường là quá trình cắt liên tục với một diện tích mặt cắt không đổi và đường dịch chuyển cắt rất dài.

Tốc độ cắt và áp lực cố kết ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm được thí nghiệm ở các tốc độ và cấp áp lực nén khác nhau được mô tả chi tiết trong bài báo **Đào Minh Đức (2018)**. Quá trình dịch chuyển cắt với tốc độ rất chậm (0,025 mm/phút tin cậy nhất) mô phỏng gần giống với điều kiện thực tế khi đất sườn tích hình thành trên khối trượt là sản phẩm của nhiều lần dịch trượt. Kết quả thí nghiệm chủ yếu áp dụng để đánh giá độ bền cắt dư tại các mái dốc đã hình thành mặt trượt như tại KTL Tân Sơn và Dúu Thượng. Kết quả xác định sức kháng cắt dư tại 2 KTL được sử dụng để phân tích trong mô hình LS-Rapid nhằm xác định phạm vi ảnh hưởng của KTL.

2.2.2. Nhóm phương pháp thống kê và học máy

a./ Thống kê đối tượng địa chất

Trong phạm vi luận án, phương pháp thống kê được áp dụng với 3 loại dữ liệu: đối tượng không gian; dữ liệu quan trắc theo thời gian và đối tượng định hướng.

- *Đối tượng không gian*
 - Điểm trượt: dữ liệu điểm được quản lý theo phạm vi không gian của từng địa phương.
 - Phạm vi phân bố thạch học: số liệu trích suất từ bản đồ địa chất 1:200.000 thì ranh giới thạch học thể hiện tốt nhất trên bản đồ trong phạm vi khoảng cách 200m. Do vậy, NCS lấy bậc tần suất là 200m để phân tích quy luật phân bố thạch học liên quan đến KTL.
 - Đứt gãy: ranh giới đứt gãy cũng được phân tích tương tự ranh giới thạch học.
- *Đối tượng định hướng*
 - Phân loại KTL: KTL được NCS bổ sung thêm thông tin ảnh hưởng của vách taluy đường giao thông khi trên thân KTL được bạt mái taluy để làm đường giao thông.
 - Phân loại đối tượng thạch học: phân loại đối tượng theo thạch học thông thường được nhiều nghiên cứu trượt đất đá đơn giản hóa bằng cách nhóm các phân vị địa tầng lại thành các nhóm để phân tích. Việc làm này dễ làm mờ đi vai trò thạch học ảnh hưởng đến trượt đất đá. Bên cạnh đó, các phân vị địa tầng thường được lập với mục đích thăm dò tìm kiếm khoáng sản nên khi sử dụng cho mục đích đánh giá mức độ ổn định của sườn dốc cần nhóm các đối tượng thạch học theo phương pháp mới. Bộ số liệu địa chất đầy đủ nhất hiện nay của toàn bộ MNPB chỉ có bộ bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000. Phạm vi MNPB được thống kê có tất cả 175 hệ tầng khác nhau. Trong chú giải các tờ bản đồ các hệ tầng đều được thể hiện đầy đủ thành phần các loại thạch học chính. Từ đây, NCS nhóm các loại thạch học thành 17 loại theo nguồn gốc thành tạo và ký hiệu chúng để thuận lợi cho việc thống kê sau này.

Bảng 2. 3. Bảng phân loại thạch học một số nhóm chính phục vụ nghiên cứu KTL

STT	Phân loại thạch học	Ký hiệu
1	Magma axit	magma_axit
2	Magma trung tính	magma_media
3	Magma mafic	magma_base
4	Magma siêu mafic	magma_supbase
5	Trầm tích dăm kết	sedimen_breccia
6	Trầm tích cát kết	sedimen_sand
7	Trầm tích đá sét, bột kết	sedimen_silt

8	Trầm tích nguồn gốc sinh hóa	sedimen_bioche
9	Trầm tích vụn núi lửa	sedimen_tuff
10	Trầm tích bờ rời	sedimen_quat
11	Biến chất phiến sét và phiến phylit	metamor_shale
12	Biến chất phiến lục	metamor_slate
13	Biến chất phiến kết tinh	metamor_schist
14	Biến chất gneis	metamor_gneis
15	Biến chất quartzit	metamor_quart
16	Biến chất amphibolit	metamor_amphi
17	Các loại đá biến chất khác	metamor_other

- *Dữ liệu thời gian*

- Dữ liệu quan trắc: dữ liệu quan trắc là các chuỗi dữ liệu thời gian đảm bảo các yêu cầu: liên tục, đủ dài, gắn liền với sự kiện TKL, nằm trong phạm vi không gian phù hợp với diễn biến của môi trường. Do vậy, khi xử lý thống kê chuỗi dữ liệu quan trắc, NCS chỉ tập trung xử lý số liệu quan trắc được trong phạm vi XM-HG.
- Dữ liệu về thời điểm vận động của KTL: đây là việc làm tương đối khó khi nhiều sự kiện trượt được các cơ quan, báo chí đưa tin chưa đầy đủ và chính xác nên phải xác minh từ nhiều nguồn. Đặc biệt, một số sự kiện TKL phải được ghi nhận lại trực tiếp từ người dân bản địa.

b./ Phân tích không gian dựa vào phần mềm mã nguồn mở

Với việc phát triển các phần mềm phân tích dữ liệu không gian mã nguồn mở, NCS hướng đến việc xây dựng quy trình phân tích bán tự động bằng phần mềm mã nguồn mở QGIS 3.14. Điểm mạnh của phần mềm QGIS là khả năng kết nối và phối hợp với các ngôn ngữ lập trình khác một cách dễ dàng để phục vụ phân tích dữ liệu không gian. Bên cạnh đó, QGIS có rất nhiều Plugins hỗ trợ các thao tác phân tích không gian như: GDAL, SAGA, Semi-Automatic Classification Plugin.

- *Phân tích thống kê mức độ ảnh hưởng*

Phương pháp phân tích mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố tới sự hình thành KTL được đánh giá qua chỉ số nguy cơ (Risk ratio - $RR = I_e / I_c$) là tỷ số giữa tỷ lệ số mẫu trong nhóm kiểm chứng (I_e) so với tỷ lệ số mẫu trong nhóm quan sát (I_c) khi các yếu tố này được xem xét như các yếu tố độc lập thống kê. Chỉ số nguy cơ được sử dụng nhiều trong phân tích thống kê dữ liệu từ các nghiên cứu thực tiễn đối chứng ngẫu nhiên, để ước tính độ mạnh của mối liên hệ giữa các yếu tố hình thành KTL. Theo phân tích thống kê, giá trị chỉ số nguy cơ RR có thể được hiểu như sau:

- $RR = 1$ có nghĩa là mức độ ảnh hưởng là như nhau giữa hai điều kiện;
- $RR < 1$ có nghĩa là mức độ ảnh hưởng thấp đến không đáng kể;

- $RR > 1$ có nghĩa là mức độ ảnh hưởng là mạnh đến rất mạnh.

Trong luận án này, NCS xác định chỉ số nguy cơ là tỷ số giữa tỷ lệ phần trăm số lượng điểm pixel KTL với tỷ lệ phần trăm số điểm pixel phân tích trong từng khoảng giá trị phân tích để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến sự hình thành KTL. Dựa vào kết quả phân tích và thực tế quan sát, mức độ ảnh hưởng của các yếu tố được phân làm 5 mức như sau: không ảnh hưởng, ảnh hưởng thấp, ảnh hưởng trung bình, ảnh hưởng mạnh, ảnh hưởng rất mạnh. Ngoài ra, phương pháp đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố còn là cơ sở để phân biệt các đặc điểm khác biệt của KTL với KTNN qua 5 mức khác biệt như trên.

- *Phân tích mô hình thống kê tối ưu*

Một trong những vấn đề lựa chọn các yếu tố đưa vào mô hình phân tích là làm thế nào để phù hợp nhất với thực tế đồng thời đảm bảo đồng thời điều kiện số lượng biến trong mô hình là ít nhất nhưng mức độ tin cậy của mô hình là cao nhất. Câu hỏi đặt ra là làm thế nào để giảm thiểu chiều dữ liệu mà vẫn không mất đi thông tin giá trị. Theo lý thuyết thống kê thông thường, trước tiên cần giả định chọn lấy ngay một kịch bản hợp lý nhất H và sau đó xác định xác suất đúng nhất cho kịch bản đó $p(t|H)$ nên khối lượng cần tính toán là khá lớn. Ngoài ra, số lượng các yếu tố trong các kịch bản còn ảnh hưởng đến xác suất của chính các kịch bản đó.

Khắc phục nhược điểm này, phân tích BMA (**Bayesian model averaging**) đưa ra đánh giá về độ trễ “ t ” tính đến tất cả các tình huống kịch bản đồng thời. Trong thống kê, ước tính BMA thu được thông qua phương trình (1). Ước tính BMA được điều chỉnh khi có dữ liệu mới tác động vào và biến đổi thành phương trình (2). Phân phối kết quả xác suất có điều kiện $p(t|data)$ thể hiện niềm tin về độ trễ, sau khi thực hiện các quan sát, đồng thời tính đến tất cả các mô hình và được coi là độ tin cậy của kịch bản mô hình xem xét.

$$p(t) = \sum_i p(tH_i)p(H_i) \quad (1)$$

$$p(tdata) = \sum_i p(tH_i, data)p(H_i data) \quad (2)$$

Việc xử lý thống kê trở nên đơn giản với sự hỗ trợ bằng gói công cụ BMA trong phần mềm Rstudio [81]. Gói công cụ “*BMA*” trong phần mềm R cho phép phân tích các chỉ số như trên bằng hàm “*bic.glm*” và xuất ra biểu đồ với lệnh “*imageplot.bma*”.

Ngoài ra, phương pháp phân tích thành phần chính là một phương pháp được sử dụng thường xuyên khi phải đối mặt với những bộ số liệu nhiều chiều. Phương pháp phân tích thành phần chính dựa trên ý tưởng xoay chiều không gian cũ thành chiều không gian mới mà ở đó chỉ còn ít biến không có tương quan tuyến tính mà vẫn giữ được nhiều nhất lượng thông tin từ nhóm biến ban đầu. Khi đó, xét tập không gian

(dữ liệu) k biến, k biến này được biểu qua j thành phần chính sao cho ($j < k$). Xét thành phần chính đầu tiên có dạng:

$$PC_1 = a_{11}X_{11} + a_{12}X_{13} + a_{14}X_{15} + \dots + a_{1k}X_{1k}$$

$$PC_j = a_{j1}X_{j1} + a_{j2}X_{j3} + a_{j4}X_{j5} + \dots + a_{jk}X_{jk}$$

Phân tích thành phần chính đầu tiên chứa đựng hầu hết thông tin từ k biến ban đầu (được hình thành là 1 tổ hợp tuyến tính của các biến ban đầu) và sau đó tiếp tục xét thành phần chính thứ 2 được biểu diễn tuyến tính từ k biến ban đầu. Tuy nhiên thành phần chính thứ 2 phải không trực giao với thành phần chính ban đầu hay thành phần chính thứ 2 không có mối tương quan tuyến tính với thành phần chính đầu tiên. Dựa vào thành phần chính trước đó, thành phần chính tiếp theo luôn có tỷ lệ phương sai của mô hình nhỏ hơn thành phần chính trước.

c./ Phân tích dữ liệu bằng thống kê đa biến và học máy

- *Hồi quy logistic*

Trong toán học, hồi quy logistic là một trong những mô hình hồi quy đa biến áp dụng trong trường hợp biến phụ thuộc không phải là biến định lượng liên tục. Do đó hồi quy logistic được sử dụng nhiều nhất để dự đoán khả năng xuất hiện hoặc không xuất hiện hiện tượng trượt đất đá. Ưu điểm của phương pháp hồi quy logistic đa biến là các biến có thể là liên tục hoặc rời rạc hoặc bất kỳ sự kết hợp nào của cả hai loại mà chúng không nhất thiết phải có phân phối chuẩn. Trong nghiên cứu trượt đất đá, biến phụ thuộc được quy ước là biến nhị phân thể hiện sự xuất hiện hoặc không xuất hiện KTL, tương ứng chúng nhận giá trị là 1 và 0. Biến phụ thuộc được thiết lập mối quan hệ qua hàm liên kết logistic với các biến độc lập và được hiểu là các yếu tố hình thành lên sự xuất hiện của KTL trong phạm vi khu vực nghiên cứu. Các hệ số hồi quy logistic được sử dụng để ước tính mức độ ảnh hưởng cho từng biến phụ thuộc trong mô hình. Về mặt định lượng, khả năng xuất hiện hiện tượng trượt đất đá (p) được mô tả qua hàm logist bằng công thức sau:

$$p = 1/(1 + e^{-z})$$

Trong đó p là xác suất của một sự kiện xảy ra và có thể hiểu giá trị p là xác suất ước tính xảy ra hiện tượng TKL. Xác suất thay đổi từ 0 đến 1 trên đường cong dạng hình chữ S và z là tổ hợp tuyến tính với các biến phụ thuộc. Theo sau đó, hồi quy logistic liên quan đến việc khớp một phương trình có dạng sau với dữ liệu:

$$z = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Trong đó: b_0 là điểm cắt trục tung của mô hình, b_i ($i = 1 \dots n$) là các hệ số của mô hình hồi quy logistic và x_i ($i = 1 \dots n$) là các biến độc lập.

Trong phần mềm R, hàm $glm()$ được dùng để tìm hàm hồi quy tổng quát, trong đó có hồi quy logistic. Cách sử dụng hàm $glm()$ để mô tả phân phối có dạng đường cong logist bằng cách gán cho phần tử $family = "binomial"$. Điều này phù hợp với bài toán phân loại gồm 2 khả năng giống như trong nghiên cứu hiện tượng trượt đất đá (0: không xảy ra trượt và 1: có xảy ra trượt).

- *Máy vector hỗ trợ*

Máy vector hỗ trợ (Support vector machine) là một phương pháp học có giám sát dựa trên lý thuyết thống kê và nguyên tắc giảm thiểu rủi ro cấu trúc để phân loại và tìm hàm hồi quy. Phương pháp máy vector hỗ trợ tạo ra ánh xạ vào không gian huấn luyện ban đầu hướng tới việc xây dựng siêu phẳng tối ưu được coi là ranh giới trong một không gian nhiều chiều. Với mục tiêu xác định tính nhạy cảm với trượt đất đá, “x” là một vector của không gian đầu vào chứa các yếu tố hình thành. Vector biến “y” chứa hai lớp [-1, 1] biểu thị pixel KTL và pixel không phải KTL. SVM phải tách 365 điểm quan sát KTL (80% dữ liệu quan sát) thành các lớp khác nhau bằng cách sử dụng hàm SVM để thể hiện một siêu phẳng được định nghĩa theo công thức là:

$$f_{svm}(x) = \langle w|x \rangle + b = \sum_{i=1}^{365} (w_i x_i) + b = 0$$

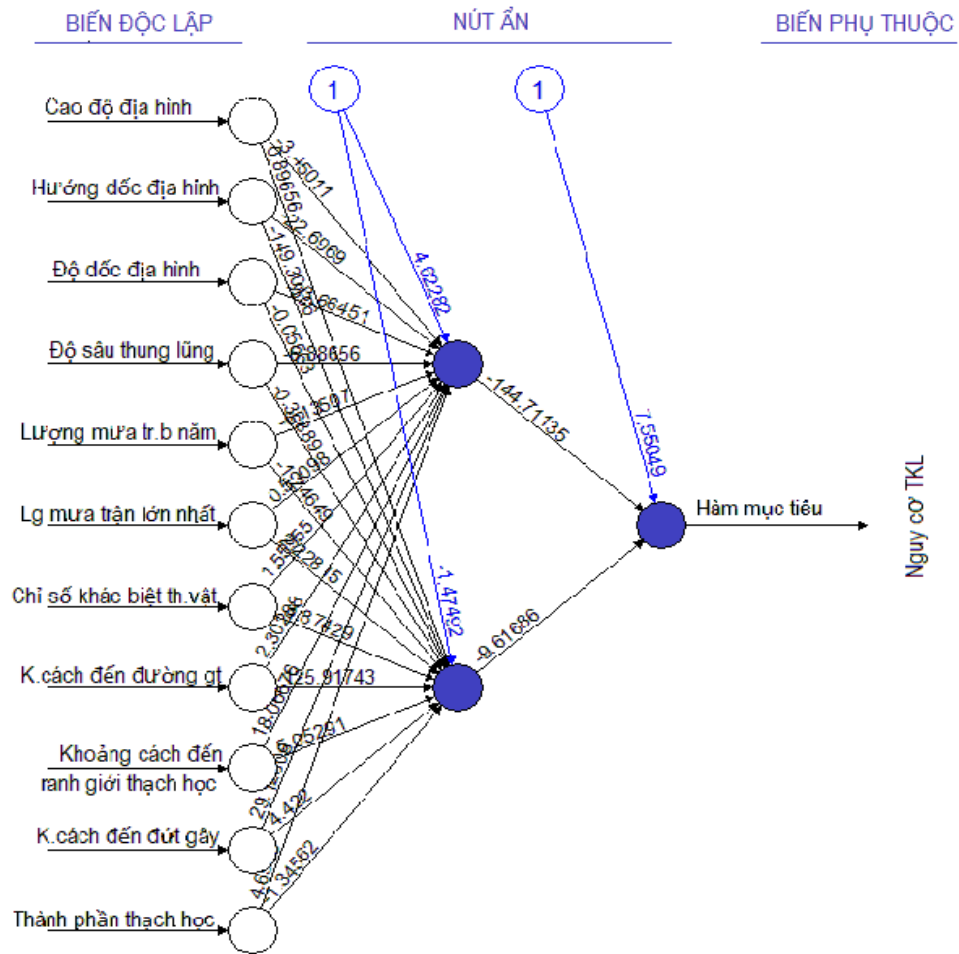
Trong đó: x: ma trận các yếu tố hình thành
w: ma trận vector trọng số tìm thấy bởi mô hình
b: một hằng số

Hàm “svm” là một hàm chức năng trong gói công cụ “e1071” của phần mềm R. Nó được sử dụng để thực hiện phân tích hồi quy và phân loại chung, cũng như ước tính mật độ. Luận án sử dụng hàm “svm” để phân tích SVM với nên gán kiểu $type = "eps-regression"$. Vì biến đầu ra là vị trí KTL tuân theo quan hệ nhị phân, nên biến tiên lượng được gán với 2 nhãn lớp $y = [-1, 1]$. Do đó, hàm phân tích sử dụng nhân $kernel = "radial"$.

- *Mạng neural nhân tạo*

ANN là một tập hợp các đơn vị đầu vào / đầu ra được kết nối trong đó mỗi kết nối đều có trọng số liên quan, được sử dụng thích hợp cho việc mô hình hóa các vấn đề trong đó mối quan hệ giữa các yếu tố nhân quả hay các yếu tố tái cấu trúc phức tạp. Để nhận diện hình ảnh đem lại có phải KTL hay không, phương pháp ANN coi quá trình nhận diện giống như quá trình suy nghĩ của con người. Tế bào thần kinh không biết ranh giới tồn tại ở đâu nên cần một ánh xạ tổng hợp giữa đầu vào và đầu ra của các tế bào còn gọi là hàm kích hoạt. Ở đây, x_1, x_2, \dots, x_n là các biến đầu vào; w_1, w_2, \dots, w_n là trọng số của các đầu vào tương ứng, b là độ lệch, được tổng hợp với các

đầu vào có trọng số để tạo thành các đầu vào tổng hợp. Độ lệch và trọng số đều là các tham số có thể tự điều chỉnh trong ANN.



Hình 2. 3. Sơ đồ cấu trúc tổng quát ANN trong phân tích nguy cơ hình thành KTL

Để phân tích ANN bằng phần mềm R, sử dụng gói công cụ “*neuralnet*” chứa chức năng rất linh hoạt để huấn luyện tập dữ liệu, xác định gần đúng mối quan hệ chức năng trong tập dữ liệu. Vì biến phản hồi là nhị phân, nên hàm kích hoạt có thể được chọn làm hàm logistic (mặc định) và hàm lỗi là cross-entropy ($err.fct = "ce"$). Đặc biệt, mục *linear.output* phải được ghi là *FALSE* để đảm bảo rằng đầu ra được hàm kích hoạt ánh xạ tới khoảng $[0, 1]$.

d./ Xác định phạm vi ảnh hưởng của KTL bằng công thức kinh nghiệm

Trên cơ sở cân bằng năng lượng của vật chất trườn xa, tỷ số Heim (là tỷ số giữa độ cao rơi H_f với phạm vi ảnh hưởng L_f) được coi như ước lượng của hệ số ma sát có hiệu. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh, tỷ số Heim có tương quan tuyến tính với khối lượng vật liệu đất đá dịch chuyển trườn xa của KTL và nó tỷ lệ với góc trườn xa Fahrboschung. Bên cạnh đó, đề xuất ước lượng phạm vi ảnh hưởng dựa trên phương pháp thống kê - thực nghiệm được thực hiện khá đơn giản nhưng rất hữu ích. Nếu có thể ước tính thể tích của KTL tiềm ẩn thì có thể ước tính phạm vi góc Fahrboschung.

Do đó, sử dụng tập dữ liệu lịch sử khoảng phạm vi ảnh hưởng được ghi nhận trong khu vực nghiên cứu, ước tính phạm vi ảnh hưởng có thể đạt tới theo xác suất có thể xảy ra ở các mức 90%, 50% và 10% cho biết phạm vi ảnh hưởng gần như chắc chắn, trung bình và xa tới đa mà khối trượt có thể ảnh hưởng đến. Kết hợp thống kê – thực nghiệm như vậy sẽ cung cấp căn cứ để đưa ra quyết định lựa chọn giải pháp giảm thiểu thiệt hại do KTL gây ra. Để thuận tiện trong phân tích, các thông số về thể tích và góc Fahrbuschung được lấy theo hàm logarit cơ số 10.

2.2.3. Nhóm phương pháp quan trắc KTL

NCS đã tham gia và trực tiếp lắp đặt, thu ghi dữ liệu và quy trì bảo quản 3 loại hình quan trắc phục vụ nghiên cứu KTL ở khu vực XM-HG bao gồm: quan trắc mưa; quan trắc địa kỹ thuật; quan trắc T-InSAR.

a./ Quan trắc mưa

Trạm đo mưa đầu tiên được lắp tại XM-HG phải kể đến trạm đo của Đài khí tượng thủy văn Việt Bắc đặt tại thị trấn Cốc Pài (ghi đo lượng mưa và nhiệt độ theo ngày). Do nhu cầu nghiên cứu của các đề tài nhận thấy diễn biến mưa ở các khu vực trong địa bàn huyện là rất khác nhau nên một số đề tài đã triển khai lắp đặt các trạm đo mưa tự động tại một số địa bàn khác như: xã Bản Dịu (do dự án VINOGEOSRV lắp), xã Nám Dẩn (do đề tài VT-UD.05/18-20 lắp đặt từ tháng 2019) tuy nhiên chuỗi số liệu không dài và liên tục.

Bên cạnh việc kế thừa dữ liệu đo mưa của các trạm khí tượng, NCS chủ động lắp đặt trạm đo mưa tại KTL Tân Sơn, xã Nám Dẩn để lấy số liệu phân tích. Trạm đo mưa tự động loại iMetos Eco-D3 của hãng Pessl – Áo cho số liệu đo mưa và nhiệt độ theo giờ, số liệu cập nhật liên tục vào trang web - <https://ng.tramthoietiet.vn>. Thiết bị hoạt động theo chế độ hoàn toàn tự động bằng năng lượng mặt trời.

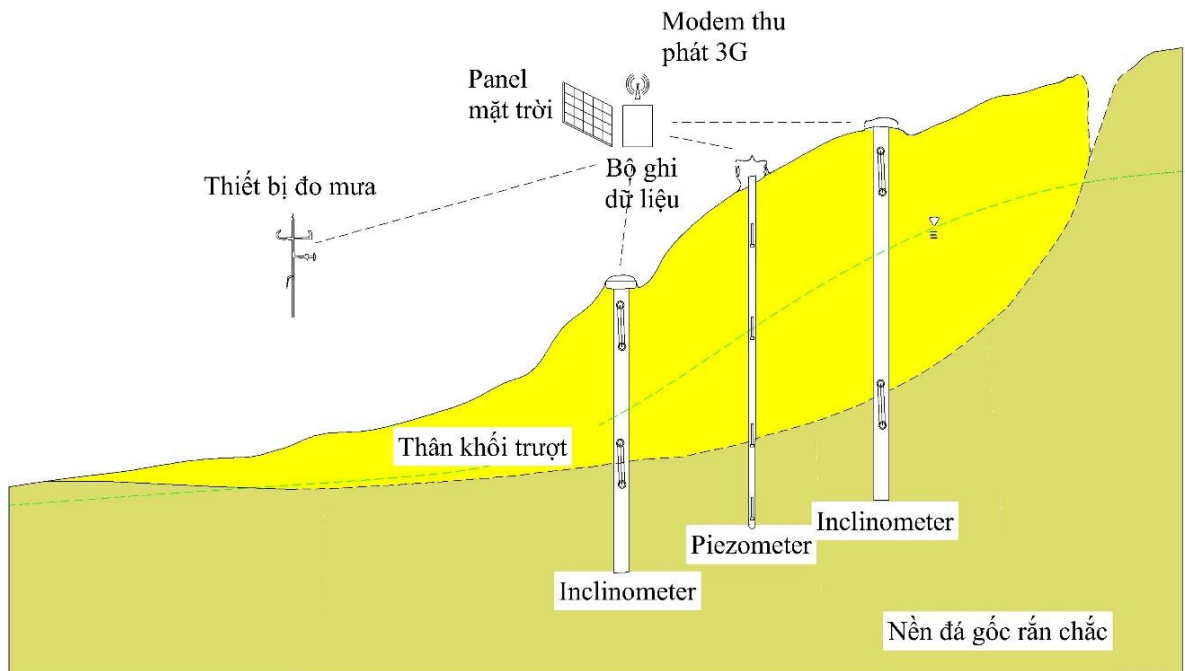
b./ Quan trắc địa kỹ thuật

Quan trắc thời gian thực đặc điểm động học của KTL qua các thông số về dịch chuyển và áp lực nước lỗ rỗng trong đất là phương pháp cơ bản trong nghiên cứu động lực học TKL. Thiết lập hệ thống quan trắc KTL hoạt động lâu dài cần phối hợp nhiều chuyên môn khác nhau, về cơ bản bao gồm: địa kỹ thuật, điện tử viễn thông, công tác xã hội. Về cấu hình, các cảm biến được kết nối với bộ ghi đo dữ liệu CR1000, bộ modem truyền tín hiệu GPRS/3G IP F2103, điều khiển sạc bằng năng lượng mặt trời MPPT vỏ nhôm chịu được nhiệt độ cao. Trong phạm vi nghiên cứu, NCS tập trung vào việc bố trí hệ thống cảm biến, duy trì trạm và khai thác dữ liệu quan trắc nên các kỹ thuật lắp đặt không đề cập trong luận án. Sơ đồ nguyên tắc bố trí cảm biến trên KTL được thể hiện như hình 2.4, chi tiết độ sâu lắp đặt thể hiện trong bảng khối

lượng thiết bị lắp đặt tại **bảng 5.3**. Quy trình lắp đặt các loại cảm biến piezometer và inclinometer được thực hiện theo các tiêu chuẩn ASTM D7764 – 20 (lắp đặt piezometer) và D6230 – 13 (lắp đặt inclinometer).

- Inclinometer

Cảm biến đo dịch chuyển ngang inclinometer sử dụng là loại đặt tại chỗ (Geokon MEMS Model 6155). Có 2 cảm biến được đặt trong mỗi hố khoan quan trắc ở các độ sâu khác nhau, đáy ống ABS cắm sâu vào bề mặt đá gốc coi như không chuyển vị, vị trí lắp đặt cảm biến dịch chuyển ngang được quyết định lắp đặt theo kết quả ghi đo chuyển vị bằng tay. Độ sâu lắp đặt cảm biến nằm tại vị trí có chuyển vị lớn nhất và thường trùng với mặt trượt nguy hiểm. Hai hố khoan có cảm biến dịch chuyển ngang đặt trùng với phương dịch chuyển của khối trượt.



Hình 2. 4. Sơ đồ nguyên tắc lắp đặt các thiết bị cảm biến trên thân KTL

- Piezometer

Cảm biến PWP loại Geokon Model 4500S sử dụng một màng ngăn nhạy gắn với một sợi dây rung để xác định áp lực nước lỗ rỗng trong đất. Áp lực nước tác động lên màng ngăn làm thay đổi sức căng tạo tần số cho sợi dây rung và truyền đến máy đọc thông qua một cuộn dây điện từ. Đầu lọc đá thấm sẽ cho phép chất lỏng đi qua nhưng ngăn chặn các hạt đất xâm nhập vào bên trong thiết bị. Cảm biến được chôn trong lỗ khoan ở nhiều độ sâu khác nhau trong thân khối trượt để đánh giá mức độ biến đổi áp lực nước lỗ rỗng ở các lớp đất đá khác nhau.

- Ghi đo các chu kỳ đầu xác định chiều sâu mặt trượt

Trong vòng 2 tháng sau khi lắp đặt ống ABS trong thân khối trượt, NCS thực hiện ghi đo dịch chuyển ngang trong hố khoan bằng máy cầm tay. Số liệu ghi đo các

chu kì được biểu diễn lên biểu đồ theo chiều dọc. Mỗi chu kì đều được đo liên tục theo chiều sâu hố khoan, mỗi điểm ghi đo sau cách điểm trước 0,5m. So sánh kết quả ghi đo theo các chu kì cho 2 KTL Tân Sơn và Dú Thượng thấy rằng, KTL Tân Sơn có chiều sâu mặt trượt ở độ sâu 12m và KTL Dú Thượng có chiều sâu mặt trượt ở độ sâu 9m.

- *Ghi thu định kỳ dữ liệu quan trắc tự động tại các trạm*

Do các hệ thống quan trắc địa kỹ thuật đều sử dụng datalogger CR1000 của hãng Cambell Scientific nên quá trình cài đặt, ghi đo và kiểm tra đều sử dụng phần mềm LoggerNet. Datalogger CR1000 đo tín hiệu phản hồi của các cảm biến, điều khiển việc kết nối và truyền dữ liệu, xử lý dữ liệu, điều khiển các thiết bị ngoại vi, lưu trữ dữ liệu và chương trình điều khiển trong bộ nhớ. Nhờ có bộ nhớ trong 4 Mb, hệ thống được điều khiển để ghi đo dữ liệu quan trắc ở chế độ 1 giờ/ lần đo. Do các dữ liệu đều được mã hóa dạng số trong file định dạng .csv nên bộ nhớ lưu được thời gian ghi đo trong khoảng 2 năm, dữ liệu mới sẽ ghi đè lên dữ liệu cũ nên định kỳ hằng năm NCS tiến hành lưu trữ dữ liệu và bảo dưỡng định kỳ.

- *Quan trắc bằng công nghệ radar giao thoa mặt đất*

Trong phạm vi nghiên cứu của đề tài VT-UD.05/18-20, NCS đã tham gia lắp đặt và phân tích dữ liệu thoa kế trên mặt đất (T-InSAR) được lắp đặt tại khối trượt Tân Sơn. Công nghệ T-InSAR cho phép thực hiện giám sát từ xa các biến dạng trên mặt đất theo thời gian thực, đạt độ chính xác dưới milimet trong điều kiện lý tưởng rất phù hợp với các KTL dạng dịch chuyển chậm. Kỹ thuật này dựa trên một cảm biến radar chủ động, đi trên một đường ray thẳng, phát và nhận sóng điện từ trong băng tần 12–18 GHz, ghi nhận tín hiệu phản xạ. Bằng cách so sánh độ lệch pha của hai hoặc nhiều ảnh phổ giao thoa radar được thu thập tại các thời điểm khác nhau, có thể ước tính độ dịch chuyển dọc của KTL Tân Sơn. Thiết bị T-InSAR được lắp đặt tại KTL Tân Sơn là thiết bị mới có tên Phoenix, được phát triển bởi công ty Echoes Technologies S.r.l. Nhờ chế độ thu thập dữ liệu liên tục, đầu thu Phoenix có thể thu thập một hình ảnh radar duy nhất trong chưa đầy mười giây, cho phép khoảng thời gian cực ngắn giữa hai lần thu lại liên tiếp. Tuy nhiên, nhóm nghiên cứu đã quyết định thiết lập khoảng thời gian đo bằng 5 phút, giúp truyền dữ liệu bền vững do thời gian giám sát kéo dài nhiều tháng. Quy trình lắp đặt được các chuyên gia người Italia giúp đỡ lắp đặt và đã được [Saverio Romeo \[82\]](#) mô tả chi tiết.

2.2.4. Ứng dụng các phần mềm mô hình Địa kỹ thuật

a./ Phần mềm Geo Studio 2018 R2

Nhắc lại lý thuyết cơ bản về sức chống cắt của đất không bão hòa, [83] đề xuất quan hệ tuyến tính mô tả sức chống cắt của đất không bão hòa theo công thức:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u_a)\tan\phi' + (u_a - u_w)\tan\phi^b$$

Trong đó τ là cường độ kháng cắt của đất, c' lực dính hiệu quả, $(\sigma_n - u_a)$ ứng suất pháp tuyến trên mặt phẳng phá hủy, σ_n ứng suất pháp tuyến tổng; $(u_a - u_w)$ lực hút dính; ϕ' góc ma sát trong của đất; và ϕ^b góc liên kết giữa tốc độ tăng cường độ cắt với việc tăng lực hút.

Gia tăng áp lực nước lỗ rỗng nhanh là nguyên nhân trực tiếp dẫn đến suy giảm nhanh sức kháng cắt của đất trong thân khối trượt, nhất là tại vị trí mặt trượt. Tuy nhiên giá trị áp lực nước lỗ rỗng đo được ở mỗi độ sâu là khác nhau rất khó để xác định độ sâu nào là nguy hiểm nhất. Để làm rõ quan hệ giữa áp lực nước lỗ rỗng với chiều sâu, [84] đã đề xuất hướng xem xét áp lực nước lỗ rỗng như một hàm tương quan với chiều sâu được gọi là hệ số áp lực nước lỗ rỗng r_u , xác định theo công thức.

$$r_u = \frac{u}{\gamma * z * 10}$$

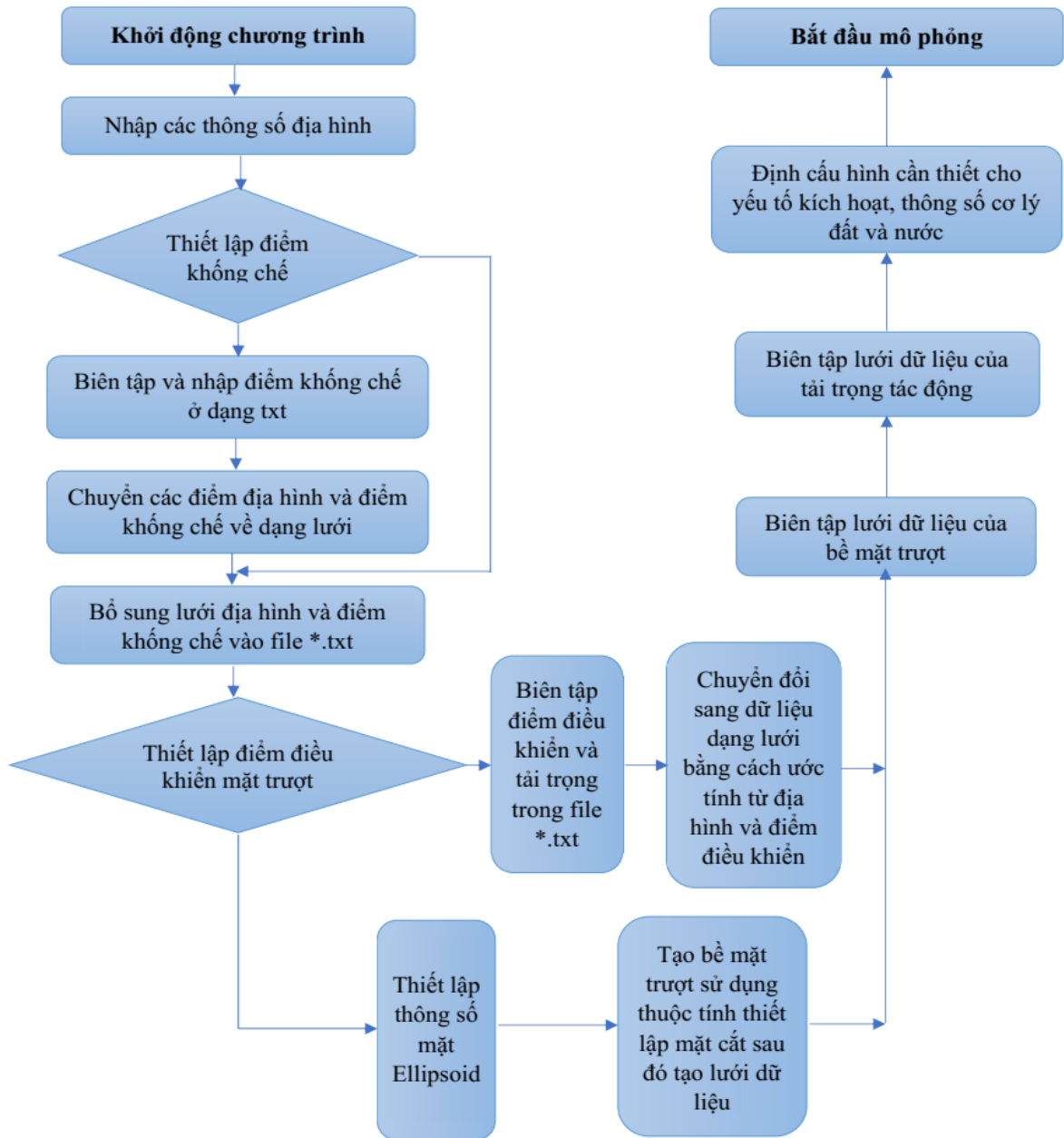
Trong đó: u là áp lực nước lỗ rỗng trong đất (kPa); γ là dung trọng của đất (g/cm^3); z là độ sâu vị trí mẫu đất (m); 10 là hệ số chuyển đổi đơn vị để γz tương đồng với u .

Áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu khác nhau được định nghĩa lại trong module SEEP/W qua tỷ số r_u . Kết quả phân tích thấm mô phỏng trong module SEEP/W được liên kết trực tiếp với module SLOPE/W để phân tích ổn định KTL. Sử dụng 500 lần lặp trong mỗi bước thời gian để phân tích cân bằng giới hạn và tìm hệ số ổn định tối ưu. Để giảm phương trình cơ bản, khối lượng trượt được chia thành 50 lát cắt dọc. Trong mô phỏng, dạng bề mặt trượt được chỉ định để phù hợp với kiểu trượt tịnh tiến của các KTL đang sử dụng để phân tích. Áp dụng phương pháp GLE nhằm phù hợp với kiểu dịch chuyển của KTL (xét cả lực pháp tuyến và tiếp tuyến giữa các dải và phải thoả mãn cả phương trình cân bằng lực và phương trình cân bằng mômen).

b/ Phần mềm LS-Rapid

Phần mềm LS-Rapid là một mô hình mô phỏng quá trình trượt từ giai đoạn ổn định, bắt đầu mất ổn định đến khi chuyển động theo các mặt trượt được kích hoạt bởi động đất, mưa lớn hoặc cả hai, đặc biệt phù hợp với mô phỏng hiện tượng TKL. Ban đầu, mô hình phân tích đơn giản chỉ là mô hình trượt tịnh tiến trên mặt trượt với giả định rằng sự mất mát năng lượng trong quá trình di chuyển là do ma sát [85]. Sau này, Kyoji Sassa (1988)

đã bổ sung các yếu tố khác trong phân tích các thành phần ảnh hưởng như: gia tăng áp lực lỗ rỗng, tác động địa chấn, quá trình gia tăng khối lượng thể tích vật liệu trượt. Nguyên lý cơ bản của mô hình LS-Rapid được trình bày chi tiết bởi bằng mô hình mô phỏng [86, 87]. Quy trình mô phỏng quá trình dịch chuyển của KTL được thực hiện như hình 2.5 nhằm xác định phạm vi ảnh hưởng của 2 KTL (Tân Sơn và Dúu Thượng).



Hình 2. 5. Sơ đồ các bước mô phỏng phạm vi ảnh hưởng của KTL bằng phần mềm LS-Rapid

CHƯƠNG III. ĐẶC ĐIỂM CÁC KHỐI TRƯỢT LỚN Ở MIỀN NÚI PHÍA BẮC

3.1. Đặc điểm hiện trạng trượt đất đá khu vực MNPB

Với điều kiện tự nhiên rất riêng của khu vực MNPB, trượt đất đá là dạng tai biến có các đặc điểm hình thái, hình thành và vận động rất khác với các dạng tai biến khác. Các đặc điểm này rất khó có thể được mô tả đầy đủ và giống với trạng thái trước khi mất ổn định nên để làm rõ đặc điểm hiện tượng trượt thường phải đánh giá qua các đặc điểm về hiện trạng. Với 26 KTL được điều tra chi tiết ([phụ lục 1](#)) và dữ liệu thu thập, NCS thấy rằng hiện trạng trượt đất đá ở MNPB có đặc điểm như sau:

a./ Về mức độ phổ biến

Trượt đất đá là dạng tai biến địa chất xuất hiện phổ biến nhất ở MNPB. Theo thống kê của Jica ở MNPB, có khoảng 50% tổng số vụ trượt đất đá được báo cáo ở quy mô nhỏ (<200m³) và 33% được báo cáo ở quy mô vừa (200-1000m³). Trượt đất đá quy mô nhỏ được phân biệt so với trượt quy mô lớn và rất lớn (chiếm 17%) ở chiều sâu mặt trượt, tốc độ dịch chuyển, diễn biến mưa. Và chỉ khi có sự xuất hiện của KTL mới cần phải sơ tán dân cư và di chuyển nhà cửa, công trình hạ tầng. Như vậy, giữa khối trượt nhỏ nông và các KTL ở MNPB có sự khác nhau về cơ chế xuất hiện và mặc dù KTL có tỷ lệ xuất hiện thấp hơn nhưng mức độ gây thiệt hại là rất lớn.

Qua khảo sát 26 KTL, các biểu hiện dịch chuyển rõ ràng của KTL đều được ghi nhận vào mùa mưa và rõ nhất là sau thời điểm mưa liên tục nhiều ngày. Tuy nhiên không phải trận mưa lớn nào cũng gây ra dịch chuyển đáng kể của KTL. Số lượng trận mưa kéo dài nhiều ngày trong năm thường không nhiều. Như vậy, KTL không phải là hiện tượng xuất hiện phổ biến. Đây cũng chính là nguyên nhân dẫn tới người dân sống ở khu vực có nguy cơ cao thường chủ quan trước hiện tượng này. Một số KTL gắn liền với diễn biến mưa kéo dài nhiều ngày điển hình như:

- KTL bản Sáng Tùng, Tả Ngao, Sìn Hồ, Lai Châu vào ngày 27/06/2018: diễn biến mưa đo được tại trạm Sìn Hồ cho thấy mưa xuất hiện liên tục từ ngày 07/06/2018, trong đó đặc biệt lớn trước đó vào ngày 24 và 25/06/2018 có lượng mưa đo được là 157mm và 164mm.
- KTL Thác Khanh, Hòa Bình vào ngày 12/10/2017: diễn biến mưa đo được tại trạm Tân Lạc cho thấy mưa xuất hiện liên tục từ ngày 07/10/2017, trong đó đặc biệt lớn trước đó vào 11/10/2017 có lượng mưa đo được là 145mm.

- KTL Nậm Lúc, Lào Cai vào ngày 31/08/2012: do ảnh hưởng của rãnh áp thấp nên có mưa trung bình khu vực Lào Cai là 45mm, có nơi mưa cục bộ trên 200mm trong nhiều giờ.
- KTL bản Khoang, Sapa, Lào Cai vào ngày 04/09/2013: diễn biến mưa đo được tại trạm Sapa cho thấy mưa xuất hiện liên tục từ nhiều ngày trước đó, trong đó mưa lớn hơn 200mm trong 5 giờ liên tục đã kích hoạt hiện tượng trượt.

b./ Về tác hại

Thiệt hại do trượt đất đá hằng năm ở MNPB là rất lớn và ảnh hưởng đến nhiều mặt của xã hội hơn các loại hình thiên tai khác. Theo thống kê từ TC PCTT trong giai đoạn từ 1953-2006, Việt Nam đã xảy ra 448 trận lũ quét và trượt đất đá, trung bình 7 trận/năm. Năm 2018, tại các tỉnh miền núi phía Bắc đã xảy ra 14 trận, làm chết và bị thương 82 người. Riêng tháng 5/2022, trượt đất đá ở NMPB đã làm 35 người chết, mất tích, 15 người bị thương, 24 nhà bị sập. Thực tiễn cho thấy, quy mô tai biến trượt đất đá thường tỷ lệ thuận với mức độ thiệt hại về kinh tế xã hội.

Vậy nên, hiện tượng TKL đang nổi lên trong những năm gần đây như một vấn đề rất phức tạp đối với các địa phương MNPB, nhất là để dự báo – cảnh báo hay quy hoạch khu tái định cư. Một số ảnh hưởng của TKL gây ra thiệt hại rất lớn có thể kể đến như:

KTL có thể tích lớn, diện ảnh hưởng rộng nên thường gây ra thiệt hại rất lớn về người và kinh tế. Ví dụ như mưa lớn nhiều ngày đã làm cho khu vực QL37 xuất hiện nhiều điểm trượt đất đá trong đó nghiêm trọng nhất là điểm trượt tại địa phận xã Mường Khoa, huyện Bắc Yên, tỉnh Sơn La với nguyên một quả đồi bị trượt xuống vùi lấp đường vào ngày 2/9/2018 và hiện nay vẫn còn nguy cơ trượt tiếp. Với khối lượng lớn vật liệu trượt kết hợp với độ dốc sườn cao nên KTL này có phạm vi ảnh hưởng rất lớn, người dân sinh sống bên dưới và xung quanh đã phải di dời sang vị trí tái định cư mới. Ngoài ra còn một số KTL khác tương tự như: KTL Móng Sến, KTL Ma Thi Hồ, KTL thác Khanh, KTL QL6 Chiềng Hắc, ...

KTL có diễn biến phát triển trong thời gian dài nên khó xác định được chính xác thời điểm mất ổn định. Những KTL này thường để lại tâm lý bất an cho người dân sinh sống gần đó. Dấu hiệu ban đầu xác định KTL có biểu hiện phát triển dịch trượt là vết nứt hình thành trên sườn dốc. Từ thời điểm xác định vết nứt trên sườn tới khi mất ổn định hoàn toàn, có KTL mất tới vài chục năm nhưng cũng có KTL chỉ mất vài ngày. KTL Tà Dinh được phát hiện gần 10 năm trước, ban đầu mới chỉ là vết nứt nhỏ, đến nay vết nứt tại xã Tà Dinh, huyện Điện Biên Đông, tỉnh Điện Biên đã ngày càng biến động, phát triển trở thành vết nứt rất lớn đe dọa tính mạng hàng chục hộ

dân trong xã. Tuy nhiên, vết nứt được phát hiện tại bản Sáng Tùng xã Tả Ngảo, huyện Sìn Hồ được phát hiện mở rộng hơn vào chiều ngày 26/6/2017 và tới rạng sáng 27/06/2017 KTL bắt đầu mất ổn định hoàn toàn và xóa sổ 26/28 ngôi nhà cùng nhiều tài sản của người dân ở bản.

KTL có mặt trượt nằm dưới sâu nên biện pháp xử lý ổn định khối trượt thường tốn kém và ít hiệu quả. Thực tế cho thấy kết quả xử lý ổn định trượt của KTL Cốc Pài (độ sâu mặt trượt: 16m), Móng Sến (độ sâu mặt trượt: 19m), đường đi Tú Lệ, xã Nậm Búng (độ sâu mặt trượt: 13m) cho thấy đều rất tốn về tài chính.

KTL có thể thúc đẩy hiện tượng tai biến khác diễn ra nguy hiểm hơn. Vật liệu trượt lắng đọng lại dưới chân khối trượt tạo thành đập chắn ngang dòng chảy của suối góp phần hình thành lũ quét. Ví dụ như KTL bản Khoang- Sapa và KTL Nậm Lúc- Bắc Hà đã góp phần nhiều trong quá trình hình thành dòng lũ bùn đá.

c./ Về diện phân bố

CSDL hiện trạng trượt đất đá khu vực MNPB được phân tích từ 8.304 điểm trượt có đầy đủ thông tin mô tả, tổng hợp từ các kết quả nghiên cứu của Viện Địa chất, Báo cáo hiện trạng giai đoạn I của Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản và bổ sung thêm một số KTL do NCS điều tra khảo sát từ năm 2008 đến nay (bảng 3.1). Mỗi điểm trượt được thống kê đều nằm tại những vị trí khác nhau, mang những giá trị riêng về kích thước và thể tích nên chúng được xem là những mẫu độc lập hoàn toàn. Trung bình toàn MNPB có mật độ điểm trượt là 0,078 điểm/km². Như vậy, 8.304 điểm trượt đất đá là khối lượng dữ liệu đủ lớn để phân tích thống kê các đặc điểm trượt đất đá ở MNPB với tỷ lệ 1:200.000.

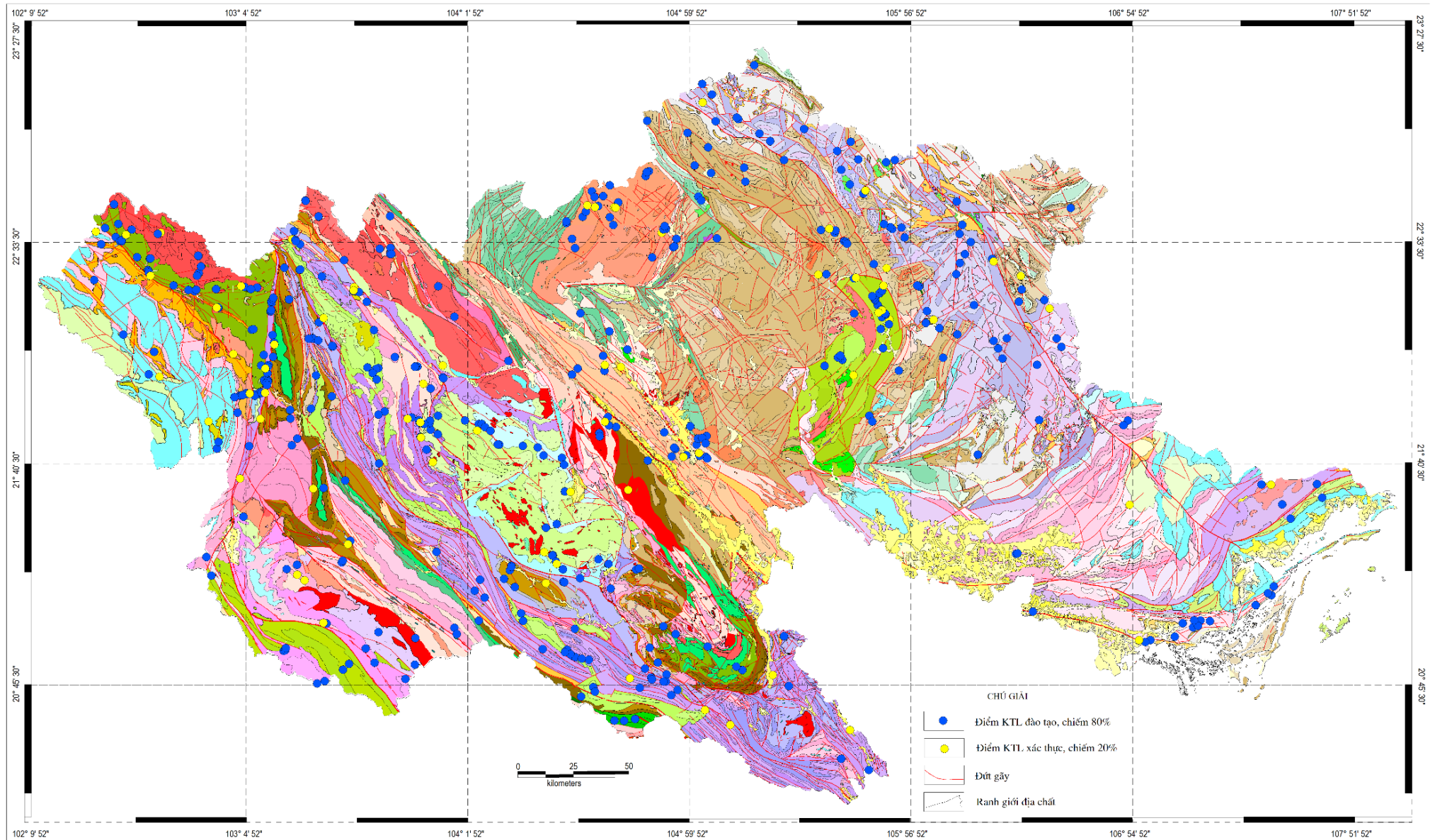
Mật độ điểm trượt đất đá của các tỉnh miền núi phía Tây Bắc lớn hơn ở Đông Bắc không nhiều và so sánh mức chênh lệch chỉ khoảng 6,4% nên có thể thống nhất quy luật hình thành KTL chung cho toàn vùng nghiên cứu theo mối tương quan về địa lý tự nhiên của MNPB. Mật độ điểm trượt ở tỉnh Yên Bái và Bắc Kạn là lớn nhất nhưng chiếm phần lớn là các khối trượt nhỏ nông. Các tỉnh Phú Thọ và Thái Nguyên mặc dù có tỷ lệ số lượng KTL so với KTNN là khá lớn vì do có ít điểm trượt được ghi nhận và đa phần là các khối trượt có thể tích nhỏ hơn so với trung bình chung của cả MNPB. CSDL thống kê trượt đất đá MNPB cho thấy trung bình thể tích khối trượt là 271m³; KTL có thể tích lớn nhất là tại xã Chăn Nưa, TX. Mường Lay, Lai Châu (1.950.000 m³); Lai Châu cũng là địa phương có tỷ lệ KTL trên tổng số điểm trượt cao nhất; nhưng Sơn La lại là địa phương có mật độ điểm trượt trên diện tích lớn nhất.

Bảng 3. 1. CSDL thống kê các KTL theo địa phương ở MNPB

Tỉnh	Diện tích tỉnh km ²	Số lượng khối trượt	Số lượng KTL	Thể tích lớn nhất m ³	Mật độ điểm trượt trên diện tích	Tỷ lệ KTL trên tổng số điểm trượt
Bắc Giang	3.844,0	106	2	5.593	0,028	1,9%
Bắc Kạn	4.859,4	701	30	178.500	0,144	4,3%
Cao Bằng	6.709,9	206	27	90.000	0,031	13,1%
Điện Biên	9.541,2	672	58	364.500	0,070	8,6%
Hà Giang	7.914,9	967	52	494.000	0,122	5,4%
Hòa Bình	4.608,7	182	15	43.500	0,039	8,2%
Lai Châu	9.068,8	969	113	1.950.000	0,107	11,7%
Lạng Sơn	8.320,8	90	9	375.000	0,011	10,0%
Lào Cai	6.383,9	531	9	131.250	0,083	1,7%
Phú Thọ	3.534,6	40	3	4.600	0,011	7,5%
Quảng Ninh	6.102,4	377	27	50.000	0,062	7,2%
Sơn la	14.174,4	1.683	77	98.000	0,119	4,6%
Tuyên Quang	5.867,3	246	30	3.000	0,042	12,2%
Thái Nguyên	3.531,7	22	3	1.000	0,006	13,6%
Yên Bái	6.886,3	1.158	48	330.000	0,168	4,1%
MNPB	101.348,3	7.950	503	1.950.000	0,078	6,3%

Số liệu thống kê ở trên cho thấy, các tỉnh nhiều KTL nhất là Lai Châu, Điện Biên, Sơn La, Hà Giang là khá tương đồng với thực tế diễn ra ở MNPB. Số lượng điểm trượt của tỉnh Lạng Sơn không lớn nhưng giá trị trung bình về thể tích của khối trượt ở Lạng Sơn lại lớn hơn so với trung bình các tỉnh khác. Ở Bắc Giang, giá trị trung bình thể tích khối trượt thấp nhất trong các tỉnh. Sự khác biệt này có thể do nhận định về thể tích không thống nhất giữa các nhóm đo vẽ hiện trạng cho toàn vùng MNPB.

Xem xét KTL trên nền bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 (hình 3.1) thấy rằng, phần lớn KTL nằm trên các đới dập vỡ kiến tạo lớn như: đới đứt gãy Điện Biên- Lai Châu, đới đứt gãy sông Đà, đới đứt gãy Than Uyên, đới đứt gãy sông Chày, đới đứt gãy Yên Minh- Phú Lương. Trong phạm vi ảnh hưởng của các đới dập vỡ kiến tạo trên, mật độ xuất hiện KTL cũng lớn hơn so với các khu vực khác. Một số khu vực có cấu trúc thạch học phức tạp mật độ KTL xuất hiện cũng lớn hơn nơi khác như ở Quảng Ninh, Hòa Bình và Cao Bằng.



Hình 3. 1. Sơ đồ hiện trạng KTL khu vực MNPB trên nền bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000

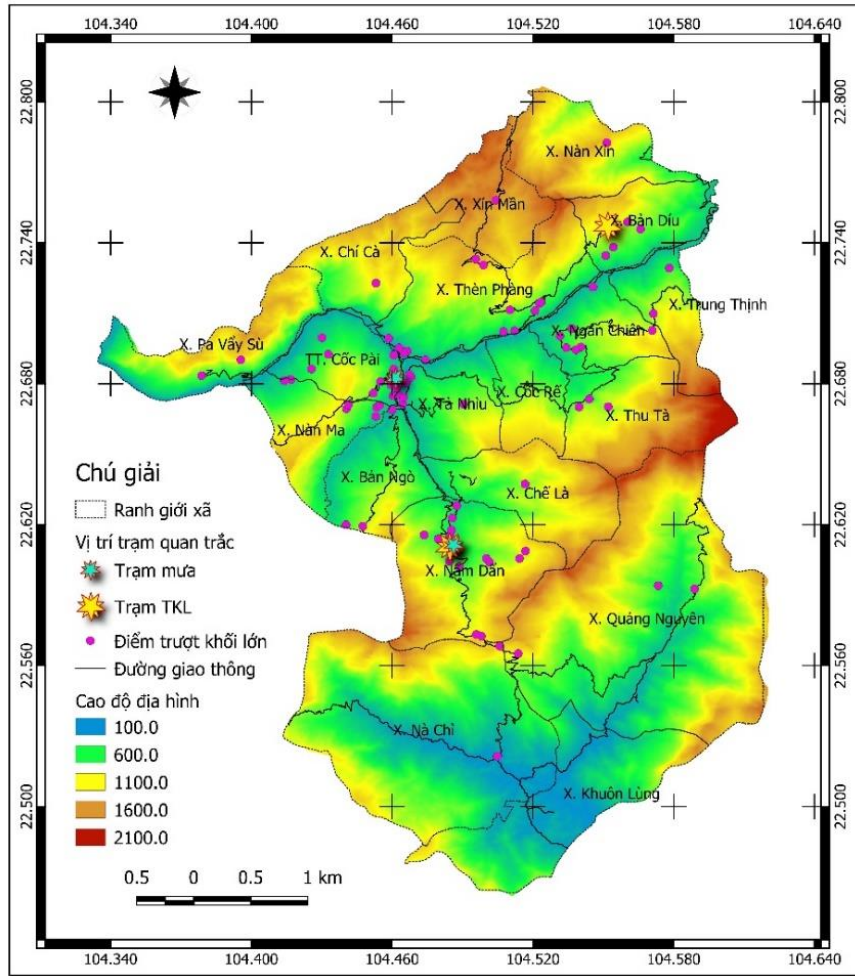
Để nhận thấy, hầu hết KTL được mô tả đều chịu ảnh hưởng của hoạt động nhân sinh, trong đó mở taluy làm đường giao thông dẫn tới mất ổn định KTL là phổ biến nhất như ở QL32, QL12, QL6, cao tốc Hạ Long- Vân Đồn, QL297... Việc sử dụng đất làm khu tái định cư hay làm ruộng bậc thang trên sườn dốc cũng là những yếu tố góp phần hình thành KTL. Tuy nhiên, quá trình khảo sát hiện trạng trượt đất đá phần lớn mới chỉ được thực hiện dọc theo các tuyến đường giao thông, có rất ít ghi chép mô tả KTL ở sâu trong rừng hay núi cao nên cần chú ý khi lựa chọn vùng nghiên cứu chi tiết với các tỷ lệ lớn.

d./ Hiện trạng KTL tại XM- HG

Hiện trạng trượt đất đá ở XM-HG được khá nhiều nhà khoa học quan tâm nghiên cứu nên số liệu về hiện tượng trượt rất phong phú mặc dù tỷ lệ và phạm vi nghiên cứu chưa hoàn toàn đồng đều cho toàn huyện. Đáng chú ý có thể kể đến **Trần Trọng Huệ (2010) [75]** điều tra hiện trạng trượt chi tiết cho khu vực trung tâm Thị trấn Cốc Pài; **Nguyễn Quang Huy (2017) [88]** tổng hợp tại XM-HG có 196 khối trượt, trong đó có 38 KTL chiếm tỷ lệ 19,1% tổng số; **Lê Quốc Hùng (2016) [89]** đã thống kê từ 2012 đến 2016 trên địa bàn XM-HG ghi nhận có 91 điểm trượt, trong đó có 46 điểm quy mô nhỏ (<200m³); 35 điểm có quy mô trung bình (200-1.000m³) và 10 điểm có quy mô lớn (>1.000m³). Các tài liệu trên có số lượng điểm trượt ghi nhận ở XM-HG khác nhau là do tỷ lệ nghiên cứu và thời điểm khảo sát khác nhau.

Từ năm 2015 đến nay, NCS đã khảo sát thực địa và bổ sung được 32 KTL, tổng hợp lại có 75 KTL trên địa bàn XM-HG (**hình 3.2**). Sơ đồ hiện trạng KTL trên địa bàn cho thấy, mật độ KTL xuất hiện nhiều ở khu vực quanh thị trấn Cốc Pài và khu vực phía Tây Bắc. Khu vực phía Nam của huyện xuất hiện với mật độ ít hơn khu vực phía Bắc. Hầu hết các KTL nằm ở địa hình có cao độ <1500m, nằm dọc các tuyến đường giao thông chính trong huyện, rất ít KTL xuất hiện ở khu vực có thảm phủ thực vật dày. Trong số 75 KTL, có 11 KTL dịch chuyển chậm, còn lại là đã dịch chuyển và lộ ra mặt trượt. Nhiều KTL có diễn biến trượt nhiều lần, lần sau có phạm vi trượt mở rộng hơn lần trước đó.

Nhìn chung, hiện tượng TKL phần lớn diễn ra theo kiểu trượt tịnh tiến, một số ít xuất hiện dưới dạng trượt hỗn hợp trong VPH. Địa hình KTL thường có độ dốc trong khoảng từ 20° - 25°, đa phần nằm trên sườn đã được cải tạo để làm ruộng bậc thang hoặc bạt mái taluy để làm đường giao thông. Hiện tượng trượt xói xuất hiện chia nhỏ KTL thành nhiều vách trượt nhỏ, xuất hiện liên tiếp và ảnh hưởng lẫn nhau. Một số KTL chịu ảnh hưởng của khe suối chảy qua chân khối trượt dẫn đến xói lở rôi mất ổn định.



Hình 3. 2. Sơ đồ hiện trạng KTL và trạm quan trắc hiện trường tại huyện XM- HG

NCS lựa chọn vùng XM-HG là vùng lấy ví dụ để nghiên cứu chi tiết vì ở đây có đặc điểm địa chất kiến tạo khá phức tạp, hoạt động nhân sinh làm ruộng bậc thang rất phổ biến, độ dốc địa hình lớn và đây cũng là nơi có lượng mưa trung bình năm khá cao ở khu vực MNPB. Một số yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành của KTL tại đây có thể kể đến như sau:

Kiến tạo: có 3 hệ thống đứt gãy kiến tạo phát triển ở khu vực XM-HG gồm: đứt gãy phương Tây Bắc- Đông Nam; đứt gãy phương Đông Bắc - Tây Nam và đứt gãy phương á kinh tuyến. Hệ thống đới đứt gãy kiến tạo tạo ra nhiều đới dập vỡ có biên độ từ 50-150m, là khu vực thuận lợi cho việc hình thành KTL.

Thạch học: khu vực XM-HG nằm trên vòm nâng sông Chảy có cấu tạo chủ yếu từ phức hệ sông Chảy, chỉ có một phần nhỏ diện tích nằm ở phía Tây Bắc thuộc hệ tầng Hà Giang với thành phần thạch học gồm đá phiến sét, phiến sét vôi, đá vôi. Gần ranh giới thạch học này xuất hiện mật độ lớn các KTL mà điển hình là KTL tại thị trấn Cốc Pài. Phần lớn đá gốc trong khu vực nghiên cứu là đá biến chất từ đá magma xâm nhập, đá bị ép phiến mạnh, thành phần thạch học chủ yếu gồm granit 2 mica, granit muscovit,

granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, đôi khi dạng porphyr yếu, cấu tạo dạng gneis, hay cấu tạo khối. Mặt phiến thường có thể nằm $300-320^\circ/25-40^\circ$.

Độ dốc: địa hình khu vực XM-HG là nơi có địa hình rất dốc với những thung lũng sâu rất thuận lợi cho KTL phát triển. Địa hình huyện được chia làm 2 khu vực bởi dải núi cao ở giữa chạy theo hướng từ Tây sang Đông, phía Bắc là các thung lũng giữa núi chạy dọc theo sông Chảy và suối Nậm Dẩn, phía Nam là các thung lũng dạng chiếc lá ở hai bên đổ dồn về giữa. Dạng địa hình chính chủ yếu là xâm thực bóc mòn, kết hợp với dạng địa hình trũng giữa núi, ở hạ lưu một số nhánh suối lớn còn có thêm nón phóng vật nhỏ có độ dốc nhỏ $10-15^\circ$ tích tụ các thành phần vụn thô.

Tác động của nhân sinh: dân cư sinh sống trên địa bàn huyện chủ yếu là người dân tộc vẫn quen với các phong tục bản làng. Tuy nhiên do nhu cầu, một số gia đình đã di dời nhà cửa ra sát đường giao thông và khu vực ruộng nương để tiện trồng cây. Tác động của hoạt động nhân sinh phát sinh do hoạt động trồng lúa trong ruộng bậc thang có ảnh hưởng rất mạnh tới ổn định của sườn dốc nói chung và KTL nói riêng. Diện tích ruộng bậc thang có xuất hiện KTL thường không thể sử dụng do không thể tích nước mặt được nữa. Mỗi khi có diện tích ruộng mất ổn định, vật liệu mảnh vụn bùn đá trượt vào các khu ruộng phía dưới làm bồi lấp mặt ruộng. Hiện nay các tuyến đường liên xã đã rất thuận tiện, tuyến đường ra cửa khẩu Xín Mần được mở rộng nhưng cũng là yếu tố góp phần thúc đẩy xuất hiện hiện tượng TKL.

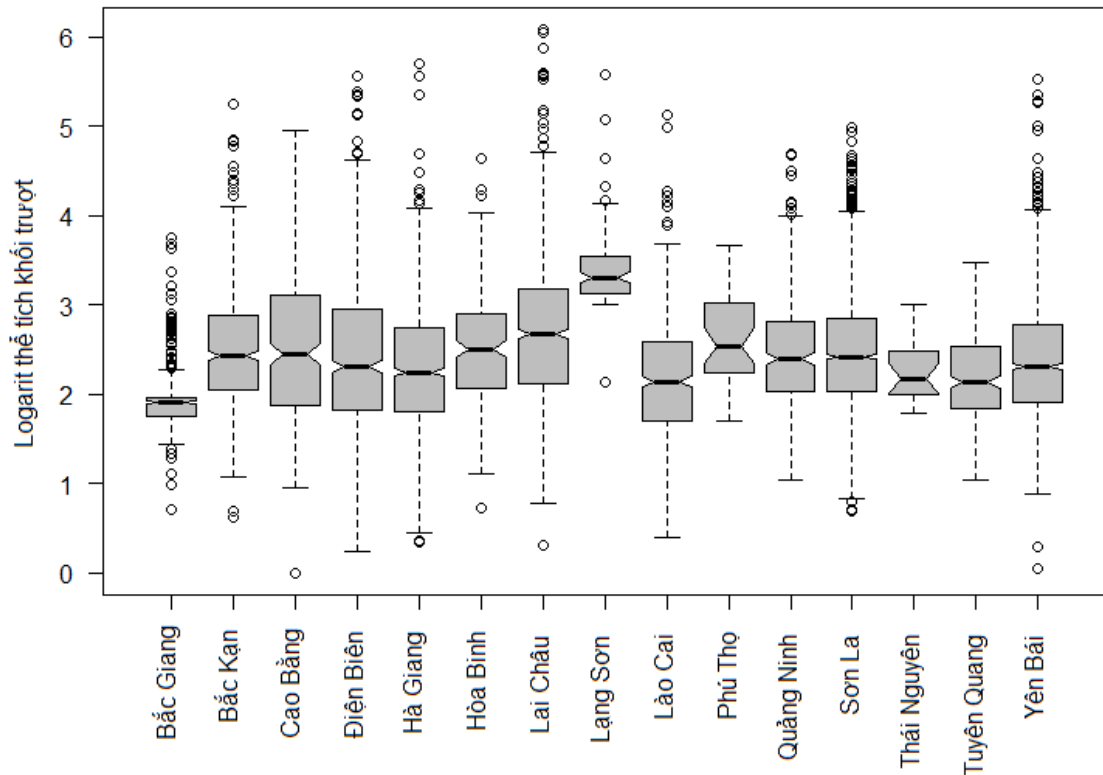
3.2. Phân phối thống kê về thể tích các khối trượt ở MNPB

3.2.1. Phân phối thống kê thể tích

Quan sát dữ liệu trượt đất đá của các tỉnh, qua biểu đồ boxplot ở hình 3.3 để thấy rằng có sự bất thường ở tần suất xuất hiện trượt đất đá ở một số địa phương. Tỷ lệ số lượng KTL so với KTNN ở tỉnh Lạng Sơn lớn hơn các tỉnh khác có thể do không có sự thống nhất trong nhận định hoặc đánh giá chỉ tập trung vào mô tả các KTL. Ngoài ra, có rất nhiều KTL được ghi nhận có giá trị thể tích nằm ngoài khoảng tứ phân vị của tập dữ liệu cho thấy KTL xuất hiện giống như một ngoại lệ theo phân phối logarit thể tích. Như vậy, dường như có một sự khác biệt đáng kể nào đó trong quy luật phân bố của một số khối trượt rất lớn số với tổng thể hiện tượng trượt đất đá ở MNPB cần được làm rõ. Vì vậy, quy luật phân bố về thể tích của KTL có sự khác biệt thống kê so với quy luật phân bố về thể tích của KTNN nên luận án hướng tới việc tìm ranh giới thống kê này.

Phân phối xác suất xuất hiện khối trượt thường tuân theo luật hàm số mũ phức tạp, do đó để thuận tiện trong phân tích phân phối thống kê, giá trị thể tích được

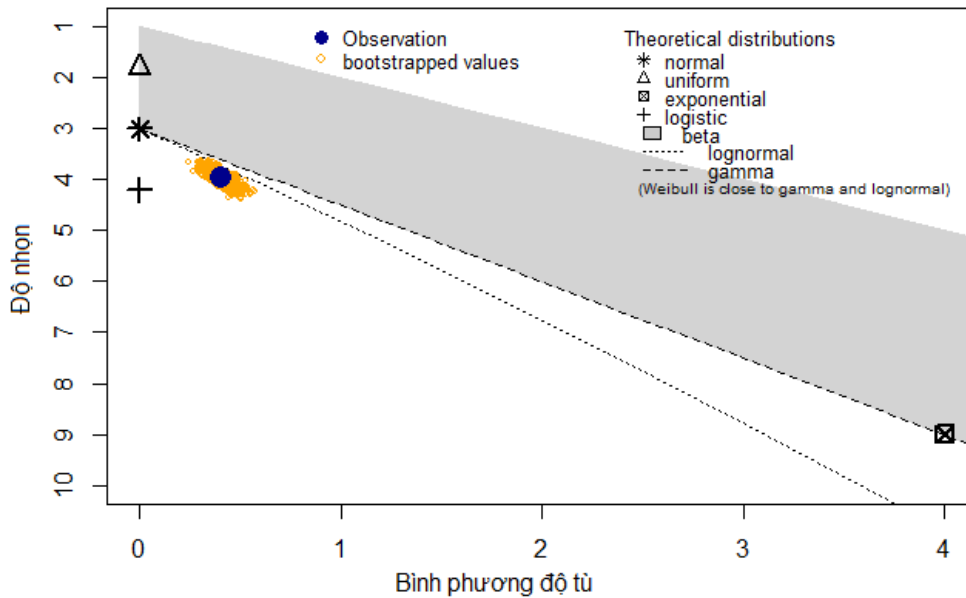
chuyển thành giá trị logarit của thể tích. Khi đó đồ thị phân phối tần suất xuất hiện trượt đất đá tuân theo luật phân phối log chuẩn có giá trị trung bình (2,43), phương sai (0,52), trung vị (2,35). Kiểm định thống kê bằng biểu đồ Cullen & Frey (hình 3.4 nhằm đánh giá qua chỉ số độ nhọn và độ lệch của phân phối) cho thấy dữ liệu logarit thể tích khối trượt phù hợp nhất với các dạng phân phối log chuẩn, phân phối logistic, và phân phối gamma. Tuy nhiên, kết quả đánh giá theo chỉ số AIC cho mô hình phân phối log chuẩn là nhỏ nhất so với các dạng phân phối khác. Do vậy, dữ liệu logarit thể tích khối trượt tuân theo luật phân phối log chuẩn là phù hợp nhất.



Hình 3. 3. Mức độ biến động logarit thể tích điểm trượt đất đá theo các địa phương MNPB

Phụ thuộc vào đặc điểm dữ liệu thống kê, lý thuyết thống kê cho phép xác định các đối tượng lớn theo 3 cách chính: dựa vào diện tích biểu đồ phân phối xác suất, dựa vào khoảng chia đều của độ lệch chuẩn hay giá trị thống kê, dựa vào chỉ số P và khoảng tin cậy 95%. Phân loại theo biểu đồ phân phối xác suất và khoảng chia đều thường áp dụng cho những tập hợp mẫu cố định, ít biến động, giới hạn phân chia là các giới hạn cố định trong mọi trường hợp, kết quả phân chia không cần kiểm định sự khác biệt giữa các nhóm. Với các đặc điểm về dữ liệu thống kê như trên, tổng hợp dữ liệu trượt đất đá ở MNPB trong nghiên cứu này là đủ lớn và có dạng phân phối log chuẩn, logarit thể tích KTL nằm ngoài tứ phân vị nên chúng là những đối tượng đặc biệt về thể tích. Hơn nữa, dữ liệu thống kê từ 8.304 điểm trượt phù hợp ở tỷ lệ nghiên cứu 1:200.000, có thể cập nhật bổ sung ở các tỷ lệ lớn hơn trong tương lai. Do

đó, cách xác định giới hạn thể tích KTL nên dựa vào kết quả kiểm định thống kê theo chỉ số P và khoảng tin cậy 95%.



Hình 3. 4. Kết quả kiểm định luật phân phối thống kê của logarit thể tích khối trượt theo biểu đồ Cullen & Frey

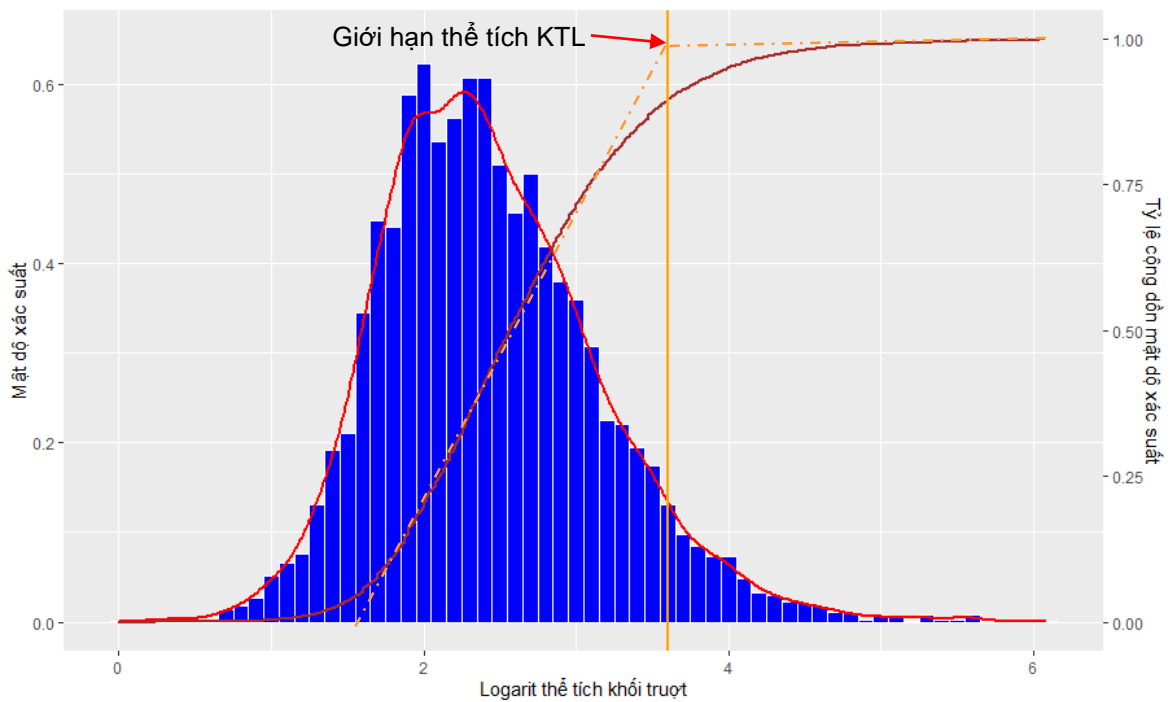
3.2.2. Giới hạn về thể tích KTL ở MNPB

Mục đích phân tích thống kê là tìm ra ranh giới sự khác biệt giữa nhóm KTL với nhóm KTNN trong chuỗi dữ liệu logarit thể tích khối trượt. Phân tích ở nhiều giá trị Vlog cho thấy giới hạn Vlog ở giá trị 3,65 là đáng quan tâm nhất. Kiểm định giả thuyết thống kê cho phép phát biểu giả thuyết chính H_1 ($Vlog\ KTL \geq 3,65$) và giả thuyết vô hiệu H_0 ($Vlog\ KTL$ có giá trị $< 3,65$), sau đó cần kiểm định lại các giả thuyết này. Xác suất quan sát thấy dữ liệu nếu giả thuyết H_0 là đúng được xác định là: $P(Vlog | Vlog\ KTL < 3,65) = 0,05$. Kết quả kiểm định giả thuyết cho thấy, xác suất xuất hiện $Vlog\ KTL > 3,65$ chỉ chiếm 5%, nhỏ hơn nhiều lần so với xác suất xuất hiện Vlog KTNN chiếm 95%, về mặt thống kê Vlog của KTL và KTNN được xem là có sự khác biệt. Với dữ liệu Vlog có dạng phân phối log chuẩn, khoảng tin cậy 95% tại vị trí $Vlog = 3,65$ là $[3,637 : 3,668]$, tương đương với khoảng thể tích $[4.337 : 4.658]m^3$. Ngoài ra, hình 3.5 cho thấy đường cong tỷ lệ cộng dồn mật độ xác suất biến đổi đột ngột về độ dốc tại vị trí $Vlog=3,65$ nên cũng có thể xem đây như một ranh giới phân biệt sự khác biệt về thể tích giữa nhóm KTL với nhóm KTNN. Như vậy, thể tích của KTL nên được chọn ở mức lớn hơn $4.500\ m^3$.

Kết quả kiểm định thống kê với 2 tập dữ liệu logarit thể tích KTL và KTNN theo tiêu chuẩn Kolmogorov-Smirnov cho giá trị p-value $< 2.2e-16$. Như vậy, 2 tập dữ liệu logarit thể tích khối trượt này không có cùng dạng phân phối xác suất. Vậy

nên, giá trị thể tích 4.500m^3 được coi là giới hạn thể tích khách quan để phân chia KTL và KTNN.

Xem xét thể tích các khối trượt cũng nói lên mức độ ảnh hưởng của khối trượt để lại trong không gian. Với mức thể tích KTL được chọn như ở trên, số lượng KTL ở MNPB là 466 khối trượt. Tổng hợp số liệu cho biết tổng thể tích của các KTL (là $16.160.906\text{ m}^3$) lớn hơn gấp 4 lần tổng thể tích các nhóm khác gộp lại mặc dù số lượng KTL nhỏ hơn hơn 17,13 lần. Điều này là một phần minh chứng tầm quan trọng của việc nghiên cứu KTL và khả năng ảnh hưởng của KTL khi nó xảy ra trong phạm vi vùng nghiên cứu. Thực tế cho thấy, khi mất ổn định KTL thường gây ra thương vong to lớn hoặc là yếu tố làm gia tăng mức độ tàn phá của tai biến lũ bùn đá.



Hình 3. 5. Biểu đồ mật độ xác suất xuất hiện trượt đất đá theo logarit của thể tích khối trượt ở MNPB

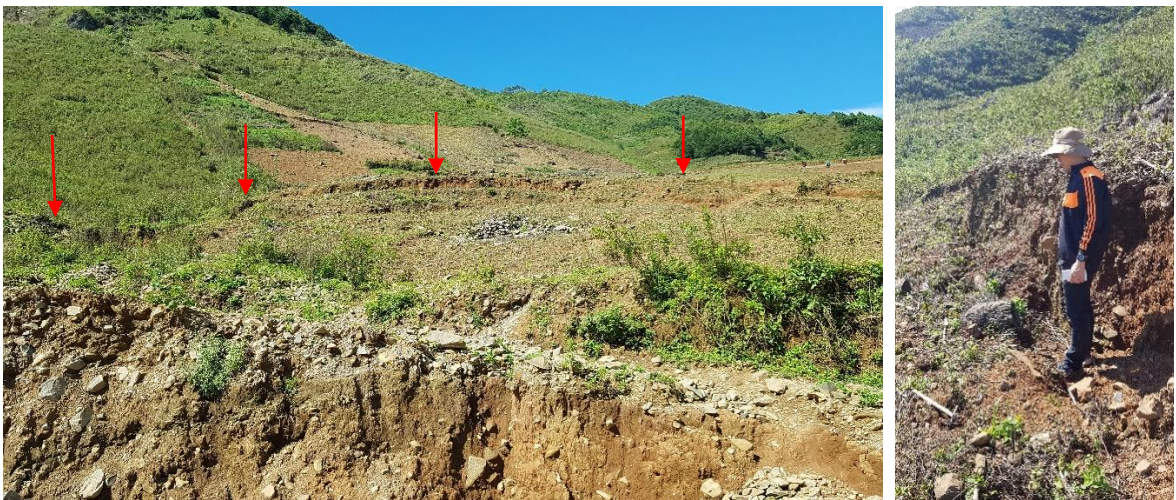
3.3. Đặc điểm hình thái khối trượt lớn

3.3.1. Đặc điểm hình học các KTL

Quá trình dịch chuyển mất ổn định của KTL kéo theo khối lượng lớn vật liệu trượt dịch chuyển xuống dưới chân sườn dốc không phải lúc nào cũng để lộ hoàn toàn bề mặt trượt. Nhận định đặc điểm mặt trượt phải gián tiếp thông qua đặc điểm khoảng dịch chuyển, mật độ và chiều dài khe nứt tách, vách trượt chính và các vách trượt thứ cấp, kiểu hình sườn dốc để xác định kiểu mặt trượt... Như vậy, đặc điểm hình học

của KTL là đặc điểm rất quan trọng để nhận biết KTL đang phát triển. Đặc điểm hình học của KTL có thể thấy một số điểm đặc trưng chính như sau:

- Vách trượt chính: là đặc điểm về hình học dễ nhận biết và xác định nhất khi KTL mất ổn định hoàn toàn do nó có thể lộ ra hầu hết mặt trượt ở phần trên cao sát với đỉnh khối trượt. Đối với bề mặt trượt hình thành trên bề mặt đá gốc (ranh giới giữa phong hóa trung bình với phong hóa yếu), vách trượt chính sẽ lộ ra bề mặt đá gốc cho thấy thành phần vật liệu của thân khối trượt. Chiều cao của vách trượt chính cho ta ước tính được khoảng dịch chuyển lớn nhất mà thân khối trượt đã dịch chuyển và ước tính lượng vật liệu vùi lấp ra xa. Vách trượt chính có thể thấy rõ ở các KTL như: Bản Khoang, Nậm Lúc, đèo Ma Thi Hồ, QL37 Mường Khoa,...
- Vách trượt nhỏ nối tiếp nhau: Đây là hiện tượng khá phổ biến thường xuất hiện ở phía gần đỉnh khối trượt. Vách trượt nhỏ thường nằm ngang khối trượt, kéo dài tạo thành đường thẳng liên tục, có thể tạo thành bậc cao từ vài chục cm cho đến đến vài mét. Vách trượt nối tiếp nhau thường là kết quả của quá trình dịch chuyển tách giãn ở đỉnh khối trượt. Trong quá trình khảo sát nhiều KTL có thảm phủ phát triển tốt nên rất khó phát hiện vách trượt này do lá cây che hoặc vùi lấp. Hiện tượng này được ghi nhận ở KTL thị trấn Bắc Yên, Sơn La (hình 3.6).



Hình 3. 6. Vách trượt thứ cấp cắt ngang KTL tại thị trấn Bắc Yên, Sơn La có chiều cao 1,5m

- Khe nứt tách: Khe nứt tách không chỉ làm giảm hệ số ổn định của sườn dốc mà còn gia tăng thêm áp lực thủy động khi nó được đổ đầy nước. Khe nứt tách là đường dẫn thuận lợi để nước mặt thấm nhanh vào trong đất làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng ở vùng lân cận khe nứt, thúc đẩy quá trình hình thành mặt trượt. Việc phát hiện sớm khe nứt tách có ý nghĩa quyết định trong việc phòng tránh và giảm nhẹ thiệt hại do TKL như ở bản Sáng Tùng, xã Tả Ngao, Sìn Hồ (2018) và

lên kế hoạch di dời dân cư ra khỏi vùng nguy hiểm như: bản Ngâm, xã Song Pe, huyện Bắc Yên; trung tâm xã Tà Đình, huyện Điện Biên Đông; trung tâm xã Huổi Sớ, huyện Tủa Chùa; xóm Cơi 1, xã Suối Nánh, huyện Đà Bắc.

- Gờ lượn sóng ngang KTL: Bề mặt xuất hiện gờ lượn sóng ngang thường ở những KTL có kiểu trượt chậm kéo dài đã hình thành được thời gian dài. Vị trí xuất hiện gờ lượn sóng ngang thường nằm ở phía gần dưới chân khối trượt. Gờ lượn sóng ngang là kết quả của quá trình dịch chuyển nén ép của phần thân khối trượt xuống dưới. Gờ lượn sóng ngang tương đối khó phát hiện do kích thước của chúng không lớn, dễ nhầm lẫn với các đối tượng khác trên sườn dốc, hoặc bị thảm phủ thực vật che lấp nên khi khảo sát cần đo đạc kỹ mới phát hiện. Gờ lượn sóng ngang KTL xuất hiện ở khối trượt đầu cầu Tràng Hương, Mèo Vạc, Hà Giang, KTL ở bản Pín Pé, xã Cát Thịnh, Văn Chấn, Yên Bái.
- Bề mặt có trũng sũng nước: hiện tượng này thường xuất hiện khu vực dưới chân khối trượt, diện tích có thể lên đến hàng chục mét vuông. Nước trong sườn được bổ cập liên tục nên tuy sườn dốc tương đối nhưng lúc nào đất đá cũng ẩm ướt. Hiện tượng này được ghi nhận ở khối trượt trên đường TL 178 vào xã Nậm Dẩn.
- Rãnh xói mở rộng nhanh và sâu: là hiện tượng rất phổ biến xuất hiện trên bề mặt sườn dốc, nhất là KTL kiểu trượt chậm kéo dài. Ban đầu, rãnh xói chỉ là một khe nước nhỏ xuất hiện trên vách trượt nhưng do áp lực nước quá mạnh làm tập trung dòng chảy xói trên bề mặt làm mở rộng nhanh rãnh xói và xói sâu xuống dưới. Rãnh xói có kích thước nhỏ ở phía trên gần đỉnh núi trượt và mở rộng hơn về phía dưới. Rãnh xói xuất hiện là kết quả của quá trình gia tăng áp lực nước nhanh, tạo dòng chảy xói qua các rãnh khe nứt ở trên vách trượt. Hiện tượng này được ghi nhận ở KTL chợ Tân Sơn, Nậm Dẩn (hình 3.7).
- Chiều cao KTL: là khoảng chênh cao giữa cao độ đỉnh khối trượt so với cao độ chân khối trượt, được sử dụng để ước lượng phạm vi ảnh hưởng của KTL. Chiều cao KTL đã mất ổn định thường phản ánh cả chiều cao của khối trượt và chiều cao phần vật liệu dịch chuyển trên sườn, khác với chiều cao KTL chưa mất ổn định. Qua thực tế khảo sát, chiều cao KTL ở MNPB thường lớn hơn 35m.
- Chiều rộng KTL: là khoảng cách lớn nhất giữa 2 cánh của khối trượt. Với giới hạn thể tích của KTL như kết quả phân tích trong phần 3.2, chiều rộng KTL ở MNPB thường lớn hơn 45m. Chiều rộng KTL có thể khác với chiều rộng phạm vi dịch chuyển của thân khối trượt. Trong một số trường hợp, do đặc điểm địa

hình bị co hẹp lại nên chiều rộng phạm vi dịch chuyển của KTL nhỏ hơn chiều rộng KTL, có thể thấy điển hình như ở KTL Chế Cu Nha và KTL Sáng Tùng.

- Chiều dài KTL: là chiều dài của phần mặt trượt lớn nhất của KTL theo mặt sườn dốc trước khi mất ổn định. Qua thực tế khảo sát KTL, chiều dài KTL thường lớn hơn 90m, và lớn nhất có thể đến 505m. Chiều dài KTL nhỏ hơn nhiều tổng chiều dài dịch chuyển của toàn bộ KTL nên trong quá trình đo vẽ cần xác định chân của bề mặt trượt để giới hạn phạm vi chiều dài KTL.



Hình 3.7. Ảnh chụp bằng UAV KTL chợ Tân Sơn, Nám Dẩn và rãnh xói rộng từ 0,5m đến hơn 2m, sâu 1m xuất hiện sau mưa lớn tháng 8 năm 2016

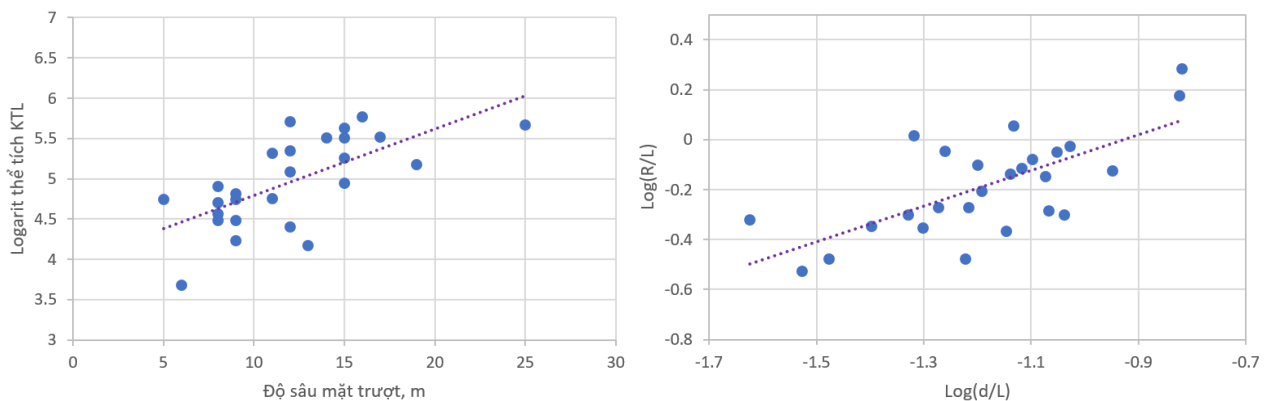
3.3.2. Đặc điểm mặt trượt

Như KTL được mô tả ở [phụ lục 1](#) đều không xuất lộ mặt trượt hoàn toàn, một số còn đang trong giai đoạn tiền mất ổn định hoặc giai đoạn kích hoạt lại chỉ lộ một phần nhỏ mặt trượt ở trên đỉnh. Do vậy, đặc điểm mặt trượt của KTL được xác định qua các đặc điểm về hình thái, trong đó quan trọng nhất là chiều dài, chiều rộng và độ sâu mặt trượt. Chiều dài KTL thường lớn hơn chiều sâu mặt trượt rất nhiều, do đó mặt trượt có dạng trượt phẳng trên các mặt không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt kiến tạo. Điều này có thể thấy rõ ở những khối trượt đã lộ rõ bề mặt trượt như ở KTL Bán Rịa, KTL Thác Khanh, KTL Bản Khoang. Mối quan hệ thống kê giữa độ sâu mặt trượt với logarit thể tích của 26 KTL được khảo sát chi tiết tuân theo quy luật tuyến tính. Ngoài ra, logarit tỷ số độ sâu mặt trượt - chiều dài khối trượt với logarit tỷ số chiều rộng - chiều dài khối trượt cũng có dạng tuyến tính khá tương đồng ([hình 3.8](#)). Như vậy, độ sâu mặt trượt có quan hệ mật thiết với các thông số hình thái của KTL. Thêm nữa, trên mặt trượt của KTL lộ ra còn có các rãnh đọng nước

cho thấy trước khi hình thành trượt đã có dòng chảy xói hình thành ở vị trí mặt trượt nguy hiểm nhất như ở KTL Chế Cu Nha, KTL Bắc Yên- Sơn La.

Mặt trượt của KTL thường là các mặt không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt kiến tạo. Mặt trượt là các mặt không liên tục về khe nứt kiến tạo được thấy rõ ở KTL Ma Thi Hồ- Điện Biên, KTL Bắc Yên- Sơn La, KTL Cốc Pài – XM-HG; mặt trượt là các mặt chuyển tiếp về thành phần thạch học như ở KTL Tân Sơn, KTL Thác Khanh- Hòa Bình, KTL Dúu Thượng – XM-HG, KTL Chế Cu Nha- Yên Bái. Ví dụ tại KTL Thác Khanh, mặt trượt lộ ra hoàn toàn sau khi KTL mất ổn định và trùng với mặt chuyển tiếp về thành phần thạch học (hình 3.9a).

Khảo sát chi tiết vị trí mặt trượt, thành phần còn lại bên trên là trầm tích cacbonat thuộc hệ tầng Đồng Giao thành phần chủ yếu sét pha lẫn dăm sạn và travertine phong hóa từ đá vôi, bên dưới là trầm tích biển hệ tầng Tân Lạc thành phần cát bột kết, sét kết màu xám ghi sẫm màu. Ví dụ tại KTL Bắc Yên – Sơn La, mặt trượt là mặt không liên tục do hệ thống khe nứt kiến tạo hình thành (hình 3.9b). Hệ thống khe nứt tạo thành mặt trượt ở khối trượt này được hợp bởi 2 hệ thống khe nứt chính, hệ thống khe nứt thứ nhất trùng với hướng trượt có hướng $210^{\circ}/10^{\circ}$, hệ thống khe nứt thứ 2 gần vuông góc với hệ thứ nhất có hướng $110^{\circ}/75^{\circ}$. Không phải lúc nào mặt trượt của KTL cũng xuất lộ rõ ràng như ở 2 ví dụ ở trên, đa phần đều bị lấp kín và chỉ để lộ một phần nhỏ diện tích mặt trượt.



Hình 3. 8. Mối quan hệ theo thông số hình học của 26 KTL được khảo sát chi tiết với độ sâu mặt trượt.

(a) độ sâu mặt trượt với logarit thể tích KTL; (b) Logarit tỷ số độ sâu mặt trượt - chiều dài khối trượt với logarit tỷ số chiều rộng - chiều dài khối trượt

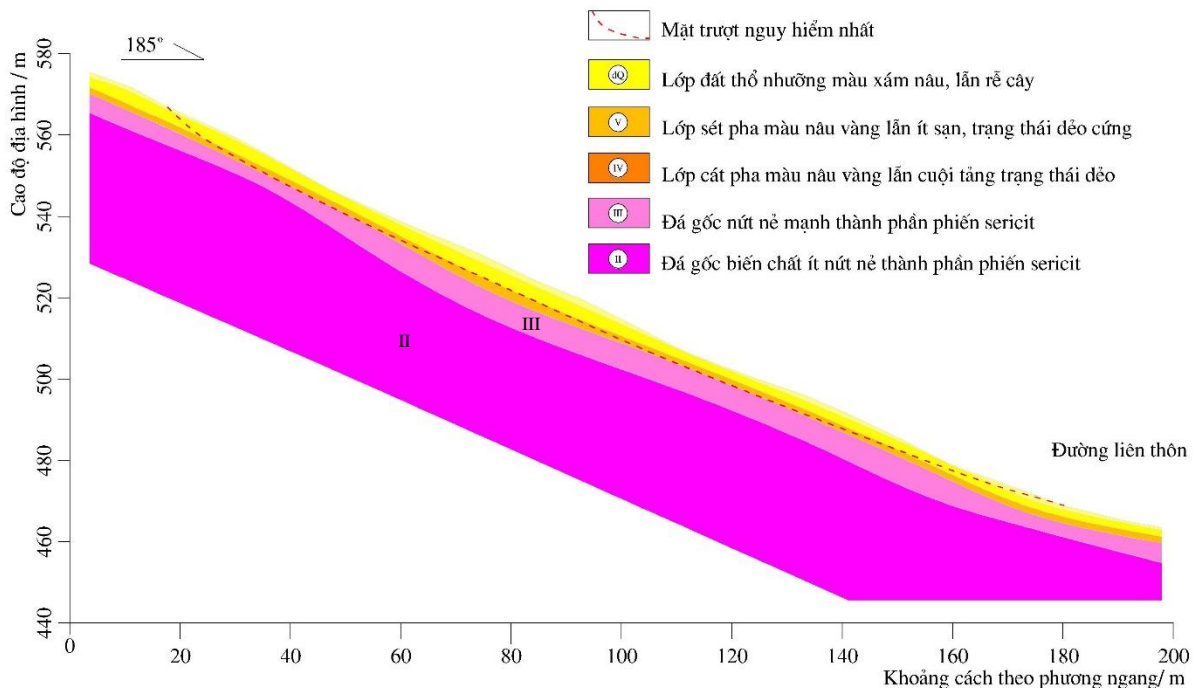


Hình 3. 9. Mặt trượt là các mặt không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt tại KTL thác Khanh (a) và KTL Bắc Yên (b)

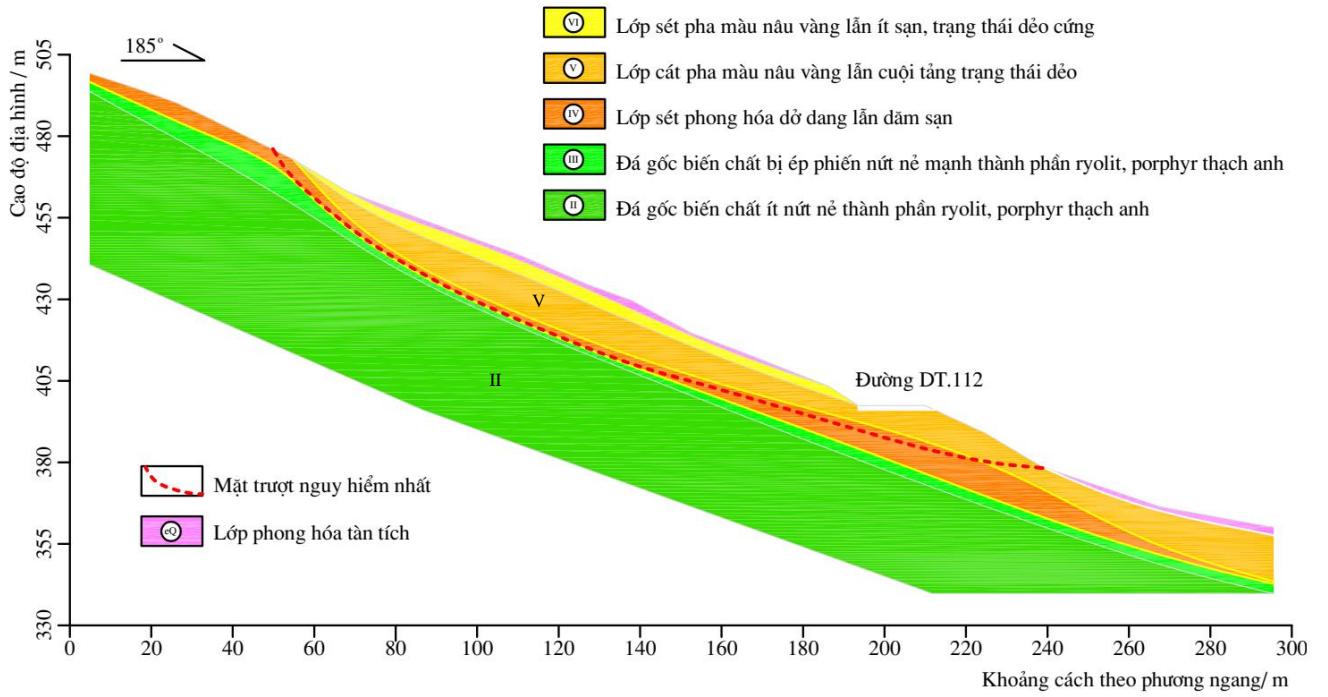
Với 26 mặt cắt VPH do NCS đo vẽ chi tiết cho thấy có 6 kiểu VPH điển hình ảnh hưởng tới sự hình thành mặt trượt (xem chi tiết trong phụ lục 1). Nhìn chung mặt trượt nguy hiểm nhất đều nằm gần mặt phân cách giữa lớp phong hóa mạnh vừa với lớp phong hóa trung bình thì mới tạo nên cấu trúc khối trượt có quy mô đủ lớn. Chiều sâu mặt trượt như vậy kết hợp chiều dài dịch chuyển lớn đến hàng trăm mét như các trường hợp trên, kiểu trượt tịnh tiến sẽ là kiểu trượt phổ biến. Vị trí xuất hiện vách trượt thường là gắn liền với những nơi có địa hình chuyển tiếp từ dốc đứng sang thoải dần đồng thời với nơi có chiều dày lớp đất phong hóa tại chỗ thành vật liệu vụn mịn tăng nhanh. Trường hợp VPH mỏng và sườn dốc đều thì KTL có vách trượt mở rộng về phạm vi và liên kết với nhiều vách trượt khác tạo nên quy mô lớn (KTL Dú Hạ, Bản Dú, Xín Mần). NCS tổng hợp các kiểu vỡ phong hoá dựa trên đặc điểm về địa hình kết hợp với thành phần thạch học để chia làm 6 kiểu như sau:

- VPH 1: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn <10m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh, VD: KTL Dú Thượng và KTL Dú Hạ, Bản Dú, XM-HG (hình 3.10).
- VPH 2: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn <10m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu, VD: KTL Mường Khoa, Bắc Yên, Sơn La; KTL Bản Rịa, Quang Bình, Hà Giang (hình 3.11).
- VPH 3: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn trong phạm vi 10-15m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh, VD: KTL Tân Sơn, XM-HG và QL32 Nậm Búng, Văn Chấn, Yên Bái (hình 3.12).

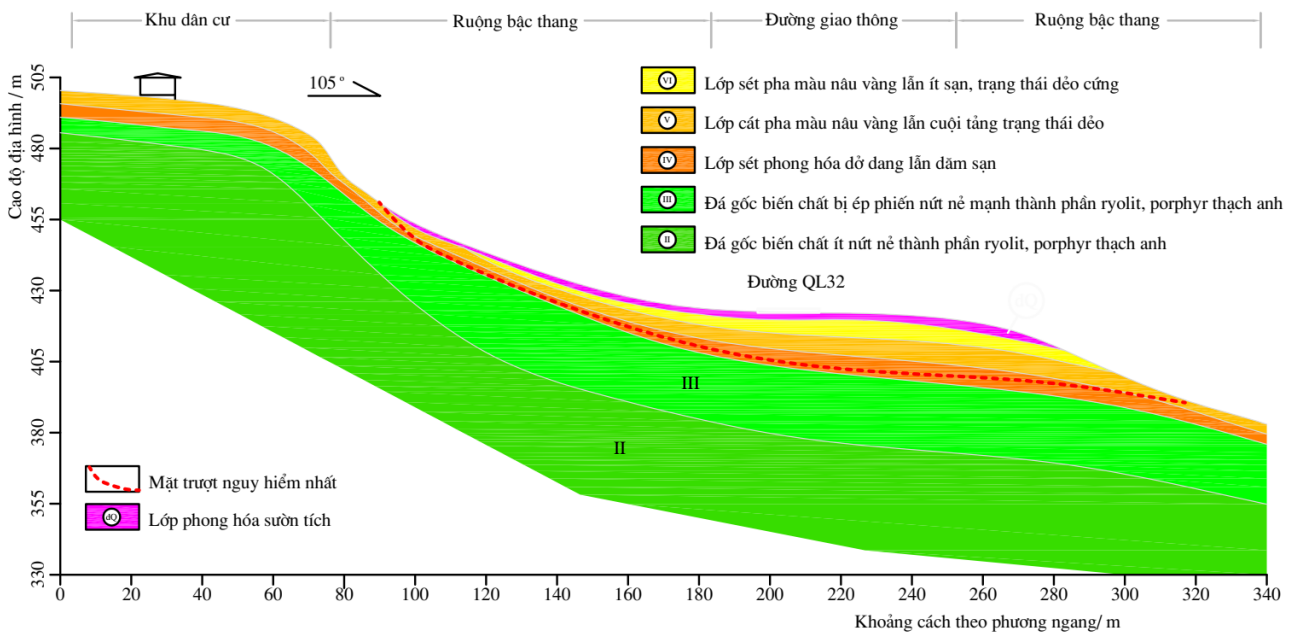
- VPH 4: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn trong phạm vi 10-15m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu, VD: KTL thác Khanh, Tân Lạc, Hòa Bình (hình 3.13).
- VPH 5: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn >15m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh, VD: KTL Móng Sến, Lào Cai; KTL bản Sáng Tùng, Sìn Hồ, Lai Châu (hình 3.14 và hình 3.15).
- VPH 6: bề dày lớp phong hóa hoàn toàn >15m, mặt trượt nguy hiểm trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu, VD: KTL Nậm Lức, KTL Bản Rịa, KTL Bản Khoang (hình 3.16).



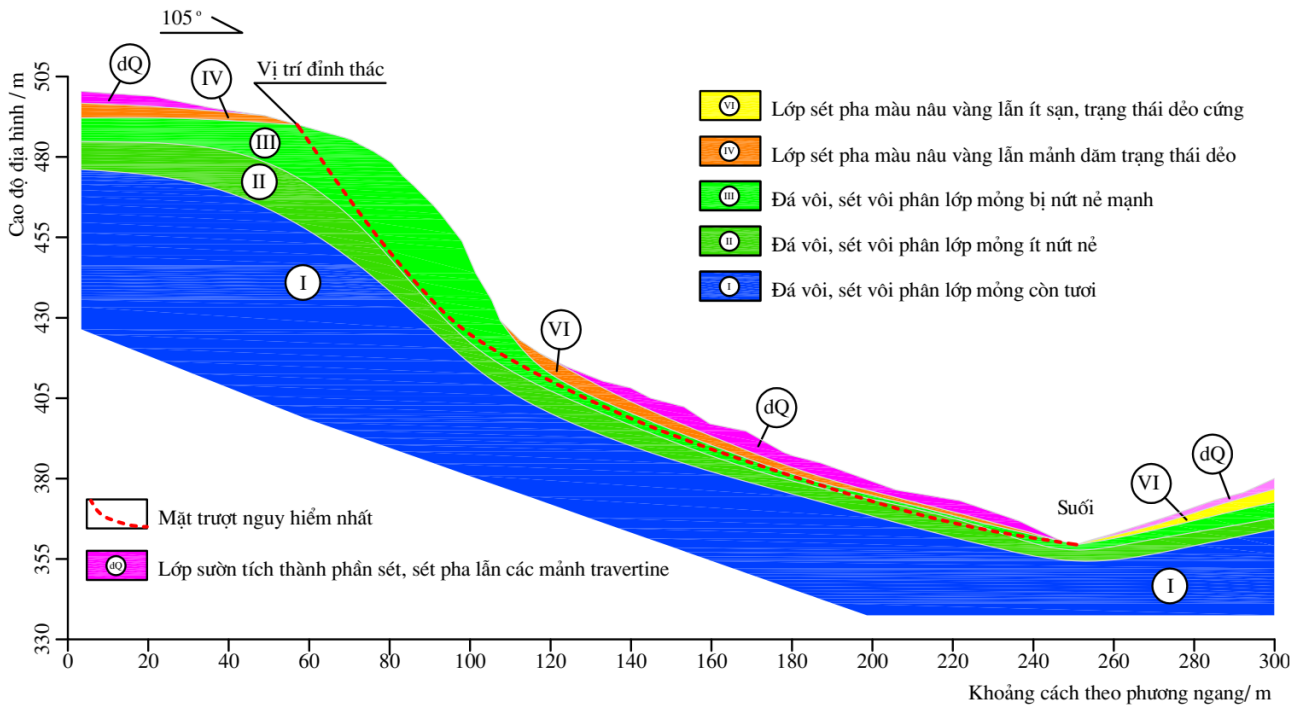
Hình 3. 10. VP1 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL thôn Dú Hạ, xã Bản Dú, XM-HG



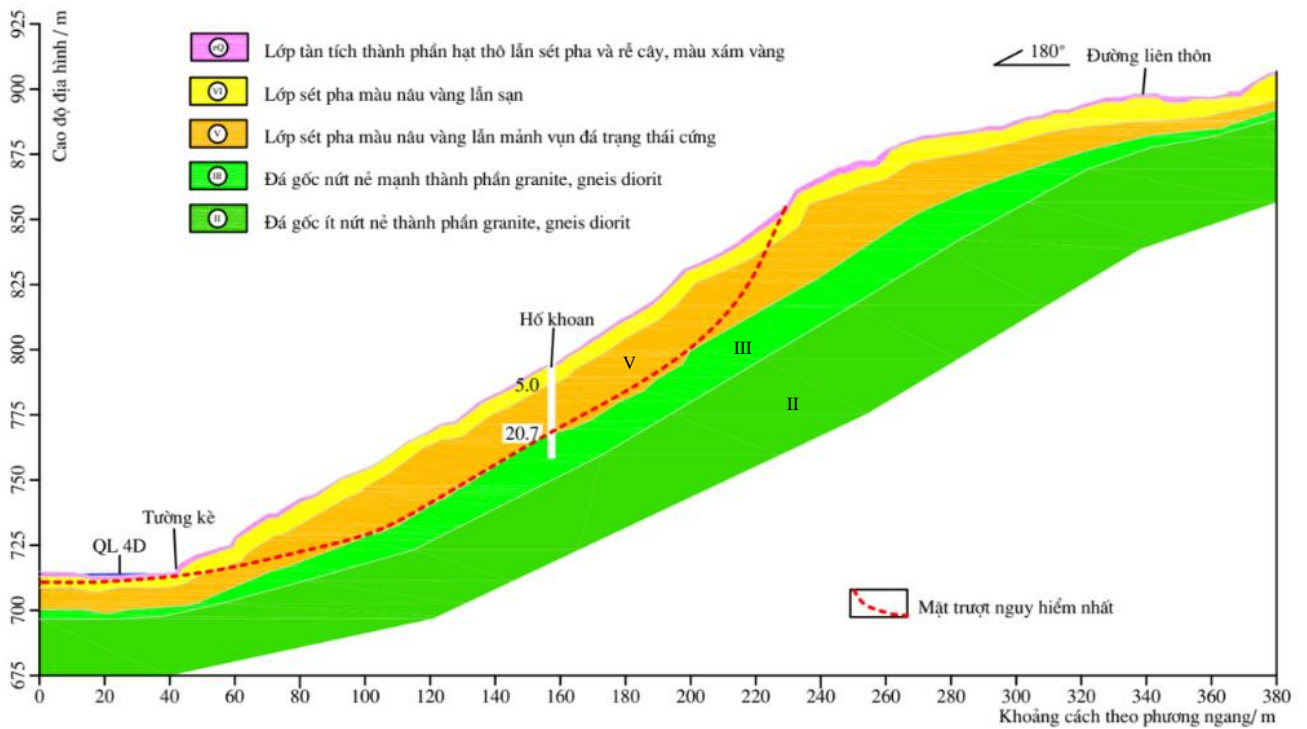
Hình 3. 11. VPH2 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL Bắc Yên, Sơn La



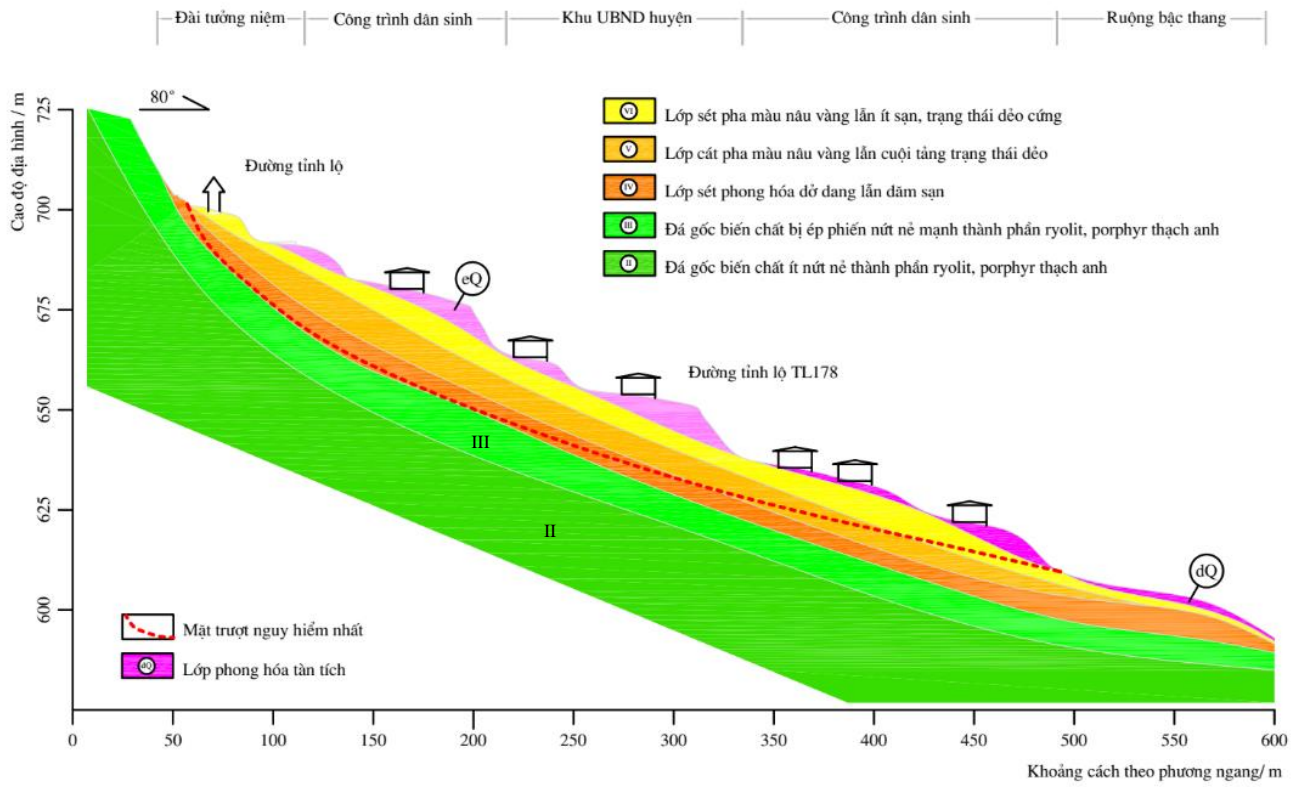
Hình 3. 12. VPH 3 - Mặt cắt VPH KTL trên QL32 đoạn qua xã Nậm Búng, Yên Bái



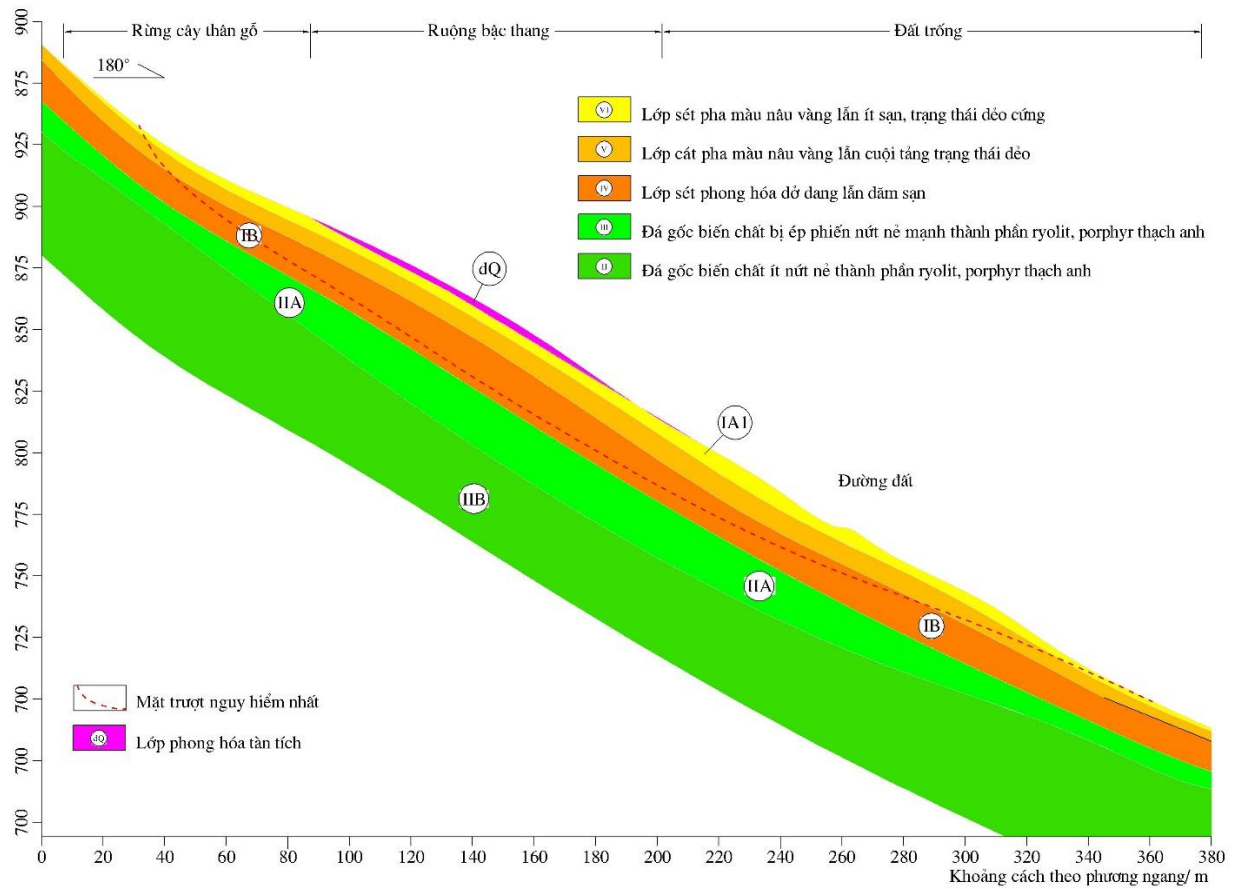
Hình 3. 13. VPH4 - Mặt cắt vò phong hóa KTL thác Khanh, Tân Sơn, Hòa Bình



Hình 3. 14. VPH5 - Mặt cắt vò phong hóa KTL Móng Sến, Lào Cai



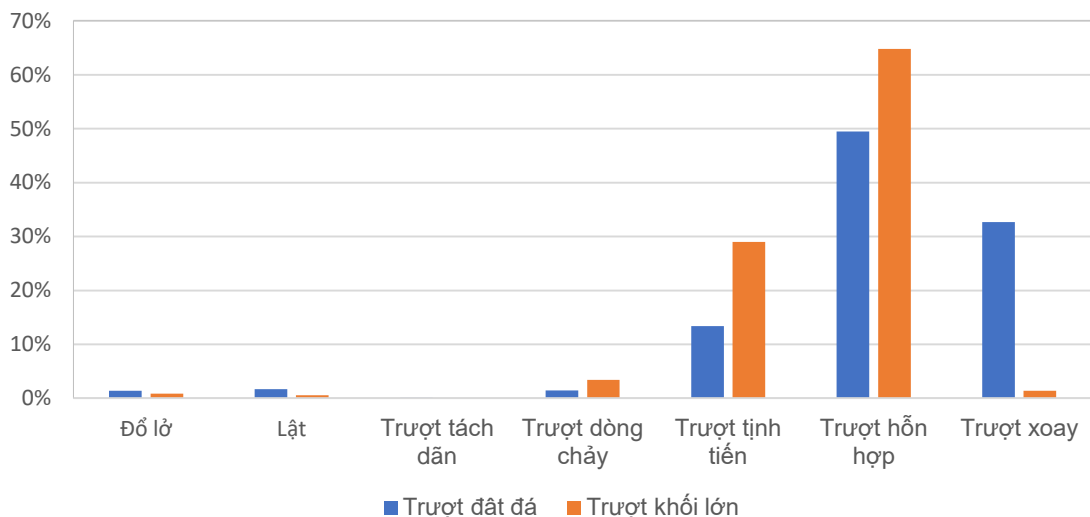
Hình 3. 15. VPH5 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL TT. Cốc Pài, XM-HG



Hình 3. 16. VPH 6 - Mặt cắt vỏ phong hóa KTL Chế Cu Nha, Mù Cang Chải, Yên Bái

3.4. Các loại hình khối trượt lớn

Khi xem xét trượt đất đá theo giới hạn về thể tích khối trượt, KTL thường xuất hiện ở MNPB tập trung vào 2 kiểu: trượt tịnh tiến và trượt hỗn hợp. Ngoài ra, các kiểu trượt như trượt dòng chảy chỉ chiếm khoảng 2,5% số lượng KTL xuất hiện ở MNPB, trượt xoay chỉ chiếm khoảng 1,5% số lượng KTL xuất hiện ở MNPB, đổ lở và lật đá chỉ chiếm 1% số lượng KTL (hình 3.17). Phần lớn các điểm ghi nhận hiện tượng trượt xoay đều nằm ở trên vách taluy do làm đường giao thông, hình thành với thể tích chỉ ở mức trung bình và nhỏ. Thực tế khảo sát, các điểm khảo sát của NCS cũng không ghi nhận được KTL nào có kiểu trượt xoay, đổ lở hay lật trong đá. Mặc dù về tỷ lệ ghi nhận trượt hỗn hợp được ghi nhận rất nhiều nhưng với đặc thù quy mô của KTL (chiều dài lớn hơn chiều sâu mặt trượt nhiều lần) thì quá trình dịch chuyển tịnh tiến sẽ chiếm ưu thế hơn so với các quá trình dịch chuyển khác. Số liệu khảo sát mô tả chi tiết 26 KTL của NCS cũng cho thấy kiểu trượt tịnh tiến chiếm ưu thế hơn so với các kiểu trượt khác.



Hình 3. 17. Thống kê theo tỷ lệ các kiểu trượt đất đá và TKL xuất hiện ở MNPB

3.4.1. KTL dạng tịnh tiến

Trượt tịnh tiến chiếm khoảng 30% các KTL xuất hiện ở MNPB. Loại trượt này có thể dịch chuyển với một khoảng cách đáng kể khi bề mặt trượt hình thành đủ dài và liên tục. Các KTL trượt theo kiểu tịnh tiến ở MNPB thường có chiều dài lớn hơn nhiều lần chiều rộng và chiều sâu mặt trượt. Tỷ lệ về kích thước của KTL tịnh tiến được làm rõ hơn khi xem xét mối quan hệ Logarit tỷ số độ sâu mặt trượt - chiều dài khối trượt với logarit tỷ số chiều rộng - chiều dài khối trượt (hình 3.8b). Thực tế khảo

sát cho thấy, tỷ lệ R/L của KTL kiểu tịnh tiến thường nhỏ hơn 0,1 khá tương đồng với mô tả trong [1].

Mặt trượt của KTL kiểu tịnh tiến thường là các mặt ranh giới giữa phong hóa trung bình và phong hóa yếu, bề mặt trượt lộ ra thường là đá gốc phong hóa yếu. Bề mặt này thường khá liên tục, hoặc nếu không liên tục thì sẽ tạo thành dạng mặt giao nhau hình nêm. Những bề mặt này khá thuận lợi cho hoạt động của nước dưới đất vận động và gia tăng áp lực lên những lớp bên trên. Diễn biến trượt tịnh tiến với vận tốc lớn, xuất lộ rõ mặt trượt trên đá gốc được NCS mô tả chi tiết cho KTL Nậm Lức, KTL Bản Khoang, KTL Thác Khanh, KTL Bản Rịa (chi tiết trong phần phụ lục 1).

3.4.2. KTL dạng hỗn hợp

Trượt hỗn hợp là loại hình có số lượng thống kê được nhiều nhất, chiếm khoảng 65% các loại KTL xuất hiện ở MNPB. Trượt hỗn hợp là sự kết hợp của hai hay nhiều loại hình trượt khác nhau, trong đó chủ yếu là trượt xoay với trượt tịnh tiến. Thực tế khảo sát cho thấy, tỷ lệ R/L của KTL kiểu tịnh tiến từ 0,15-0,33, khá tương đồng với kết quả phân tích trong [1].

Thân KTL dạng hỗn hợp thường hình thành trong các vật liệu đồng nhất, vật liệu hỗn hợp đất đá. Mặt trượt của KTL thường hình thành tại vị trí ranh giới của lớp phong hóa mạnh với phong hóa trung bình. Mặt trượt hình thành thường có dạng cong lõm và bắt đầu từ những vết nứt tách trên đỉnh khối trượt.

Một số trường hợp, khối trượt ban đầu chỉ chiếm diện tích nhỏ, sau đó lan rộng ra thành điểm có quy mô lớn. Khi đã mở rộng tới quy mô thể tích của KTL, quá trình dịch chuyển của KTL chủ yếu phụ thuộc tác động của trọng lực và tác động thủy tĩnh, tác động quay quanh trục hay đổ lở giảm đi. Do đó về lâu dài đối với các KTL có kiểu trượt hỗn hợp, quá trình trượt tịnh tiến vẫn chiếm ưu thế hơn so với các kiểu dịch chuyển trượt khác.

3.4.3. Diễn biến dịch chuyển của KTL

a./ Các giai đoạn dịch chuyển của KTL

Hiện tượng mưa kéo dài liên tục trong nhiều ngày hoặc mưa kéo dài kèm theo mưa lớn đột ngột đều có thể dẫn đến dịch chuyển mất ổn định của KTL. Tuy nhiên, quá trình mất ổn định không phải diễn ra tức thì mà đó là một quá trình lâu dài. Mức độ dịch chuyển có thể giảm dần theo từng năm như ở KTL Tân Sơn nhưng cũng có thể dần mở rộng hơn phạm vi ảnh hưởng như các khối trượt ở trên và gây thiệt hại lớn hơn như KTL cầu Móng Sến. Khác với KTNN chỉ hình thành và phát triển trong

một thời gian ngắn thì sự phát triển của KTL là một quá trình tích lũy lâu dài nhiều tháng, nhiều năm. Hơn nữa, sau khi mất ổn định KTL còn có thể tái hoạt động dẫn đến mở rộng kích thước khối trượt hoặc phá hủy với phạm vi lớn hơn ban đầu.

Khi hội tụ đầy đủ các điều kiện địa chất tự nhiên thuận lợi và hình thế tác dụng của các lực gây trượt được tạo thành thì KTL sẽ bắt đầu mất ổn định. Trong thời điểm đó, KTL hình thành nhiều hiện tượng đi kèm như gia tăng mức độ dập vỡ của đất đá; biến đổi độ ẩm và trạng thái cơ lý; biến đổi độ dốc của sườn dốc do xói lở và các dịch chuyển nhỏ xuất hiện do từ biến mà điển hình là xuất hiện các khe nứt tách ở trên đỉnh khối trượt. Khi đó, quá trình dịch chuyển của KTL là không thể tránh khỏi để thiết lập trạng thái cân bằng mới. Trước khi mất ổn định, biểu hiện dịch chuyển phân biệt với giai đoạn sau bằng sự tăng tốc độ dịch chuyển, vết nứt xuất hiện nhiều và có xu hướng mở rộng dần. Giai đoạn kích hoạt mất ổn định đặc trưng bằng dịch chuyển lớn, quá trình dịch chuyển kèm theo những tác động của vùi lấp và lăn của đất đá. Giai đoạn sau khi mất ổn định vật liệu trượt lập lại trạng thái ổn định mới, kết thúc ở vị trí mới của địa hình, đôi khi còn dịch chuyển cục bộ một vài khối trượt nhỏ trước khi ổn định hoàn toàn. Giai đoạn tái hoạt động, phân biệt với các giai đoạn khác bằng việc xuất hiện độc lập và sau cùng với các hiện tượng dịch chuyển nhỏ làm biến đổi bề mặt địa hình cục bộ. Đây chính là điểm khác biệt lớn của KTL so với KTNN.

Tóm lại, động lực phát triển của KTL có thể phân chia ra làm 4 giai đoạn: (1) giai đoạn trước khi mất ổn định trượt là giai đoạn giảm dần độ ổn định của khối đất đá; (2) giai đoạn kích hoạt mất ổn định trượt là lúc cường độ ổn định của đất mái dốc giảm đi tương đối nhanh và rất đột ngột; (3) giai đoạn sau khi mất ổn định trượt là giai đoạn ổn định trượt, lập lại ổn định của khối đất đá; (4) giai đoạn tái hoạt động là giai đoạn mức độ ổn định giảm dần và biểu hiện ban đầu về dịch chuyển trượt bắt đầu xuất hiện. Điều này cho thấy sự phát triển của KTL là một quá trình diễn ra theo thời gian dài rất khác với KTNN thường xảy ra nhanh và bất ngờ. Các KTL đã trượt vẫn có thể tái hoạt động hoặc tiềm ẩn trượt tiếp bằng cách mở rộng vách trượt, điển hình như ở KTL Chế Cu Nha phát triển mở rộng từ năm 2010 đến nay (Hình 3.18). Chi tiết về sự phát triển của một số KTL đặc trưng có thể xem thêm trong [phụ lục 1](#).



Hình 3. 18. Hình ảnh Google Earth và ảnh chụp UAV khảo sát thể hiện diễn biến mở rộng KTL Chê Cu Nha, Mù Cang Chải trước các năm 2010, 2016 và 2020
b./ Các kiểu dịch chuyển KTL

Tổng hợp diễn biến dịch chuyển của 26 KTL ở MNPB và tập trung ở XM-HG (chi tiết xem phụ lục 1), kết hợp thực tế khảo sát, NCS ghi nhận 3 kiểu dịch chuyển KTL:

- Chuyển động chậm kéo dài trên một khu vực rộng để nhận ra qua hiện tượng phát triển các khe nứt tách trên thân khối trượt, nhất là trong các khu vực đông dân cư (VD như ở KTL xã Tia Đình - Điện Biên, KTL chợ Tân Sơn xã Nấm Dẩn - Hà Giang) gây nứt tường nhà hoặc trên thân KTL có nhiều bậc kéo dài liên tiếp làm biến đổi bề mặt, ruộng bậc thang bị mất nước.
- Chuyển động thành nhiều đợt không liên tục trên phạm vi rộng làm thay đổi đáng kể bề mặt địa hình, các tuyến đường giao thông đi qua phạm vi KTL thường xuyên bị sụt lún, khối trượt liên tục mở rộng và không có dấu hiệu giảm dần (VD: tuyến đường 32 qua xã Nậm Búng, Văn Chấn, Yên Bái). Vách trượt của KTL được đan xen và nối tiếp bởi nhiều vách trượt nhỏ, vách trượt bên dưới hình thành trước sẽ lôi kéo vách trượt bên trên mở rộng theo (VD như KTL cầu Móng Sến, Lào Cai). Một số KTL như ở Chê Cu Nha hay ở Bản Dú có diễn biến mở rộng phạm vi sau

mỗi trận mưa và phát triển hệ thống rãnh xói trên mặt. Mưa kéo dài ngày và liên tục được ghi nhận như là yếu tố kích hoạt quá trình dịch chuyển trượt diễn ra.

- *Chuyển động nhanh hoặc rất nhanh khi có mưa lớn diễn ra* là kiểu chuyển động rất khó nhận biết quá trình phát triển của hiện tượng TKL. Kiểu này hình thành chuyển động mang tính bất ngờ, với chiều sâu mặt trượt có thể phát triển đến lớp đá phong hóa trung bình. Do vậy, vật liệu trượt kiểu này thường có dạng trượt hỗn hợp đất, đá (VD KTL ở thác Khanh - Hòa Bình, KTL tại Bản Khoang – Lào Cai). Khi bắt đầu xảy ra TKL kiểu này thông thường kèm theo tiếng nổ lớn.

Các kiểu chuyển động chậm kéo dài hoặc thành nhiều đợt đều là những kiểu chuyển động rất đặc trưng của KTL, khác biệt hẳn so với KTNN thường chỉ dịch chuyển rất nhanh để đạt trạng thái cân bằng mới.

CHƯƠNG IV. ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ HÌNH THÀNH KHỐI TRƯỢT LỚN Ở MIỀN NÚI PHÍA BẮC

4.1. Đặc điểm các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở MNPB

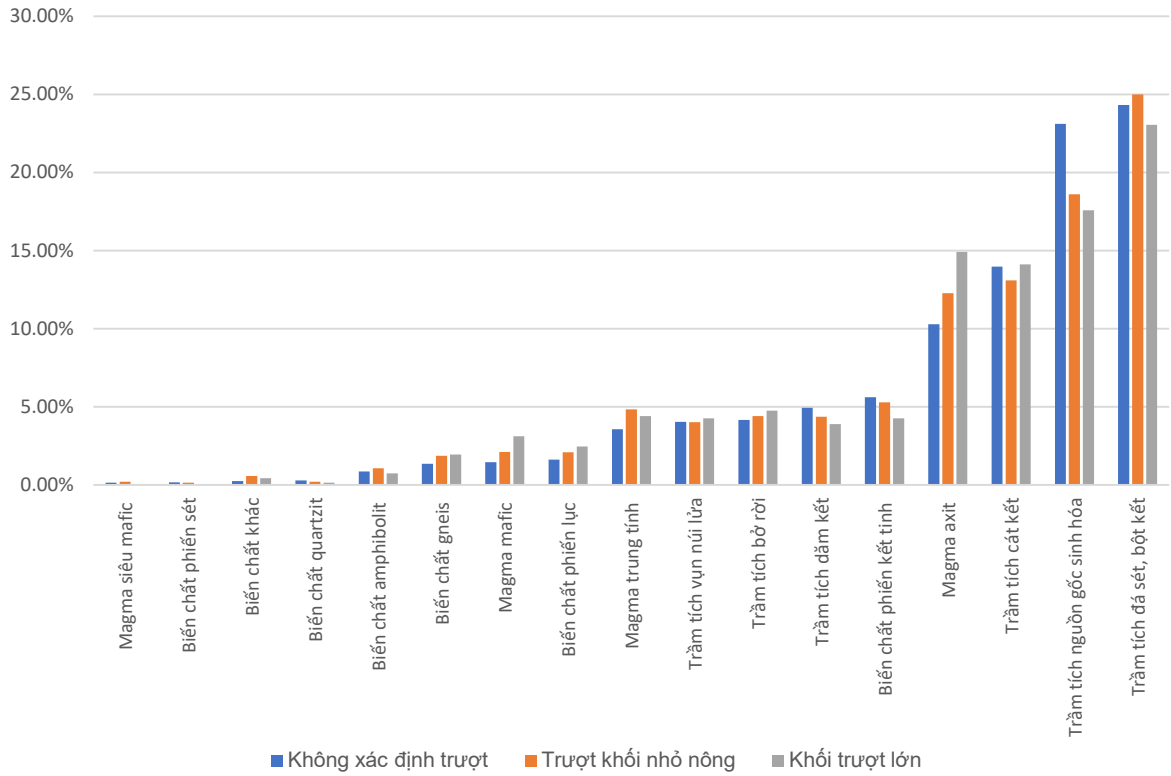
Đặc điểm hình thành hiện tượng trượt đất đá đã được phân tích trong nhiều công trình nghiên cứu trong và ngoài nước. Nhìn chung các đặc điểm này đều được mô tả trong 5 nhóm yếu tố: địa chất, địa hình, thủy văn, sử dụng đất và các yếu tố khác [14]. Trong phạm vi nghiên cứu về sự hình thành KTL ở khu vực MNPB, ảnh hưởng của các nhóm yếu tố đến sự hình thành KTL thể hiện như sau:

4.1.1. Yếu tố thạch học

a./ Thành phần thạch học

Yếu tố thành phần thạch học đá gốc là một trong các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến sự hình thành hiện tượng trượt đất đá. Thành phần thạch học quyết định đến các đặc điểm khác như tính chất cơ lý của các lớp đất đá, khả năng thấm nước và vận động của nước dưới đất, kiểu mặt trượt, kiểu dịch chuyển trượt, ... Yếu tố thạch học được mô tả ở tỷ lệ 1:200.000 trong các phân vị địa tầng của bản đồ địa chất. Tuy mỗi phân vị địa tầng được cấu tạo bởi 1 hoặc nhiều thành phần thạch học dẫn đến phức tạp hóa khi tổng hợp số liệu. Nhưng kết quả tổng hợp cho thấy, ở MNPB cho thấy có sự trùng lặp nhau khá nhiều về loại thạch học. Nhiều phân vị đều có thành phần thạch học chính là đá vôi xám màu phân lớp mỏng hay dạng khối như Đồng Giao, Bắc Sơn, Cát Bà, Khao Lộc...; nhiều phân vị địa chất có thành phần tuff trong thành phần đá gốc như các hệ tầng Bình Liêu, Cò Nồi, Khôn Làng, Mường Trai, Sông Hiến,... Tổng hợp 128 phân vị địa tầng địa chất xuất hiện ở MNPB được phân nhóm thành 17 loại thạch học khác nhau (bảng 2.3).

Kết quả thống kê cho thấy, một số phân vị địa tầng xuất hiện nhiều KTL gồm: Nậm Cười, Sông Chảy, Sông Hiến, Lai Châu, Suối Bàng, Đá Đình, Ngòi Thia, Yên Châu, Mường Trai. Đây là những phân vị địa tầng có thành phần thạch học là: trầm tích đá phiến sét, trầm tích sinh hóa chứa vôi, cát bột kết, granit, tufogen, đá biến chất bị ép phiến và ryolit. Do diện tích phân bố giữa các loại thạch học là khác nhau nên số lượng thống kê KTL không hẳn đã cho thấy mức độ ảnh hưởng của loại thạch học. Dựa vào tỷ lệ giữa tần suất xuất hiện KTL với tỷ lệ diện tích phân bố các loại thạch học sẽ cho biết mức độ ảnh hưởng đến sự xuất hiện KTL chính xác hơn. Kết quả thống kê cho thấy một số loại thạch học ảnh hưởng rõ đến sự hình thành KTL gồm: magma mafic, biến chất bị ép phiến và các loại biến chất khác.



Hình 4. 1. Biểu đồ tương quan tỷ lệ tần suất xuất hiện các loại thạch học theo vị trí TKL, KTNN và các điểm không xác định trượt

Bảng 4. 1. Mối tương quan thống kê của yếu tố thành phần thạch học theo khả năng hình thành KTL

Thạch học	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN
Magma axit	10.29%	207	14.91%	1.45	Ảnh hưởng trung bình	0.07 Khác biệt lớn
Magma trung tính	3.55%	61	4.39%	1.24	Ảnh hưởng trung bình	0.05 Khác biệt trung bình
Magma mafic	1.45%	43	3.10%	2.13	Ảnh hưởng rất mạnh	0.09 Rất khác biệt
Magma siêu mafic	0.14%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00 Không khác biệt
Trầm tích dăm kết	0.049227	54	3.89%	0.79	Ảnh hưởng thấp	0.05 Khác biệt trung bình
Trầm tích cát kết	0.139599	196	14.12%	1.01	Ảnh hưởng thấp	0.06 Khác biệt lớn
Trầm tích đá sét, bột kết	0.243115	320	23.05%	0.95	Ảnh hưởng thấp	0.05 Khác biệt trung bình
Trầm tích nguồn gốc sinh hóa	0.23119	244	17.58%	0.76	Ảnh hưởng thấp	0.06 Khác biệt trung bình
Trầm tích vụn núi lửa	0.040386	59	4.25%	1.05	Ảnh hưởng thấp	0.06 Khác biệt lớn
Trầm tích bờ rời	0.041492	66	4.76%	1.15	Ảnh hưởng trung bình	0.06 Khác biệt lớn
Biến chất phiến sét và phiến phylit	0.001526	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00 Không khác biệt
Biến chất ép phiến	0.016027	34	2.45%	1.53	Ảnh hưởng mạnh	0.07 Khác biệt lớn
Biến chất phiến kết tinh	0.056033	59	4.25%	0.76	Ảnh hưởng thấp	0.05 Khác biệt trung bình
Biến chất gneis	0.013354	27	1.95%	1.46	Ảnh hưởng trung bình	0.06 Khác biệt lớn
Biến chất quartzit	0.002705	2	0.14%	0.53	Không ảnh hưởng	0.04 Khác biệt thấp
Biến chất amphibolit	0.008607	10	0.72%	0.84	Ảnh hưởng thấp	0.04 Khác biệt thấp
Các loại đá biến chất khác	0.002406	6	0.43%	1.80	Ảnh hưởng mạnh	0.05 Khác biệt trung bình

Phân chia theo mức độ ảnh hưởng đến sự hình thành KTL, yếu tố thạch học được chia làm 5 mức như bảng 4.1. Với mức độ ảnh hưởng của các thành phần thạch

học như trên, thì các phân vị địa tầng có mức độ ảnh hưởng rất mạnh tới sự hình thành KTL có thể kể đến như: Điện Biên Phủ, Núi Chúa và Bảo Hà. Ngoài ra, các phức hệ/hệ tầng có mức độ ảnh hưởng mạnh tới sự hình thành KTL là: Sông Chảy, Ngòi Thia, Phu Si Lung, Tú Lệ, Yeyesun, Suối Bé, Đá Đỉnh, Chiềng Khương, Ngân Sơn, Núi Diêng, Po Sen, Pu Sam Cáp, Xóm Giấu.

Thành phần thạch học của đá gốc quyết định tới đặc điểm cấu trúc các lớp đất trong VPH. Các KTL có tốc độ dịch chuyển chậm thường có cấu trúc VPH gồm nhiều thành phần vụn thô lẫn cuội tảng, trong khi đó KTL có tốc độ dịch chuyển nhanh thường có thành phần hạt nhỏ mịn có khả năng ngậm nước lớn (KTL Bình Liêu, Quảng Ninh). Như vậy, thành phần thạch học góp phần quyết định đến tốc độ dịch chuyển của KTL.

b./ Ranh giới thạch học

Về không gian, ranh giới thạch học là yếu tố thể hiện sự thay đổi về thành phần thạch học. Càng gần với ranh giới thạch học mức độ bất đồng nhất về thành phần thạch học càng cao và gián tiếp ảnh hưởng đến mức độ ổn định của sườn dốc. Khoảng cách tới ranh giới thạch học phần nào thể hiện mức độ bất đồng nhất về thạch học, dẫn đến gia tăng khả năng xuất hiện KTL. Vậy nên, khoảng cách đến ranh giới thạch học được coi là một yếu tố hình thành TKL.

Phân chia theo mức độ ảnh hưởng của yếu tố khoảng cách đến ranh giới thạch học đến sự hình thành TKL cho thấy tồn tại 2 phạm vi ảnh hưởng rất mạnh đến sự hình thành KTL. Trong phạm vi khoảng cách đến ranh giới thạch học nhỏ hơn 400m, sự bất đồng nhất về thành phần thạch học dẫn đến sườn dốc mất ổn định thúc đẩy sự hình thành KTL là điều dễ nhận thấy trong thực tế. Trong phạm vi này, KTL thường có mặt trượt hình thành trùng với mặt không liên tục về thành phần thạch học, rất trùng hợp với thực tế hiện trạng đã nêu trong mục 3.3.2. Với khoảng cách đến ranh giới thạch học trong phạm vi 1,8km đến 3km, kết quả thống kê cho thấy chỉ có một số ít KTL hình thành nhưng lại chiếm ưu thế nhiều hơn so với tỷ lệ hình thành các khối trượt nhỏ nông khác.

Bảng 4. 2. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến ranh giới thạch học theo khả năng hình thành KTL

Khoảng cách đến ranh giới thạch học	Tỷ lệ trong khoảng pixel	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
< 200	24.573%	140	30.043%	1.223	Ảnh hưởng mạnh	1.0E+00	Khác biệt trung bình
400	19.661%	100	21.459%	1.091	Ảnh hưởng mạnh	1.0E+00	Khác biệt trung bình
600	13.746%	63	13.519%	0.984	Ảnh hưởng trung bình	9.5E-01	Khác biệt trung bình

800	10.380%	45	9.657%	0.930	Ảnh hưởng trung bình	9.3E-01	Khác biệt trung bình
1000	7.384%	28	6.009%	0.814	Ảnh hưởng trung bình	9.5E-01	Khác biệt trung bình
1200	5.414%	18	3.863%	0.713	Ảnh hưởng trung bình	8.5E-01	Khác biệt thấp
1400	4.216%	19	4.077%	0.967	Ảnh hưởng trung bình	1.2E+00	Khác biệt trung bình
1600	3.146%	12	2.575%	0.819	Ảnh hưởng trung bình	9.9E-01	Khác biệt trung bình
1800	2.413%	12	2.575%	1.067	Ảnh hưởng mạnh	1.2E+00	Khác biệt trung bình
2000	1.837%	7	1.502%	0.818	Ảnh hưởng trung bình	9.2E-01	Khác biệt thấp
2200	1.505%	3	0.644%	0.428	Ảnh hưởng thấp	4.7E-01	Khác biệt thấp
2400	1.205%	2	0.429%	0.356	Ảnh hưởng thấp	3.6E-01	Không khác biệt
2600	0.900%	7	1.502%	1.669	Ảnh hưởng rất mạnh	2.3E+00	Rất khác biệt
2800	0.750%	3	0.644%	0.858	Ảnh hưởng trung bình	8.8E-01	Khác biệt thấp
3000	0.704%	4	0.858%	1.219	Ảnh hưởng mạnh	2.3E+00	Rất khác biệt
3200	0.486%	1	0.215%	0.441	Ảnh hưởng thấp	5.4E-01	Khác biệt thấp
3400	0.361%	1	0.215%	0.595	Ảnh hưởng thấp	9.9E-01	Khác biệt trung bình
3600	0.329%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
3800	0.240%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
4000	0.211%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
> 4000	0.540%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

4.1.2. Yếu tố kiến tạo

Nhìn một cách tổng quát, đặc điểm kiến tạo khu vực MNPB được xem xét trong bối cảnh địa động lực của 16 đới cấu trúc: đới Sông Lô; đới Sông Hiến; đới An Châu; đới Duyên Hải; đới Hạ Lang; đới Sông Hồng; đới Fanxipăng; đới Tú Lệ; đới Sinh Vinh; đới Ninh Bình; đới Sông Đà; đới Sơn La; đới Nậm Cồ; đới Thanh Hóa; đới Sông Mã; đới Mường Tè; đới Phú Si Lung; đới Mường Nhé; đới Phú Hoạt; đới Sông Cả; đới Kim Cương; đới Điện Biên Phủ. Trong mỗi đới cấu trúc, đặc điểm chế độ vận động kiến tạo, tuổi thành tạo, phạm vi ảnh hưởng, dạng uốn nếp kiến tạo có những biểu hiện khác nhau. Các đặc điểm này không chỉ chi phối sự hình thành các kiểu địa hình địa mạo, mạng lưới sông suối, mà còn ảnh hưởng đến sự hình thành hiện tượng TKL.

Các nghiên cứu về trượt đất đá theo phạm vi rộng, tỷ lệ nhỏ, không thể đủ khả năng để điều tra đầy đủ tất cả các đặc điểm chi tiết mà cần đơn giản hóa trong cách đánh giá. Hơn nữa, trong điều kiện nghiên cứu mối tương quan theo phạm vi rộng chưa thể xét đến đến các yếu tố khác về điều kiện tân kiến tạo và hay các các đặc điểm khác về uốn nếp. Để mô hình yếu tố kiến tạo cho phạm vi MNPB cần đơn giản hóa bằng cách giả thiết các đứt gãy đều có khả năng ảnh hưởng tới sự hình thành KTL theo khoảng cách.

Thống kê cũng cho thấy các KTL hình thành chủ yếu dọc theo các đới đứt gãy lớn như: đới đứt gãy Điện Biên- Lai Châu, đới đứt gãy sông Đà, đới đứt gãy Than Uyên, đới đứt gãy sông Chày, đới đứt gãy Yên Minh- Phú Lương. KTL thác Khanh hình thành trong đới dập vỡ kiến tạo do sự giao nhau của 2 hệ thống đứt gãy: đứt gãy chính phương Tây Bắc- Đông Nam tạo thành vách kiến tạo kết hợp và đứt gãy phương

Đông Bắc- Tây Nam trùng với phương phát triển các nhánh suối khu vực. Mức độ dập vỡ của đá gốc liên quan đến biên độ và mức độ dịch chuyển của các đới đứt gãy kiến tạo. Do vậy, đánh giá ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo tới sự hình thành KTL được định lượng gián tiếp qua yếu tố khoảng cách đến đứt gãy.

Dựa vào số liệu thống kê theo khoảng cách tới đứt gãy, NCS phân chia khoảng cách tới đứt gãy thành nhiều khoảng với độ lớn 200m. Ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo đến sự hình thành KTL được xem xét theo yếu tố khoảng cách tới đứt gãy. Trong phạm vi 400m xung quanh đứt gãy có thể thấy ảnh hưởng tới sự hình thành KTL là rất mạnh. Ảnh hưởng của hoạt động kiến tạo tới sự hình thành KTL có xu hướng giảm dần theo khoảng cách tới đứt gãy, càng xa đứt gãy mức độ ảnh hưởng càng giảm dần.

Bảng 4. 3. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến đứt gãy theo khả năng hình thành KTL

Khoảng cách đến đứt gãy	Tỷ lệ trong khoảng pixel	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
< 200	14.052%	94	20.220%	1.439	Ảnh hưởng rất mạnh	1.1E+00	Khác biệt lớn
400	12.338%	71	15.165%	1.229	Ảnh hưởng rất mạnh	9.3E-01	Khác biệt trung bình
600	11.239%	43	9.231%	0.821	Ảnh hưởng trung bình	7.9E-01	Khác biệt trung bình
800	9.404%	40	8.571%	0.911	Ảnh hưởng mạnh	9.4E-01	Khác biệt trung bình
1000	8.140%	34	7.253%	0.891	Ảnh hưởng mạnh	1.0E+00	Khác biệt trung bình
1200	7.102%	32	6.813%	0.959	Ảnh hưởng mạnh	1.1E+00	Khác biệt lớn
1400	5.992%	32	6.813%	1.137	Ảnh hưởng mạnh	1.4E+00	Khác biệt lớn
1600	4.860%	25	5.275%	1.085	Ảnh hưởng mạnh	1.2E+00	Khác biệt lớn
1800	4.281%	18	3.956%	0.924	Ảnh hưởng mạnh	1.0E+00	Khác biệt trung bình
2000	3.505%	17	3.736%	1.066	Ảnh hưởng mạnh	1.2E+00	Khác biệt lớn
2200	3.119%	10	2.198%	0.705	Ảnh hưởng trung bình	9.1E-01	Khác biệt trung bình
2400	2.545%	8	1.758%	0.691	Ảnh hưởng trung bình	8.5E-01	Khác biệt trung bình
2600	2.012%	9	1.978%	0.983	Ảnh hưởng mạnh	1.2E+00	Khác biệt lớn
2800	1.764%	11	2.418%	1.370	Ảnh hưởng rất mạnh	1.7E+00	Rất khác biệt
3000	1.602%	5	1.099%	0.686	Ảnh hưởng trung bình	9.0E-01	Khác biệt trung bình
3200	1.362%	5	1.099%	0.807	Ảnh hưởng trung bình	1.1E+00	Khác biệt lớn
3400	1.031%	1	0.220%	0.213	Không ảnh hưởng	2.9E-01	Không khác biệt
3600	1.018%	2	0.440%	0.432	Ảnh hưởng thấp	5.5E-01	Khác biệt thấp
3800	0.811%	2	0.440%	0.542	Ảnh hưởng thấp	7.1E-01	Khác biệt trung bình
4000	0.789%	2	0.440%	0.557	Ảnh hưởng thấp	9.8E-01	Khác biệt trung bình
4200	0.791%	1	0.220%	0.278	Không ảnh hưởng	4.5E-01	Khác biệt thấp
4400	0.647%	2	0.440%	0.679	Ảnh hưởng trung bình	1.3E+00	Khác biệt lớn
4600	0.601%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
4800	0.508%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
5000	0.485%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

Hiện tượng động đất ảnh hưởng tới sự hình thành trượt đất đá ở MNPB đã được ghi nhận tại Cao Bằng, Tuyên Quang, Điện Biên và Lai Châu với các biểu hiện về nứt đất, lở đá. Hiện tượng động đất ảnh hưởng đến trượt đất đá chỉ được ghi nhận ở

một số ít địa phương MNPB nên không đủ để tổng hợp cho toàn bộ MNPB. Cường độ động đất của MNPB được nhiều công trình nghiên cứu đã công bố có tỷ lệ còn quá nhỏ nên không phù hợp để đưa vào trong nghiên cứu này. Hơn nữa, yếu tố động đất là tổng hợp từ nhiều yếu tố địa chất nên khi sử dụng để đánh giá sự hình thành KTL có thể dẫn đến đa cộng tuyến với yếu tố địa chất khác. Vì vậy, ảnh hưởng của yếu tố động đất tới sự hình thành TKL cần được xem xét trong các công trình nghiên cứu trong tương lai.

4.1.3. Yếu tố vô phong hóa

Ảnh hưởng của VPH tới sự hình thành KTL ở MNPB thể hiện cụ thể ở tác động tới sự hình thành mặt trượt đã được mô tả chi tiết trong [mục 3.3.2](#). Từ đó cho thấy, để mô tả đặc điểm VPH không chỉ cần phân tích theo chiều dày phát triển các thành tạo phong hóa vụn mịn mà còn cần phân tích đặc điểm thạch học, độ dốc sườn là các yếu tố có thể quyết định đến sự hình thành mặt trượt nguy hiểm nhất. Tuy nhiên, VPH ở MNPB mới chỉ được mô tả ở từng điểm cụ thể chứ không có công trình nghiên cứu nào đủ quy mô để mô tả về VPH cho toàn MNPB ở tỷ lệ 1:200.000. Vì vậy, để đánh giá ảnh hưởng của yếu tố VPH tới sự hình thành KTL trong luận án này, NCS tập trung vào đánh giá thông qua 3 yếu tố: chiều dày phát triển các thành tạo phong hóa vụn mịn, độ dốc sườn, và thành phần thạch học của 26 KTL chi tiết.

Phân tích 26 KTL tại hiện trường chỉ ra phạm vi mặt trượt nguy hiểm nhất của KTL phần lớn nằm gần ranh giới giữa lớp phong hóa mạnh với lớp phong hóa trung bình. Ranh giới này được xem xét trên 26 mặt cắt VPH của KTL cho thấy độ sâu trung bình thường ở khoảng 12m. Tùy theo cấu trúc của sườn dốc, chiều dày phát triển các thành tạo phong hóa vụn mịn có thể không đồng nhất. Yếu tố VPH còn là đại diện cho đặc điểm thạch học và độ dốc sườn nên khả năng di chuyển và tích tụ của vật liệu của KTL phụ thuộc rất nhiều vào VPH. Vì VPH là yếu tố tổng hợp của nhiều yếu tố khác nên trước khi đưa vào phân tích không gian, VPH sẽ được phân tích tính tương quan giữa các yếu tố khác, chi tiết sẽ được phân tích trong [mục 4.2.1](#).

4.1.4. Nhóm yếu tố địa hình

a./ Cao độ địa hình

Địa hình khu vực MNPB rất phong phú và đa dạng với nhiều hình thái địa mạo khác nhau: từ địa hình núi cao xuống núi thấp, từ cao nguyên chuyển xuống các vùng đồi, đan xen ở giữa là các thung lũng với nhiều kiểu địa hình thêm phức tạp. Ảnh hưởng dễ thấy nhất của cao độ địa hình tới sự hình thành hiện tượng TKL thể hiện qua sự phân hóa ở cường độ bóc mòn và tích tụ bề mặt đã được khẳng định trong nhiều công trình nghiên cứu [\[90, 91, 92\]](#). Quá trình bóc mòn và tích tụ bề mặt tạo ra

địa hình mang tính phân bậc, và tính phân bậc cũng ảnh hưởng tới tần suất xuất hiện KTL khi chúng tăng lên rồi lại giảm xuống liên tục. Ở độ cao lớn hơn 2200m, có cường độ bóc mòn mạnh mẽ diễn ra làm cho khả năng tích tụ vật liệu kém đi, trượt đất đá không tích đủ lượng vật liệu để chuyển thành KTL nên ở độ cao này không thấy KTL xuất hiện.

Qua số liệu thống kê, tính phân bậc địa hình ảnh hưởng đến sự hình thành KTL được thể hiện khá rõ. Trong khoảng độ cao <100m, KTL hầu như chưa xuất hiện nhiều và ảnh hưởng của cao độ địa hình là thấp, nếu có ảnh hưởng phải có sự tác động thêm hoạt động của con người. Ảnh hưởng của cao độ địa hình tới sự hình thành KTL thể hiện có sự biến đổi rõ rệt diễn ra khi cao độ địa hình lên cao từ 300- 400m và từ 500- 600m thì khả năng xuất hiện là rất cao. Sự khác biệt giữa hình thành KTL và các dạng trượt nhỏ nông dễ nhận thấy có ảnh hưởng một phần của yếu tố độ cao, nhất là độ cao địa hình dưới 300m và lớn hơn 2200m. Ở các cao độ từ 300- 400m; từ 500- 600m; từ 1100 -1200m sự xuất hiện KTL chiếm ưu thế hơn hẳn so với sự xuất hiện của các khối nhỏ nông khác.

Bảng 4. 4. Mối tương quan thống kê của yếu tố cao độ địa hình theo khả năng hình thành KTL

Cao độ địa hình	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL		Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
				Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng		
< 100	9.7%	29	6.2%	0.644	Ảnh hưởng thấp	0.039	Khác biệt thấp
100 - 200	10.3%	36	7.7%	0.752	Ảnh hưởng trung bình	0.032	Khác biệt thấp
200 - 300	8.9%	48	10.3%	1.162	Ảnh hưởng mạnh	0.056	Khác biệt trung bình
300 - 400	9.8%	64	13.7%	1.405	Ảnh hưởng rất mạnh	0.071	Khác biệt trung bình
400 - 500	8.7%	36	7.7%	0.886	Ảnh hưởng trung bình	0.060	Khác biệt trung bình
500 - 600	8.1%	65	13.9%	1.713	Ảnh hưởng rất mạnh	0.095	Khác biệt lớn
600 - 700	7.0%	32	6.9%	0.979	Ảnh hưởng trung bình	0.058	Khác biệt trung bình
700 - 800	6.1%	31	6.7%	1.084	Ảnh hưởng mạnh	0.062	Khác biệt trung bình
800 - 900	5.8%	25	5.4%	0.933	Ảnh hưởng trung bình	0.056	Khác biệt trung bình
900 - 1000	5.3%	30	6.4%	1.207	Ảnh hưởng mạnh	0.088	Khác biệt lớn
1000 - 1100	4.5%	16	3.4%	0.769	Ảnh hưởng trung bình	0.062	Khác biệt trung bình
1100 - 1200	3.5%	25	5.4%	1.537	Ảnh hưởng rất mạnh	0.125	Rất khác biệt
1200 - 1300	3.1%	5	1.1%	0.341	Không ảnh hưởng	0.030	Khác biệt thấp
1300 - 1400	2.3%	9	1.9%	0.836	Ảnh hưởng trung bình	0.068	Khác biệt trung bình
1400 - 1500	1.8%	2	0.4%	0.245	Không ảnh hưởng	0.022	Không khác biệt
1500 - 1600	1.3%	8	1.7%	1.368	Ảnh hưởng mạnh	0.091	Khác biệt lớn
1600 - 1700	0.9%	1	0.2%	0.246	Không ảnh hưởng	0.017	Không khác biệt
1700 - 1800	0.7%	2	0.4%	0.639	Ảnh hưởng thấp	0.067	Khác biệt trung bình
1800 - 1900	0.5%	1	0.2%	0.393	Ảnh hưởng thấp	0.100	Rất khác biệt
1900 - 2000	0.5%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
2000 - 2100	0.3%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
2100 - 2200	0.3%	1	0.2%	0.710	Ảnh hưởng trung bình	0.000	Không khác biệt
2200 - 2300	0.2%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
2300 - 2400	0.2%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
2400 - 2500	0.1%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt

2500 - 2600	0.1%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
2600 - 2700	0.0%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt
> 2700	0.0%	0	0.0%	0.000	Không ảnh hưởng	0.000	Không khác biệt

b./ Hướng dốc địa hình

Hướng dốc địa hình là yếu tố tác động gián tiếp đến hiện tượng trượt đất đá thông qua mối quan hệ tương hỗ giữa địa hình và khí hậu. Yếu tố này góp phần thuận lợi cho việc hình thành các VPH dày, tích tụ vật liệu làm gia tăng nguy cơ xuất hiện KTL. Kết quả phân tích hướng dốc địa hình, cho thấy không có KTL nào xuất hiện khi hướng dốc nằm ngang cho thấy độ tin cậy của dữ liệu điều tra là rất cao.

Kết quả phân tích tương quan cho thấy, yếu tố hướng dốc địa hình thể hiện sườn có hướng dốc về phía Đông Nam (hướng đón gió bão nhiều) sẽ có ít khả năng hình thành KTL hơn các hướng khác. Ở hướng Đông Nam, tỷ lệ khác biệt giữa KTL với KTNN (0.042) thấp hơn so với các hướng khác cho thấy khối trượt nhỏ phát triển mạnh hơn KTL theo hướng Đông Nam và chịu ảnh hưởng mạnh của yếu tố thời tiết. Trong khi đó các hướng Tây và Tây Nam có khả năng hình thành KTL nhiều hơn so với các hướng khác và KTL có tần suất xuất hiện nhiều hơn khối nhỏ nông. Như vậy, yếu tố thời tiết khí hậu và địa hình thể hiện ở hướng dốc địa hình có tác dụng phần nào phân biệt khả năng xuất hiện các dạng trượt nhỏ nông với KTL.

Bảng 4. 5. Mối tương quan thống kê của yếu tố hướng dốc địa hình theo khả năng hình thành KTL

Hướng dốc địa hình	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
Flat	10.76%	2	0.43%	0.040	Không ảnh hưởng	0.003	Không khác biệt
Bắc	9.17%	49	10.52%	1.147	Ảnh hưởng mạnh	0.077	Rất khác biệt
Đông Bắc	8.45%	42	9.01%	1.067	Ảnh hưởng mạnh	0.064	Rất khác biệt
Đông	14.57%	58	12.45%	0.854	Ảnh hưởng trung bình	0.054	Khác biệt lớn
Đông Nam	8.56%	28	6.01%	0.702	Ảnh hưởng trung bình	0.042	Khác biệt trung bình
Nam	17.35%	84	18.03%	1.039	Ảnh hưởng mạnh	0.058	Khác biệt lớn
Tây Nam	9.41%	64	13.73%	1.459	Ảnh hưởng rất mạnh	0.072	Rất khác biệt
Tây	14.12%	94	20.17%	1.429	Ảnh hưởng rất mạnh	0.080	Rất khác biệt
Tây Bắc	7.62%	45	9.66%	1.266	Ảnh hưởng rất mạnh	0.077	Rất khác biệt

c./ Độ dốc địa hình

Độ dốc địa hình là một trong những yếu tố quyết định đến sự hình thành và phát triển của KTL. Có thể thấy rằng KTL hầu như không hình thành ở các sườn dốc có độ dốc nhỏ hơn 10 độ (nhỏ nhất là 10.5°). Trong đồ thị có thể nhận thấy có 2 khoảng độ dốc địa hình (15°-30° và 40°-45°) có khoảng cách giữa các đường cong đồng biến đổi nhanh hơn, chứng tỏ khả năng xuất hiện KTL sẽ lớn hơn so với khối nhỏ

nông và các điểm không xác định trượt khác. Như vậy, cần chú ý đối với KTL sẽ có 2 khoảng độ dốc có khả năng xuất hiện KTL.

Bảng 4. 6. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ dốc địa hình theo khả năng hình thành KTL

Độ dốc địa hình	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
< 5	10.20%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
5 - 10	11.65%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
10 - 15	13.97%	29	6.22%	0.45	Ảnh hưởng thấp	0.02	Không khác biệt
15 - 20	15.80%	142	30.47%	1.93	Ảnh hưởng rất mạnh	0.09	Khác biệt thấp
20 - 25	15.52%	124	26.61%	1.71	Ảnh hưởng rất mạnh	0.08	Khác biệt thấp
25 - 30	12.65%	63	13.52%	1.07	Ảnh hưởng trung bình	0.06	Không khác biệt
30 - 35	8.80%	41	8.80%	1.00	Ảnh hưởng trung bình	0.06	Khác biệt thấp
35 - 40	5.64%	33	7.08%	1.26	Ảnh hưởng mạnh	0.10	Khác biệt thấp
40 - 45	3.03%	23	4.94%	1.63	Ảnh hưởng rất mạnh	0.16	Khác biệt trung bình
45 - 50	1.62%	6	1.29%	0.80	Ảnh hưởng trung bình	0.10	Khác biệt thấp
50 - 55	0.64%	4	0.86%	1.35	Ảnh hưởng mạnh	0.31	Rất khác biệt
55 - 60	0.30%	1	0.21%	0.72	Ảnh hưởng thấp	0.11	Khác biệt thấp
60 - 65	0.13%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
65 - 70	0.04%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
70 - 75	0.01%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
75 - 80	0.00%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt
> 80	0.00%	0	0.00%	0.00	Không ảnh hưởng	0.00	Không khác biệt

d./ Độ cong địa hình

Khi xem xét yếu tố độ cong địa hình phục vụ nghiên cứu trượt đất đá, có nhiều loại độ cong được xác định. Độ cong dọc (LongCur) là độ cong biên dạng giao nhau với mặt phẳng được xác định bởi pháp tuyến bề mặt và hướng gradient cực đại. Độ cong mặt cắt ngang (CrossSecCu) là độ cong tiếp tuyến giao với mặt phẳng được xác định bởi pháp tuyến bề mặt và tiếp tuyến với đường bao - vuông góc với hướng gradient cực đại. Yếu tố độ cong thể hiện mức độ lồi lõm của địa hình theo các phương ngang và phương dọc địa hình. Độ cong dọc ảnh hưởng đến khả năng dịch chuyển và mức độ ổn định của KTL còn độ cong mặt cắt ngang kiểm soát sự hội tụ hoặc phân tán của áp lực dòng thủy lực theo hướng chuyển động nguy hiểm nhất của đất đá trên sườn dốc.

Qua kết thống kê, mức độ ảnh hưởng của địa hình dạng cong lõm ở cả phương ngang và phương dọc đều cho kết quả mạnh hơn so với các dạng địa hình lồi. Các dạng TKL có mặt trượt trong lớp phong hóa trung bình thường xảy ra trong các khu vực địa hình lõm, đi kèm với khả năng hội tụ của dòng thủy văn cao hơn, dễ hình thành rãnh xói trên bề mặt địa hình. Ngoài ra, độ cong ngang sườn ở dạng thẳng cũng ảnh hưởng mạnh tới khả năng xuất hiện KTL cho thấy một số trường hợp mặt trượt

hình thành trong đối phong hóa yếu. Các trường hợp này có thể so sánh với thực tế hình thành của một số KTL được miêu tả trong phần phụ lục.

Bảng 4. 7. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ cong ngang sườn theo khả năng hình thành KTL

Độ cong ngang sườn	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt	
						KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
< -45	0.002%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-40	0.012%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-35	0.027%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-30	0.036%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-25	0.150%	1	0.215%	1.432	Ảnh hưởng rất mạnh	4.2E+00	Rất khác biệt
-20	0.440%	1	0.215%	0.488	Ảnh hưởng thấp	1.2E+00	Khác biệt thấp Khác biệt trung bình
-15	1.554%	7	1.502%	0.966	Ảnh hưởng mạnh	2.1E+00	Khác biệt thấp
-10	4.642%	21	4.506%	0.971	Ảnh hưởng mạnh	1.3E+00	Khác biệt thấp
-5	12.059%	59	12.661%	1.050	Ảnh hưởng mạnh	9.7E-01	Khác biệt thấp
0	30.204%	163	34.979%	1.158	Ảnh hưởng rất mạnh	1.0E+00	Khác biệt thấp
5	27.910%	143	30.687%	1.099	Ảnh hưởng mạnh	9.3E-01	Khác biệt thấp
10	13.393%	51	10.944%	0.817	Ảnh hưởng trung bình	1.0E+00	Khác biệt thấp
15	6.111%	16	3.433%	0.562	Ảnh hưởng thấp	1.2E+00	Khác biệt thấp
20	2.178%	4	0.858%	0.394	Ảnh hưởng thấp	1.4E+00	Khác biệt thấp
25	0.776%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
30	0.285%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
35	0.094%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
40	0.060%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
45	0.012%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
> 45	0.024%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

Bảng 4. 8. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ cong dọc sườn theo khả năng hình thành KTL

Độ cong dọc sườn	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt	
						KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
< -45	0.010%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-40	0.051%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-35	0.068%	1	0.215%	3.170	Ảnh hưởng rất mạnh	8.4E+00	Rất khác biệt
-30	0.111%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
-25	0.293%	1	0.215%	0.734	Ảnh hưởng thấp	8.4E-01	Không khác biệt
-20	0.718%	3	0.644%	0.897	Ảnh hưởng thấp	7.3E-01	Không khác biệt
-15	2.043%	27	5.794%	2.836	Ảnh hưởng rất mạnh	1.8E+00	Khác biệt thấp
-10	5.614%	49	10.515%	1.873	Ảnh hưởng trung bình	1.0E+00	Không khác biệt
-5	14.261%	96	20.601%	1.445	Ảnh hưởng trung bình	8.9E-01	Không khác biệt
0	30.831%	133	28.541%	0.926	Ảnh hưởng thấp	8.8E-01	Không khác biệt
5	26.148%	105	22.532%	0.862	Ảnh hưởng thấp	1.1E+00	Không khác biệt
10	11.539%	37	7.940%	0.688	Ảnh hưởng thấp	1.0E+00	Không khác biệt
15	4.956%	12	2.575%	0.520	Không ảnh hưởng	1.4E+00	Không khác biệt
20	1.951%	1	0.215%	0.110	Không ảnh hưởng	3.9E-01	Không khác biệt
25	0.679%	1	0.215%	0.316	Không ảnh hưởng	2.4E+00	Khác biệt thấp
30	0.351%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

35	0.128%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
40	0.080%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
45	0.060%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
< 45	0.029%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

e./ Độ sâu thung lũng

Độ sâu thung lũng cho phép tính toán tương đối khả năng phát triển và chiều dài tối đa mà KTL có thể hình thành. Thực tế thống kê cho thấy, chiều dài của KTL phải đủ lớn và thông thường ở MNPB phải lớn hơn 50m. Nếu chiều dài quá nhỏ, khối trượt không đủ chiều dài để tích lũy đủ lượng vật liệu đất đá. Phân chia độ sâu thung lũng thành nhiều cấp khác nhau với độ chênh cao là 25m cho thấy. Độ sâu thung lũng trong khoảng từ 225m đến 275m ảnh hưởng rất mạnh tới sự hình thành KTL ở MNPB. Với các thung lũng có độ sâu lớn hơn 350m thường là các thung lũng có độ dốc cao đi kèm cùng các hoạt động địa động lực hiện đại vận động mạnh nên khó có khả năng xuất hiện TKL.

Bảng 4. 9. Mối tương quan thống kê của yếu tố độ sâu thung lũng theo khả năng hình thành KTL

Độ sâu thung lũng	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
25	26.43%	52	11.16%	0.422	Không ảnh hưởng	9.9E-01	Khác biệt thấp
50	21.22%	88	18.88%	0.890	Ảnh hưởng thấp	1.0E+00	Khác biệt thấp
75	18.10%	93	19.96%	1.103	Ảnh hưởng thấp	9.6E-01	Khác biệt thấp
100	12.87%	63	13.52%	1.051	Ảnh hưởng thấp	7.6E-01	Khác biệt thấp
125	8.52%	52	11.16%	1.309	Ảnh hưởng thấp	9.0E-01	Khác biệt thấp
150	5.29%	41	8.80%	1.662	Ảnh hưởng trung bình	1.1E+00	Khác biệt thấp
175	3.11%	27	5.79%	1.861	Ảnh hưởng trung bình	1.2E+00	Khác biệt thấp
200	1.83%	19	4.08%	2.231	Ảnh hưởng trung bình	1.4E+00	Khác biệt trung bình
225	1.13%	10	2.15%	1.893	Ảnh hưởng trung bình	1.4E+00	Khác biệt trung bình
250	0.64%	11	2.36%	3.712	Ảnh hưởng rất mạnh	2.6E+00	Khác biệt lớn
275	0.32%	6	1.29%	4.065	Ảnh hưởng rất mạnh	2.6E+00	Khác biệt lớn
300	0.18%	1	0.21%	1.199	Ảnh hưởng thấp	7.0E-01	Khác biệt thấp
325	0.14%	2	0.43%	3.061	Ảnh hưởng mạnh	3.4E+00	Rất khác biệt
350	0.08%	1	0.21%	2.690	Ảnh hưởng mạnh	3.4E+00	Rất khác biệt
375	0.06%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
400	0.03%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
425	0.02%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
450	0.03%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
475	0.00%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

4.1.5. Nhóm yếu tố thủy văn

Điều kiện địa chất thủy văn của MNPB biến đổi với nhiều dạng khác nhau: nước trong khe suối, sông hồ, rãnh nước tạm thời và nước dưới đất. Các kiểu hình thái địa chất thủy văn này đều ảnh hưởng tới sự hình thành của KTL. Trong đó, nước dưới đất và rãnh xói tạm thời là những yếu tố ảnh hưởng trực tiếp tới sự hình thành KTL.

Nước dưới đất tồn tại trong sườn dốc dưới hai dạng nước lỗ rỗng và nước khe nứt. Nước trong lỗ rỗng chủ yếu tồn tại trong các lớp phong hoá mạnh, càng xuống sâu mức độ bất đồng nhất thành phần hạt càng cao lượng nước ngầm càng phong phú. Nước khe nứt chủ yếu phân bố phổ dọc các đới phá hủy, đứt gãy kiến tạo, giữa các ranh giới cấu tạo địa chất khác nhau. Động thái diễn biến mực nước ngầm thay đổi theo không gian và chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi lượng nước mưa thấm xuống ảnh mặt đất. Mực nước ngầm có mặt thoáng tự do so với độ sâu thay đổi từ 0,5 m đến 5,5 m, vào thời điểm mưa lớn mực nước ngầm dâng cao nên một số vị trí thuận lợi sẽ xuất lộ ra ngay trên mặt đất (góc tre phía trên đỉnh KTL Dú Thượng hay vách trượt KTL Tân Sơn).

Trong thân KTL, nước ngầm thấm theo mặt trượt hoặc các mặt tiếp xúc giữa tới phong hóa mạnh và phong hóa trung bình tạo thành dòng chảy xói ngầm. Khi KTL dịch chuyển hoàn toàn để lộ ra mặt trượt thì vị trí dòng chảy xói ngầm sẽ lộ ra rõ. Điều này có thể thấy ở hầu hết các KTL đã trượt hoàn toàn như thác Khanh, Phiêng Ban, QL37 Mường Khoa, ... Đây cũng là minh chứng giải thích diễn biến nước thấm xuống dưới nhanh làm tăng áp lực tách giãn, giảm độ bền liên kết của các khe nứt, nhất là tại vị trí mặt trượt và góp phần hình thành lên KTL.

Rãnh xói tạm thời là một biểu hiện của hoạt động thủy văn làm biến đổi bề mặt của sườn dốc sâu sắc. Rãnh xói hình thành là do dòng nước mặt tập trung xói vào cùng vị trí, lâu ngày khoét sâu xuống dưới bề mặt sườn dốc. Hoặc do dòng nước ngầm xuất lộ đột ngột ở vị trí khe nứt (thường ở gần vách trượt), tạo thành dòng chảy tập trung khoét sâu vào bề mặt sườn dốc. Trường hợp này được ghi nhận tại KTL Tân Sơn, rãnh xói mở rộng nhanh chóng sau trận mưa lớn vào tháng 8 năm 2016. Rãnh xói sau khi khoét sâu vào bề mặt sườn dốc chia KTL thành nhiều khối trượt nhỏ, gia tăng mực nước ngầm và áp lực nước lỗ rỗng trong thân khối trượt làm giảm độ ổn định của KTL.

Tuy nhiên, đối với mục đích nghiên cứu sự hình thành KTL cho phạm vi MNPB, không có nghiên cứu nào có đủ khả năng thu thập được số liệu về nước dưới đất và rãnh xói tạm thời đủ lớn. Do vậy, nghiên cứu này hướng tới đánh giá sự hình thành KTL qua các thông số địa chất thủy văn gián tiếp liên quan đến các yếu tố trên là chỉ số độ ẩm địa hình và khoảng cách tới sông suối.

a./ Chỉ số mức độ ẩm địa hình

TWI cho biết tương đối mức độ ẩm địa hình dựa trên việc tổng hợp các yếu tố địa hình và thủy văn. Đây là một công cụ thường được sử dụng để dự báo lượng ẩm của đất ở quy mô lưu vực và cho phép kiểm soát chế độ thủy văn của lưu vực. Hơn

nữa, độ ẩm của đất là một yếu tố ảnh hưởng rõ rệt đến sự hình thành của hiện tượng trượt đất đá nói chung. TWI thường cao hơn ở địa hình bằng phẳng, thấp hơn ở những vùng đất dốc. Kết quả phân tích thống kê TWI cho thấy, khả năng hình thành KTL ở trong khoảng độ ẩm địa hình từ 2-4 và mức độ giảm dần khi độ ẩm địa hình tăng cao.

Bảng 4. 10. Mối tương quan thống kê của yếu tố TWI theo khả năng hình thành KTL

TWI	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
0	0.000%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
2	0.000%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
4	0.089%	5	1.073%	11.995	Ảnh hưởng rất mạnh	2.5E-02	Không khác biệt
6	48.360%	230	49.356%	1.021	Không ảnh hưởng	1.1E+00	Không khác biệt
8	39.674%	187	40.129%	1.011	Không ảnh hưởng	5.3E+00	Rất khác biệt
10	9.037%	39	8.369%	0.926	Không ảnh hưởng	3.8E+00	Khác biệt lớn
12	2.113%	4	0.858%	0.406	Không ảnh hưởng	1.4E+00	Khác biệt thấp
14	0.578%	1	0.215%	0.371	Không ảnh hưởng	5.6E+00	Rất khác biệt
16	0.138%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
18	0.007%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
20	0.005%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

b./ Khoảng cách tới sông suối

Yếu tố khoảng cách đến sông suối thể hiện khả năng thoát nước và tốc độ thoát nước trong sườn dốc. Mật độ sông suối còn phần nào quyết định tới khả năng xói mòn bề mặt xảy ra trong khu vực. Kết quả cho thấy, khoảng cách đến sông suối trong phạm vi 60m có ảnh hưởng đến sự hình thành KTL là rất mạnh. Đặc biệt, trong phạm vi từ 200m – 220m, sự khác biệt về việc hình thành KTL so với khối trượt nhỏ nông là rất khác biệt cho thấy phạm vận động của nước dưới đất ảnh hưởng tới KTL là rất rộng.

Bảng 4. 11. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến sông suối theo khả năng hình thành KTL

Khoảng cách đến sông suối	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
10	12.870%	64	13.734%	1.067	Ảnh hưởng mạnh	1.1E+00	Khác biệt thấp
20	10.261%	62	13.305%	1.297	Ảnh hưởng rất mạnh	1.1E+00	Khác biệt thấp
30	8.999%	48	10.300%	1.145	Ảnh hưởng rất mạnh	8.7E-01	Khác biệt thấp
40	8.467%	44	9.442%	1.115	Ảnh hưởng mạnh	8.3E-01	Không khác biệt
50	7.877%	38	8.155%	1.035	Ảnh hưởng mạnh	8.2E-01	Không khác biệt
60	7.125%	47	10.086%	1.415	Ảnh hưởng rất mạnh	1.2E+00	Khác biệt thấp
70	6.770%	32	6.867%	1.014	Ảnh hưởng mạnh	9.7E-01	Khác biệt thấp
80	6.151%	25	5.365%	0.872	Ảnh hưởng mạnh	8.5E-01	Khác biệt thấp
90	5.771%	21	4.506%	0.781	Ảnh hưởng trung bình	8.5E-01	Khác biệt thấp
100	4.993%	20	4.292%	0.860	Ảnh hưởng mạnh	1.2E+00	Khác biệt thấp
110	4.321%	18	3.863%	0.894	Ảnh hưởng mạnh	1.1E+00	Khác biệt thấp
120	3.866%	18	3.863%	0.999	Ảnh hưởng mạnh	1.5E+00	Khác biệt thấp

130	3.109%	7	1.502%	0.483	Ảnh hưởng thấp	8.6E-01	Khác biệt thấp
140	2.604%	11	2.361%	0.906	Ảnh hưởng mạnh	1.7E+00	Khác biệt thấp
150	2.014%	3	0.644%	0.320	Ảnh hưởng thấp	6.5E-01	Không khác biệt
160	1.642%	2	0.429%	0.261	Không ảnh hưởng	6.1E-01	Không khác biệt
170	1.047%	2	0.429%	0.410	Ảnh hưởng thấp	8.8E-01	Khác biệt thấp
180	0.805%	1	0.215%	0.267	Không ảnh hưởng	6.2E-01	Không khác biệt
190	0.549%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
200	0.370%	2	0.429%	1.160	Ảnh hưởng rất mạnh	4.2E+00	Rất khác biệt
210	0.191%	1	0.215%	1.123	Ảnh hưởng mạnh	4.2E+00	Rất khác biệt
220	0.114%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
230	0.051%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
240	0.022%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
250	0.010%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

c./ Lượng mưa

Nghiên cứu của **Mai Văn Khiêm (2015) [93]** cho thấy đặc điểm mưa ở MNPB có một số đặc điểm thuận lợi cho sự hình thành KTL như sau:

- Ở MNPB có nhiều tâm mưa với số ngày mưa lớn hoặc có lượng mưa khá lớn. Đáng lưu ý là Yên Bái trở thành trung tâm mưa nhờ có một thời kỳ mưa phùn đặc biệt nhiều vào cuối mùa đông. Kết quả xây dựng bản đồ mưa trận cho thấy, nơi có lượng mưa trận vượt ngưỡng 50mm nhiều nhất chủ yếu xuất hiện ở các tâm mưa chính như ở Bắc Quang.
- Địa hình các dãy núi cao phương TB - ĐN cũng đã xác lập cho Tây Bắc Bộ một chế độ khí hậu khô nóng hơn so với Đông Bắc Bộ, cũng như tạo ra các phân vùng vi khí hậu địa phương đặc thù. Điều này cũng thể hiện rõ ở lượng mưa trung bình năm giữa các vùng.

Như vậy, lượng mưa trung bình năm và lượng mưa trận lớn nhất là các yếu tố quan trọng góp phần hình thành các KTL ở MNPB. Theo kết quả thống kê cho thấy, khả năng xuất hiện KTL cao thường tập trung ở khu vực có lượng mưa trung bình năm vào khoảng 2200mm- 2600mm. Lượng mưa trận lớn nhất có 2 khoảng giá trị ảnh hưởng mạnh tới sự hình thành KTL là từ 90-100mm và 170-180mm.

Bảng 4. 12. Mối tương quan thống kê của yếu tố lượng mưa trung bình năm theo khả năng hình thành KTL

Lượng mưa trung bình năm	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
1400	3.000%	10	2.146%	0.715	Ảnh hưởng thấp	3.7E+00	Rất khác biệt
1500	6.752%	17	3.648%	0.540	Ảnh hưởng thấp	1.3E+00	Khác biệt thấp
1600	14.631%	51	10.944%	0.748	Ảnh hưởng thấp	6.4E-01	Không khác biệt
1700	9.102%	40	8.584%	0.943	Ảnh hưởng trung bình	8.5E-01	Khác biệt thấp
1800	11.570%	41	8.798%	0.760	Ảnh hưởng thấp	9.1E-01	Khác biệt thấp

1900	13.613%	41	8.798%	0.646	Ảnh hưởng thấp	1.0E+00	Khác biệt thấp
2000	10.233%	38	8.155%	0.797	Ảnh hưởng thấp	6.6E-01	Không khác biệt
2100	11.684%	60	12.876%	1.102	Ảnh hưởng trung bình	9.5E-01	Khác biệt thấp
2200	7.671%	57	12.232%	1.595	Ảnh hưởng mạnh	1.5E+00	Khác biệt thấp
2300	5.618%	61	13.090%	2.330	Ảnh hưởng rất mạnh	1.7E+00	Khác biệt trung bình
2400	3.382%	34	7.296%	2.157	Ảnh hưởng rất mạnh	1.4E+00	Khác biệt thấp
2500	2.014%	12	2.575%	1.279	Ảnh hưởng trung bình	7.5E-01	Khác biệt thấp
2600	0.430%	4	0.858%	1.995	Ảnh hưởng rất mạnh	2.8E+00	Khác biệt lớn
2700	0.213%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
2800	0.080%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
2900	0.007%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
>2900	0.000%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

Bảng 4. 13. Mối tương quan thống kê của yếu tố lượng mưa trận lớn nhất theo khả năng hình thành KTL

Lượng mưa trận lớn nhất	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
70	0.000%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
80	0.428%	1	0.215%	0.502	Ảnh hưởng thấp	7.0E-01	Khác biệt trung bình
90	9.636%	30	6.438%	0.668	Ảnh hưởng thấp	5.7E-01	Khác biệt thấp
100	19.422%	113	24.249%	1.249	Ảnh hưởng mạnh	1.4E+00	Rất khác biệt
110	19.886%	156	33.476%	1.683	Ảnh hưởng rất mạnh	1.3E+00	Rất khác biệt
120	20.972%	56	12.017%	0.573	Ảnh hưởng thấp	6.0E-01	Khác biệt thấp
130	15.941%	76	16.309%	1.023	Ảnh hưởng mạnh	8.6E-01	Khác biệt trung bình
140	5.077%	10	2.146%	0.423	Ảnh hưởng thấp	7.5E-01	Khác biệt trung bình
150	3.588%	4	0.858%	0.239	Không ảnh hưởng	7.4E-01	Khác biệt trung bình
160	1.666%	4	0.858%	0.515	Ảnh hưởng thấp	1.0E+00	Khác biệt lớn
170	1.172%	3	0.644%	0.549	Ảnh hưởng thấp	5.5E-01	Khác biệt thấp
180	1.083%	8	1.717%	1.585	Ảnh hưởng rất mạnh	1.6E+00	Rất khác biệt
190	0.960%	5	1.073%	1.118	Ảnh hưởng mạnh	1.6E+00	Rất khác biệt
200	0.169%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
210	0.000%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt

4.1.6. Nhóm yếu tố sử dụng đất

Sử dụng đất làm thay đổi lớp phủ đất có thể làm tăng hoặc giảm mức độ ổn định của sườn dốc. Ở MNPB, sử dụng đất trên sườn dốc thay đổi liên tục do phát triển nông lâm nghiệp và mở rộng đô thị và đều làm biến đổi thảm thực vật. Sự khác biệt về thảm thực vật có thể được xem là một yếu tố đánh giá gián tiếp việc sử dụng đất trên sườn dốc. Vì vậy, chỉ số NDVI được dùng rất rộng rãi để xác định mật độ phân bố của thảm thực vật, đánh giá trạng thái sinh trưởng và phát triển của cây trồng, làm cơ sở số liệu để dự báo sâu bệnh, hạn hán, diện tích năng suất và sản lượng cây trồng... Theo cách phân loại thường dùng NDVI có thể phân biệt các đối tượng sử dụng đất dựa theo phân loại giá trị NDVI sau hiệu chỉnh (bảng 4.14). Chỉ số NDVI

được xác định dựa trên sự phản xạ khác nhau của thực vật thể hiện giữa kênh phổ thấy được và kênh phổ cận hồng ngoại.

Bảng 4. 14. Bảng phân loại đối tượng theo giá trị NDVI sau hiệu chỉnh

Đối tượng được phân loại	Giá trị NDVI sau hiệu chỉnh
Mặt nước	< 0
Rừng rậm	0 – 0,13
Cây trồng, ruộng lúa, hoa màu	0,13 – 0,4
Đô thị, giao thông	> 0,4

Căn cứ vào mức độ khác biệt về tỷ lệ xuất hiện KTL ta thấy, ảnh hưởng của giá trị khác biệt thực vật NDVI tới sự xuất hiện KTL rất mạnh nằm ở giữa khu vực rừng và mạnh ở khu vực cây trồng, ruộng lúa. Đặc điểm này cũng khác phù hợp với thực tế hiện trạng các KTL ghi nhận.

Bảng 4. 15. Mối tương quan thống kê của yếu tố NDVI theo khả năng hình thành KTL

NDVI	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
0	1.392%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.00%	Không khác biệt
0.13	3.520%	31	6.65%	1.890	Ảnh hưởng mạnh	0.01%	Không khác biệt
0.26	19.971%	178	38.20%	1.913	Ảnh hưởng rất mạnh	0.16%	Rất khác biệt
0.4	45.396%	211	45.28%	0.997	Ảnh hưởng trung bình	0.05%	Rất khác biệt
0.55	29.561%	46	9.87%	0.334	Ảnh hưởng thấp	0.04%	Khác biệt lớn
0.7	0.160%	0	0.00%	0.000	Không ảnh hưởng	0.00%	Không khác biệt

4.1.7. Yếu tố hoạt động của con người

Tác động của con người trực tiếp tới sườn dốc làm gia tăng khả năng hình thành KTL được nhiều công trình nghiên cứu đã khẳng định. Các tác động đó chủ yếu là các hoạt động san gạt mái taluy để xây dựng công trình giao thông, xây dựng thủy điện và nhà ở. Trong đó, san gạt mái taluy để làm đường giao thông thường có mức độ ảnh hưởng lớn và rõ rệt nhất. Với phạm vi rộng như MNPB, tác động của con người càng phù hợp hơn khi được đánh giá gián tiếp qua yếu tố khoảng cách đến đường giao thông.

Với đặc điểm thiết kế và thi công đường giao thông như hiện nay, các mái taluy thường có kích thước <100m. Nếu lấy chiều dài lớn nhất của KTL là 400m thì phạm vi ảnh hưởng lớn nhất cũng chỉ là 500m nên NCS giới hạn việc xem xét khoảng cách tới đường giao thông trong phạm vi 500m nhằm giảm bớt khối lượng tính toán và phù hợp với thực tế. Nhằm gia tăng mức độ chính xác, khoảng giá trị khoảng cách tới đường giao thông được lấy là 20m. Kết quả thống kê cho thấy, càng gần đường giao thông khả năng hình thành KTL càng cao và giảm dần khi ra xa.

Kết quả thống kê cho thấy ảnh hưởng thi công taluy đường dẫn đến mật độ xuất hiện khối trượt nhỏ lớn hơn so với KTL là rất nhiều. Khoảng cách tới khối trượt nhỏ hơn 80m thì tỷ lệ khối trượt nhỏ cao hơn KTL cho thấy càng gần đường giao thông thì khối nhỏ xuất hiện nhiều hơn. Nhưng trong phạm vi từ 150 đến 200m, tỷ lệ KTL xuất hiện lớn hơn khối trượt nhỏ cho thấy đây cũng trùng với khoảng chiều dài trung bình của KTL ở MNPB. Như vậy, việc san gạt làm mái taluy dưới chân KTL là yếu tố chính góp phần xuất hiện các KTL.

Bảng 4. 16. Mối tương quan thống kê của yếu tố khoảng cách đến đường giao thông theo khả năng hình thành KTL

Khoảng cách đến đường giao thông	Tỷ lệ pixel trong khoảng	Số điểm KTL trong khoảng	Tỷ lệ xuất hiện KTL	Khả năng xuất hiện KTL	Mức độ ảnh hưởng	Tỷ lệ khác biệt KTL-KTNN	Mức độ khác biệt KTL-KTNN
20	6.592%	277	59.375%	9.007	Ảnh hưởng rất mạnh	9.1E-01	Khác biệt thấp
40	5.952%	63	13.542%	2.275	Ảnh hưởng thấp	1.3E+00	Khác biệt trung bình
60	5.521%	19	4.167%	0.755	Không ảnh hưởng	1.0E+00	Khác biệt trung bình
80	4.859%	19	4.167%	0.858	Không ảnh hưởng	1.9E+00	Khác biệt lớn
100	4.848%	6	1.389%	0.287	Không ảnh hưởng	1.1E+00	Khác biệt trung bình
120	4.362%	10	2.083%	0.478	Không ảnh hưởng	1.6E+00	Khác biệt lớn
140	4.284%	3	0.694%	0.162	Không ảnh hưởng	6.3E-01	Khác biệt thấp
160	4.494%	13	2.778%	0.618	Không ảnh hưởng	2.4E+00	Rất khác biệt
180	4.295%	6	1.389%	0.323	Không ảnh hưởng	1.8E+00	Khác biệt lớn
200	3.732%	5	1.042%	0.279	Không ảnh hưởng	7.8E-01	Khác biệt thấp
220	3.843%	2	0.347%	0.090	Không ảnh hưởng	2.9E-01	Không khác biệt
240	3.854%	3	0.694%	0.180	Không ảnh hưởng	7.4E-01	Khác biệt thấp
260	3.644%	5	1.042%	0.286	Không ảnh hưởng	1.3E+00	Khác biệt trung bình
280	3.611%	3	0.694%	0.192	Không ảnh hưởng	7.8E-01	Khác biệt thấp
300	3.655%	3	0.694%	0.190	Không ảnh hưởng	9.6E-01	Khác biệt thấp
320	3.688%	5	1.042%	0.282	Không ảnh hưởng	1.3E+00	Khác biệt trung bình
340	3.202%	0	0.000%	0.000	Không ảnh hưởng	0.0E+00	Không khác biệt
360	3.357%	2	0.347%	0.103	Không ảnh hưởng	5.3E-01	Khác biệt thấp
380	3.202%	3	0.694%	0.217	Không ảnh hưởng	1.3E+00	Khác biệt trung bình
400	3.092%	2	0.347%	0.112	Không ảnh hưởng	6.5E-01	Khác biệt thấp
420	3.335%	5	1.042%	0.312	Không ảnh hưởng	1.7E+00	Khác biệt lớn
440	3.500%	5	1.042%	0.298	Không ảnh hưởng	1.5E+00	Khác biệt lớn
460	3.026%	3	0.694%	0.230	Không ảnh hưởng	1.4E+00	Khác biệt trung bình
480	2.915%	2	0.347%	0.119	Không ảnh hưởng	6.5E-01	Khác biệt thấp
500	3.136%	2	0.347%	0.111	Không ảnh hưởng	5.7E-01	Khác biệt thấp

4.2. Đánh giá tổng hợp tương quan thống kê của các yếu tố ảnh hưởng

4.2.1. Tương quan cặp đôi giữa các yếu tố ảnh hưởng

Trong phân tích quy luật hình thành KTL dựa vào lý thuyết thống kê, việc tìm quy luật hình thành của KTL được xem như tương đương với việc tìm hàm hồi quy đa biến. Khi đó, các yếu tố đưa vào phân tích hình thành cần được xem xét như các biến số độc lập. Các yếu tố hình thành lúc này cần được xem xét trong các bối cảnh

tương đối độc lập trong tự nhiên nhưng thực tế rất khó tránh tồn tại yếu tố phản ánh được một phần quy luật của yếu tố khác. Ví dụ như yếu tố VPH là yếu tố tổng hợp từ các yếu tố khác như: đặc điểm địa hình, đặc điểm thạch học, đặc điểm kiến tạo nên cần xem xét trong bối cảnh khác. Bên cạnh đó, yếu tố hướng dốc địa hình là yếu tố tác động gián tiếp đến hiện tượng trượt thông qua mối quan hệ tương hỗ giữa địa hình và khí hậu nên cũng cần xem xét đánh giá mức độ tương quan với các yếu tố khác. Hay như yếu tố chỉ số độ ẩm địa hình cũng là yếu tố tổng hợp từ địa hình và yếu tố thủy văn nên xem xét tương quan giữa các yếu tố là cần thiết.

VPH được mô tả tại 26 KTL dựa vào 2 đặc điểm chính là chiều dày và đặc điểm thành phần thạch học của mặt cắt VPH. Chiều dày VPH được chia theo các mức <10m, 10-15m và >15m, thành phần thạch học của mặt trượt nguy hiểm gồm 2 loại mặt phân cách giữa các lớp phong hóa mạnh, lớp phong hóa trung bình và phong hóa yếu. Kết quả phân tích thống kê tương quan giữa các yếu tố cho thấy, yếu tố khoảng cách đến đứt gãy, khoảng cách đến ranh giới thạch học, khoảng cách đến đường giao thông, lượng mưa trung bình năm, cao độ địa hình và hướng dốc sườn là những yếu tố có tương quan cao với các đặc điểm của VPH (hình 4.2). Như vậy, yếu tố VPH đã được phản ánh một phần bởi đặc điểm của các yếu tố này. Như vậy, yếu tố VPH ở tỷ lệ nghiên cứu của luận án phụ thuộc vào các yếu tố khác và không là biến độc lập được sử dụng khi phân tích đánh giá nguy cơ hình thành của KTL ở MNPB. Hơn nữa, số liệu về đặc điểm VPH không đảm bảo đủ chi tiết để thể hiện toàn diện cho cả khu vực MNPB. Do đó luận án không xem xét sử dụng VPH như một yếu tố phân tích nguy cơ hình thành KTL ở MNPB.

Có 15 yếu tố định lượng được đưa ra phân tích trong 5 nhóm yếu tố ở trên. Hệ số tương quan và dạng biểu đồ phân bố được tổng hợp theo cặp trong hình 4.3. Kết quả cho thấy tính tương quan giữa hầu hết các yếu tố là thấp, cho thấy tính độc lập giữa các biến số là khá cao trong phân tích này. Các yếu tố xem xét đều có mức tương quan độc lập tương đối và có thể coi là các biến độc lập. Số liệu phân tích tương quan cho thấy không nên gộp yếu tố định lượng ở trên lại với nhau. Tuy nhiên cần chú ý một số yếu tố có hệ số tương quan với các yếu tố khác cao hơn trung bình như: khoảng cách tới sông suối tương quan với độ cong dọc địa hình; độ cong ngang sườn; chỉ số độ ẩm địa hình; và độ dốc tương quan với chỉ số độ ẩm địa hình cần được đánh giá để làm rõ thêm mức độ ảnh hưởng và đưa ra lựa chọn phù hợp.



Hình 4. 2. Kết quả phân tích tương quan giữa các yếu tố ảnh hưởng với các đặc điểm của VPH

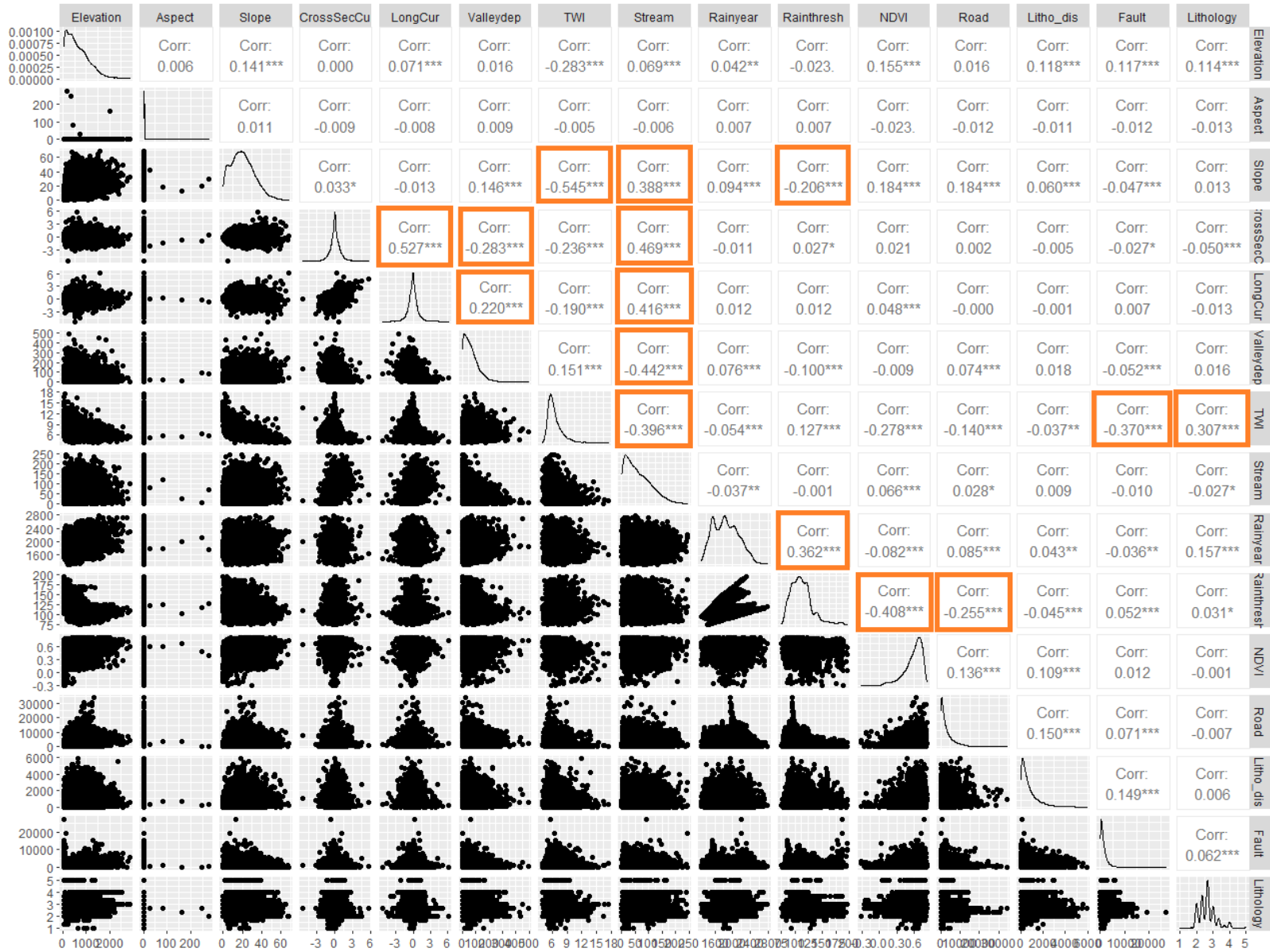
4.2.2. Tính đa cộng tuyến các yếu tố ảnh hưởng

Kết quả thể hiện trong **bảng 4.18** hệ số đa cộng tuyến cho thấy tất cả các giá trị VIF đều thỏa mãn trong khoảng từ 1-5 nên 15 yếu tố đưa vào phân tích không bị ảnh hưởng đa cộng tuyến một cách nghiêm trọng.

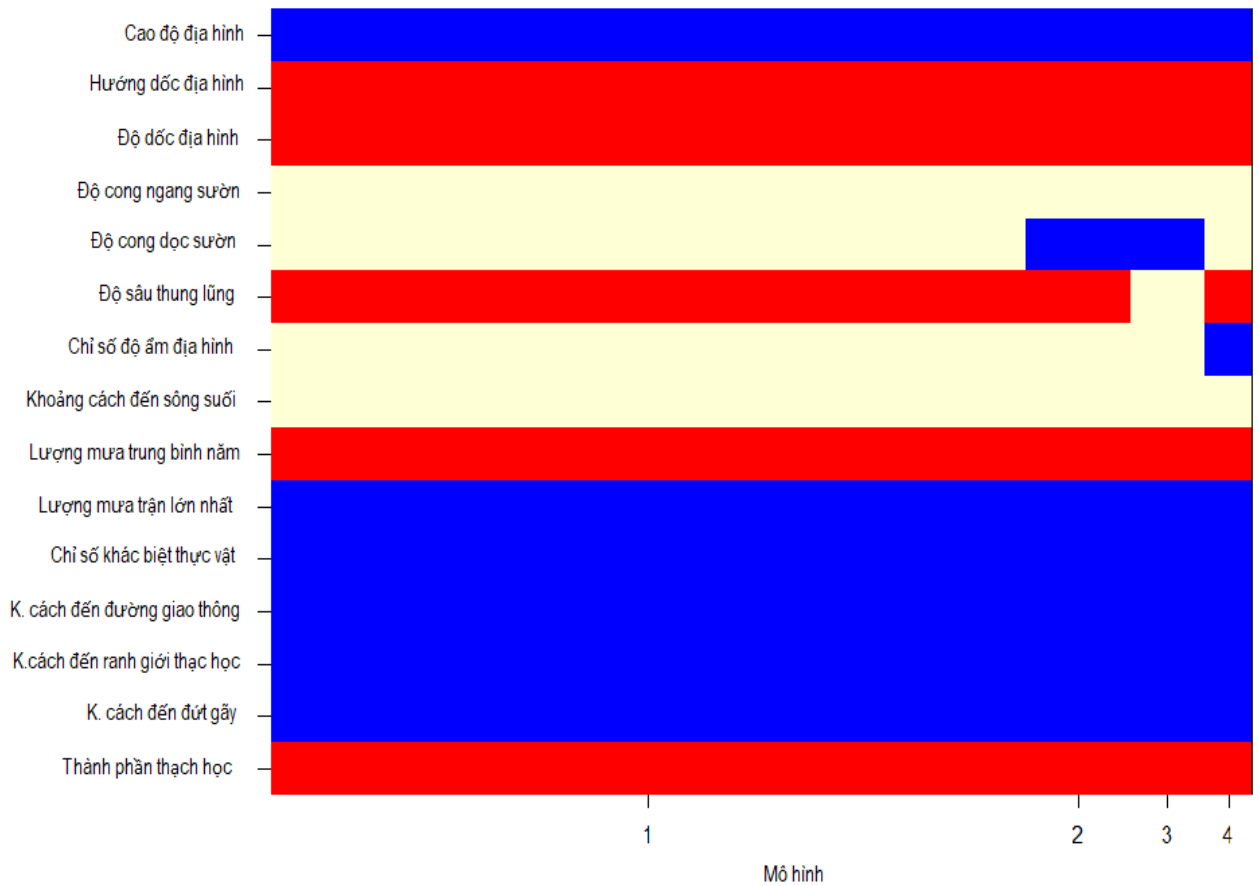
4.2.3. Lựa chọn các yếu tố ảnh hưởng cho mô hình đánh giá nguy cơ

a./ Lựa chọn yếu tố cho mô hình tối ưu bằng BMA

Biểu đồ BMA trong **hình 4.4** bên dưới cho thấy mô hình 1 có khả năng mô phỏng mô hình tối ưu nhất mà không cần có yếu tố độ cong dọc địa hình, độ cong ngang sườn, chỉ số độ ẩm địa hình và khoảng cách đến sông suối. Trong mô hình thứ 2, yếu tố không cần thiết trong mô hình được bổ sung thêm yếu tố độ cong dọc địa hình nhưng sẽ làm mô hình phức tạp thêm mà kết quả không được cải thiện mấy. Trong mô hình thứ 3, yếu tố độ cong dọc địa hình được giữ lại nhưng lại bỏ bớt đi yếu tố độ sâu thung lũng có thể do mức độ tương quan giữa các yếu tố này là khá cao (corr = 0.37). Trong mô hình thứ 4, yếu tố độ cong dọc địa hình bị loại bỏ nhưng bổ sung yếu tố độ sâu thung lũng và chỉ số độ ẩm định hình. Như vậy, mô hình 1 là mô hình tối ưu đảm bảo các điều kiện: các yếu tố sử dụng trong phân tích là tối thiểu, cấu trúc mô hình đơn giản và kết quả đảm bảo chính xác.



Hình 4. 3. Biểu đồ tương quan giữa các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL



Hình 4. 4. Lựa chọn mô hình hồi quy logistic bằng BMA

b./ Phân tích thành phần chính trong các mô hình

Trong 11 yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở trên, yếu tố nào phản ánh nhiều nhất các đặc điểm hình thành của KTL là một vấn đề cần xem xét. Sử dụng phần mềm R để phân tích thành phần chính bằng hàm “*princomp*” nhanh chóng lấy được kết quả tỷ lệ phương sai của mô hình. Kết quả tính toán thể hiện trong **bảng 4.17** cho thấy với 3 mô hình đầu tiên, tỷ lệ tích lũy phương sai đã đạt đến 98% và mô hình thứ 3 đã giải thích được phần lớn điều kiện hình thành của KTL ở MNPB. Với kết quả phân tích này chỉ số ảnh hưởng của yếu tố khoảng cách đến đường giao thông giải thích được nhiều nhất phạm vi phương sai của mô hình hồi quy, tiếp theo là các yếu tố về khoảng cách đến đứt gãy và ranh giới thạch học, thành phần thạch học và độ dốc. Điều này cho thấy, sự hình thành KTL ở MNPB liên quan mật thiết với những cấu trúc không liên tục về thành phần thạch học hoặc khe nứt kiến tạo. Như vậy, các yếu tố chính ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở MNPB được xếp xếp theo thứ tự mức độ quan trọng từ cao đến thấp gồm: khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến đứt gãy khoảng cách đến ranh giới thạch học, thành phần thạch học, độ dốc địa hình.

Bảng 4. 17. Kết quả phân tích thành phần chính các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở MNPB

Yếu tố	Mô hình								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cao độ địa hình				0.974	0.208				
Hướng dốc									-1.0
Độ dốc			0.331						
Độ sâu thung lũng						0.999			
Lượng mưa trung bình năm				0.208	-0.977				
Lượng mưa trận lớn nhất							0.997		
Chỉ số khác biệt thực vật								-1.0	
Khoảng cách đến đường giao thông	0.998								
Khoảng cách đến ranh giới thạch học		0.993							
Khoảng cách đến đứt gãy		0.994							
Thành phần thạch học			0.353						
Độ lệch chuẩn	3294.707	1658.118	754.679	448.710	2.672 e+02	5.504 e+01	14.92	10.68	4.739
Tỷ lệ phương sai	0.751	0.190	0.039	0.014	4.942e-3	2.096e-4	1.540e-5	7.895e-6	1.554e-6
Tỷ lệ tích lũy	0.751	0.941	0.98	0.995	9.997e-1	9.999e-1	9.999e-1	9.999e-1	1.0
Chỉ số AUC		0.78	0.837	0.868	0.868	0.885	0.901	0.915	0.92

4.3. Kết quả đánh giá nguy cơ hình thành KTL

4.3.1. Đánh giá nguy cơ hình thành của KTL tại MNPB

Xét một cách tổng thể, các biến số tiên lượng đưa vào mô hình hồi quy đa biến cần thỏa mãn các điều kiện:

- Đầy đủ: mô tả được một cách phù hợp tiên đoán được càng gần càng tốt với các giá trị quan sát của biến phụ thuộc y.
- Có ý nghĩa thực tiễn: mô hình phải được luận giải giữa ý nghĩa thực tiễn với các lý thuyết khoa học.
- Đơn giản: mô hình có ít biến số độc lập vì nếu quá nhiều biến số thì điều tra mở rộng sẽ khó khăn và nhiều khi thiếu thực tế.

Qua kết quả phân tích ở **mục 4.2**, các yếu tố định lượng ảnh hưởng đến sự hình thành KTL ở khu vực MNPB nên đưa vào trong phân tích bao gồm 11 yếu tố: cao độ

địa hình, độ dốc địa hình, độ sâu thung lũng, lượng mưa trung bình năm, lượng mưa trận lớn nhất, NDVI, thành phần thạch học, khoảng cách đến ranh giới thạch học, khoảng cách đến đứt gãy, khoảng cách đến đường giao thông. Mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến sự hình thành KTL được chia làm 5 cấp: không ảnh hưởng, ảnh hưởng thấp, ảnh hưởng trung bình, ảnh hưởng mạnh, ảnh hưởng rất mạnh (xem chi tiết các bản đồ mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến sự hình thành KTL trong phụ lục 2).

Để xử lý các lớp dữ liệu yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL, dữ liệu raster được chuyển đổi thành dữ liệu dạng số trong file *.csv để đưa vào phần mềm R Studio phân tích thống kê. NCS sử dụng biến nhị phân (1, 0) để máy tính phân biệt trường hợp xuất hiện và không xuất hiện TKL. Để tăng độ chính xác của mô hình phân tích, dữ liệu KTL được bổ sung thêm các vị trí KTL do NCS tự điều tra bổ sung kết hợp với 15 tập dữ liệu KTL có được từ thống kê các CSDL thu thập. Tập hợp dữ liệu hiện trạng KTL bao gồm 538 khối được chia ngẫu nhiên thành 2 phần, tập dữ liệu đào tạo chiếm 80% và 20% còn lại được sử dụng cho mục đích xác thực.

a./ Kết quả đánh giá nguy cơ KTL bằng hồi quy logistic

Kết quả chính trong phân tích mô hình hồi quy logistic bằng phần mềm R cho biết các tham số định lượng mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố hình thành KTL. Dấu \pm đứng trước mỗi hệ số (β) cho thấy chiều hướng ảnh hưởng tiêu cực hay tích cực của các yếu tố ảnh hưởng tới sự hình thành KTL. Phân tích cho thấy các yếu tố thạch học, lượng mưa trung bình năm, độ sâu thung lũng, độ dốc sườn, hướng dốc sườn có vai trò quan trọng trong việc gia tăng khả năng xuất hiện KTL trong khu vực nghiên cứu, bởi vì hệ số (β) có giá trị dương. Mặt khác, các yếu tố về khoảng cách tới ranh giới thạch học, khoảng cách tới đứt gãy, khoảng cách tới đường giao thông có tác động tiêu cực tới sự xuất hiện KTL do các giá trị hệ số β đều âm. Các giá trị âm này còn giải thích hiện tượng hình thành theo hướng nếu khoảng cách càng xa các đối tượng địa chất này thì mức độ ảnh hưởng sẽ càng giảm. Giá trị tuyệt đối của hệ số β càng lớn thì mức độ ảnh hưởng của yếu tố tới sự hình thành KTL càng rõ. Theo đó, yếu tố khoảng cách đến đứt gãy, khoảng cách đến ranh giới thạch học, khoảng cách đến đường giao thông, thạch học và độ dốc là những yếu tố quyết định chính đến sự hình thành KTL ở MNPB và rõ hơn những yếu tố còn lại. Kết quả này khá tương đồng với các kết quả phân tích thành phần chính trong **bảng 4.17**.

Bảng 4. 18. Hệ số beta và kết quả kiểm định thống kê của các biến được sử dụng trong phương trình hồi quy logistic

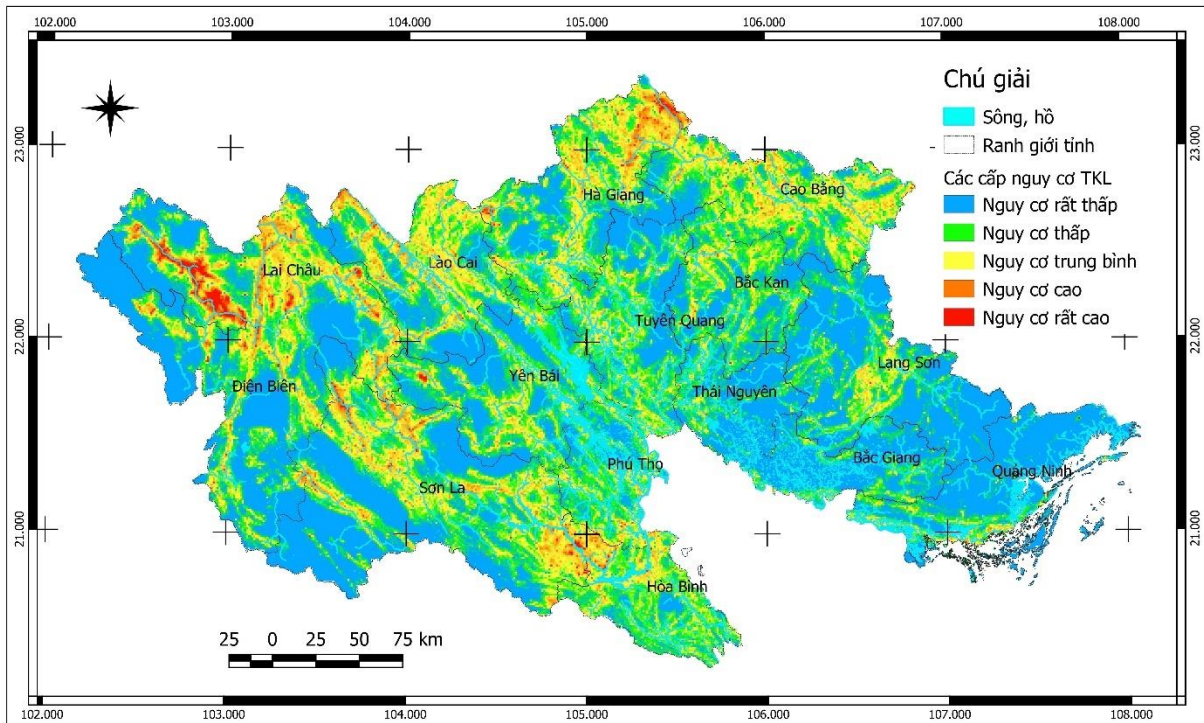
	Hệ số (β)	Độ lệch chuẩn	z.value	P value	Dung sai	VIF
(Ước số)	0.561	0.511	1.100	0.271		
Cao độ địa hình	-2.375	0.589	-0.403	5.67e-5	0.683	1.464
Hướng dốc	1.027	1.775	5.785	7.24e-9	0.988	1.012
Độ dốc	2.852	0.455	6.264	3.76e-10	0.823	1.214
Độ sâu thung lũng	1.075	0.533	2.015	4.39e-2	0.923	1.083
Lượng mưa trung bình năm	1.919	0.391	4.910	9.11e-7	0.738	1.353
Lượng mưa trận lớn nhất	-3.718	0.641	-5.796	6.77e-9	0.673	1.485
Chỉ số khác biệt thực vật	-3.598	0.447	-8.048	8.43e-16	0.958	1.043
Khoảng cách đến đường giao thông	-6.001	1.034	-5.802	6.56e-9	0.939	1.065
Khoảng cách đến ranh giới thạch học	-8.832	1.254	-7.040	1.92e-12	0.943	1.055
Khoảng cách đến đứt gãy	-14.058	2.445	-5.749	8.89e-9	0.948	1.059
Thành phần thạch học	2.207	0.508	4.342	1.41e-5	0.971	1.030

Gọi p là xác suất tiên đoán khả năng xảy ra TKL ở khu vực MNPB thì lúc đó mô hình hồi quy logistic được xác định theo phương trình như sau:

$$\log(p / (1 - p)) = 5 - 2.375 * (\text{Cao độ địa hình}) + 1.027 * (\text{Hướng dốc}) + 2.852 * (\text{Độ dốc}) + 1.075 * (\text{Độ sâu thung lũng}) + 1.919 * (\text{Lượng mưa trung bình năm}) - 3.718 * (\text{Lượng mưa trận lớn nhất}) - 3.598 * (\text{Chỉ số khác biệt thực vật}) - 6.001 * (\text{Khoảng cách đến đường giao thông}) - 8.832 * (\text{Khoảng cách đến ranh giới thạch học}) - 14.058 * (\text{Khoảng cách đến đứt gãy}) + 2.207 * (\text{Thành phần thạch học}) + 0.561$$

Sử dụng hàm “*predict*” để ước tính giá trị xác suất p tính từ mô hình logistic ở trên cho từng điểm của khu vực MNPB. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL bằng mô hình logistic được thành lập bằng cách đưa vào phần mềm QGIS. Các giá trị nguy cơ hình thành TKL được phân loại thành năm mức, cụ thể là không có nguy cơ, nguy cơ thấp, nguy cơ trung bình, nguy cơ cao, nguy cơ rất cao bằng cách sử dụng kỹ thuật phân loại dựa vào tỷ lệ. Kết quả thể hiện trên bản đồ cho thấy, khu vực dọc theo các đới đứt gãy kiến tạo sông Đà, đới Fanxipăng, đới Điện Biên Phủ, đới sông Lô là những khu

vực tập trung mật độ TKL với nguy cơ rất cao. Phạm vi hiển thị vùng không có nguy cơ khá rõ ràng và tập trung ở khu vực ít có hoạt động nhân sinh tác động, ranh giới các tỉnh, nơi có thảm phủ thực vật tương đối tốt.



Hình 4. 5. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở MNPB bằng mô hình hồi quy logistic (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)

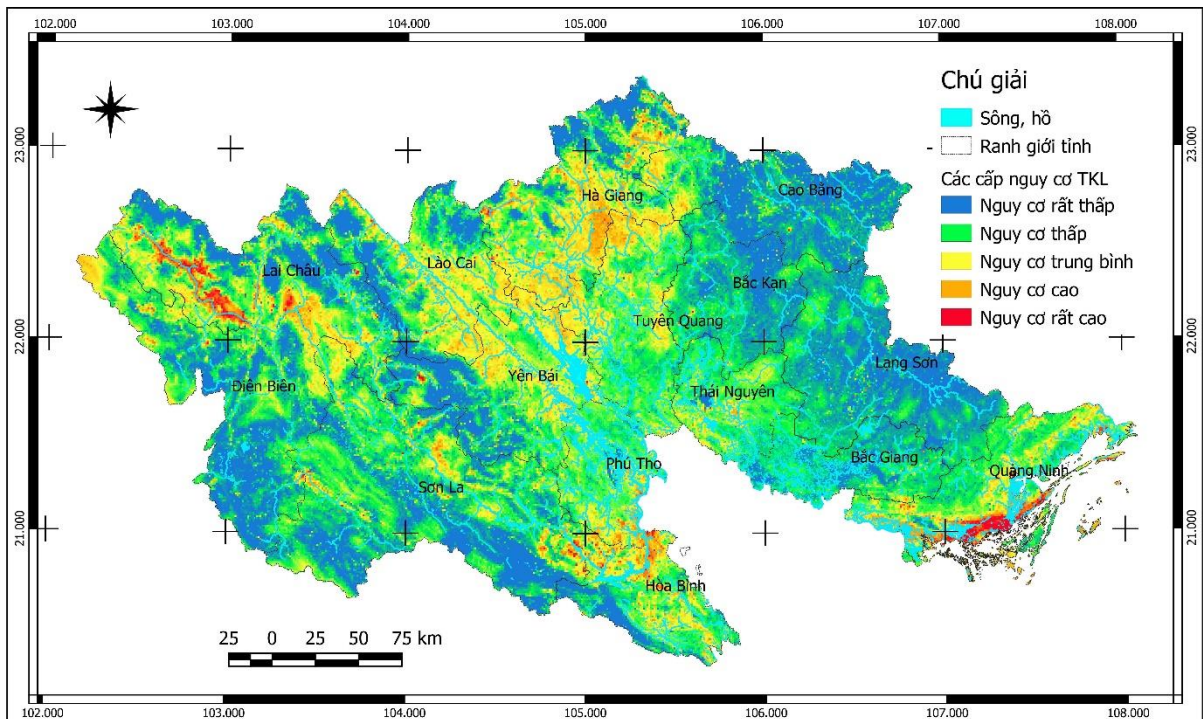
b./ Kết quả đánh giá nguy cơ KTL bằng máy vector hỗ trợ

Phân tích máy vector hỗ trợ trong phần mềm R bằng cách sử dụng hàm “svm” để đánh giá tập dữ liệu đào tạo dựa vào tính chất hàm hạt nhân RBF được định nghĩa là kiểu “radial” trong phần mềm R. Hiệu suất phân tích của mô hình SVM phụ thuộc vào sự lựa chọn của các hàm hạt nhân và các tham số của chúng, đặc biệt là hệ số phạt C và gamma. Trong nghiên cứu này, phương pháp tìm kiếm theo lưới với xác nhận chéo đã được sử dụng để xác định các giá trị tối ưu của C và gamma theo 6 bước như sau: (1) Đặt một cặp (C, γ) giá trị cho mô hình SVM; (2) Chia ngẫu nhiên tập dữ liệu huấn luyện thành 5 tập con có kích thước bằng nhau; (3) Sử dụng 4 tập hợp con của chúng để huấn luyện mô hình SVM; (4) Xác thực mô hình được đào tạo bằng cách sử dụng một tập hợp con còn lại; (5) Lặp lại bước ba và bước bốn trong năm lần cho mỗi tập hợp con; (6) Tính độ chính xác tổng thể được xác định là phần trăm dữ liệu được dự đoán chính xác. Chọn giá trị tốt nhất của C và γ cho hàm hạt nhân RBF là 4 và 0.09 với độ chính xác tổng thể của mô hình đạt 93.1%.

Xác suất tiên đoán khả năng xảy ra TKL ở khu vực MNPB theo mô hình máy vector hỗ trợ được xác định theo mối liên hệ bởi các hệ số tương ứng với các yếu tố như

sau: Cao độ địa hình (-3.312); Hướng dốc (8.198); Độ dốc (24.627); Độ sâu thung lũng (-0.238); Lượng mưa trung bình năm (6.973); Lượng mưa trận lớn nhất (-13.587); Chỉ số khác biệt thực vật (2.263); Khoảng cách đến đường giao thông (-8.169); Khoảng cách đến ranh giới thạch học (-18.728); Khoảng cách đến đứt gãy (-24.177); Thành phần thạch học (0.615). Giá trị hệ số của các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL phù hợp với kết quả phân tích thành phần chính trong **bảng 4.17**.

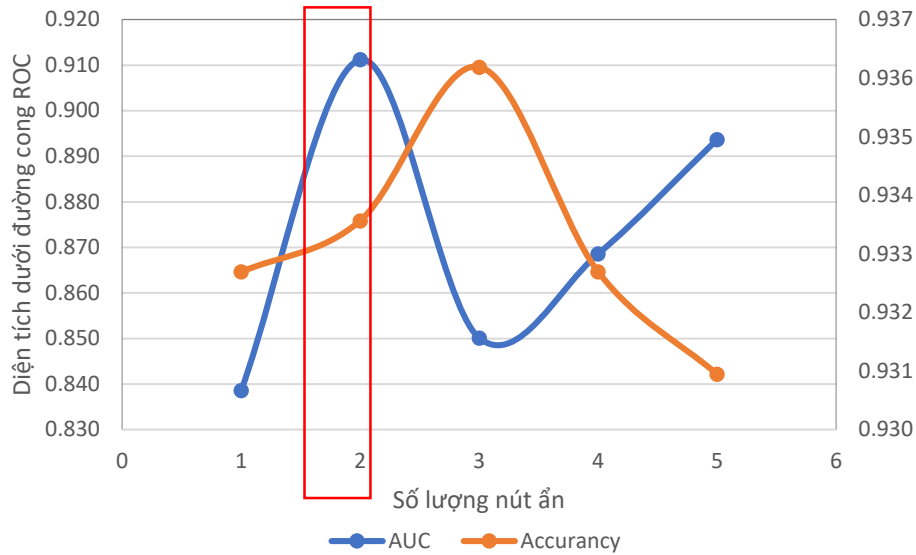
Kết quả phân tích bằng mô hình SVM được chuyển đổi sang dạng raster để hiển thị như **hình 4.7**. Nguy cơ hình thành cao và rất cao được phân tích thể hiện trong những diện tích hẹp. Một số địa phương có mật độ nguy cơ cao lớn thuộc khu vực các huyện Mường Tè, Sìn Hồ, Tam Đường, Than Uyên (Lai Châu); Xín Mần, Hoàng Su Phì, Vị Xuyên Quang Bình (Hà Giang); Pắc Nặm, Ba Bể (Bắc Kạn); Đà Bắc (Hòa Bình); Mộc Châu (Sơn La); Mù Cang Chải (Yên Bái). Kết quả phân loại cho thấy sự hình thành KTL không còn phụ thuộc rõ rệt vào một yếu tố nào chính mà là sự tổng hòa của nhiều yếu tố tự nhiên và con người đan xen.



Hình 4.6. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở MNPB bằng mô hình máy vector hỗ trợ (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)

c./ Kết quả đánh giá nguy cơ KTL bằng mạng neural nhân tạo

Phân tích nguy cơ hình thành TKL theo phương pháp ANN trong phần mềm R bằng cách sử dụng hàm “neuralnet” để đánh giá tập dữ liệu đào tạo theo chuẩn nhị phân trong phần mềm R. Số lượng lớp nút ẩn ảnh hưởng rất mạnh đến cấu trúc, độ tin cậy và tốc độ tính toán của mô hình ANN. Theo các trường hợp có số lượng lớp ẩn khác nhau (**hình 4.7**), ta thấy mô hình có 2 lớp ẩn cho kết quả đáng tin cậy nhất.



Hình 4. 7. Lựa chọn số lượng nút ẩn trong mô hình neural nhân tạo

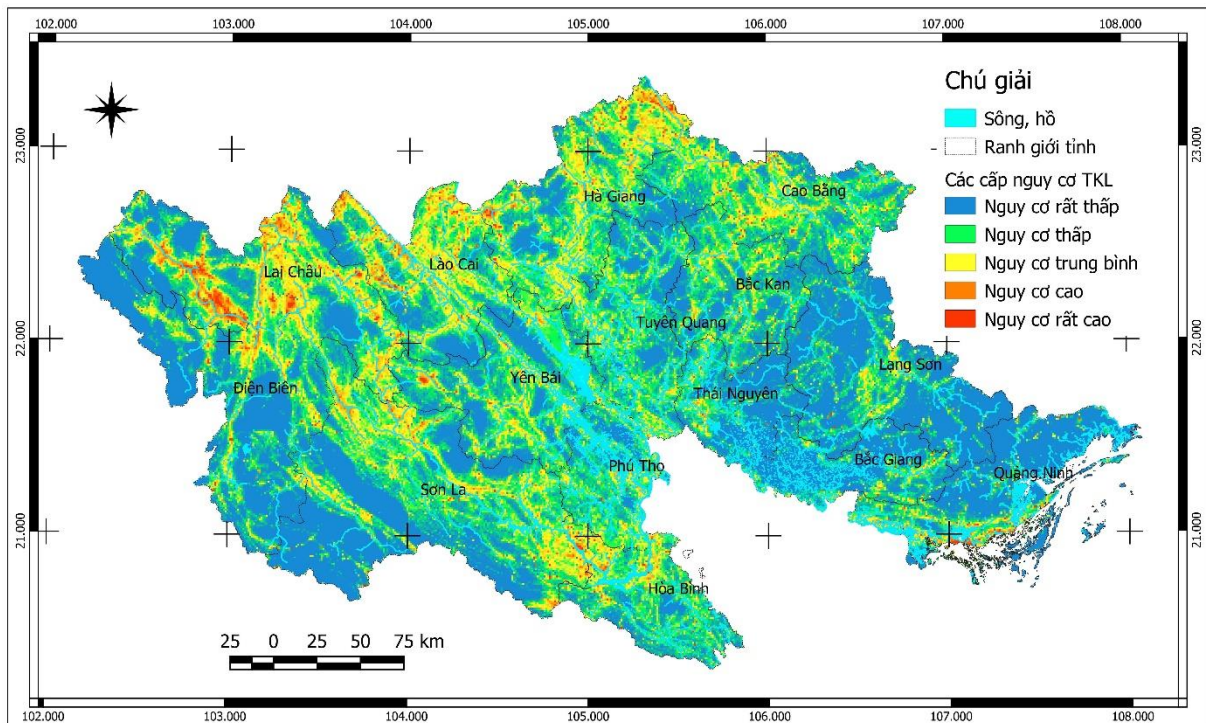
Kết quả phân tích mô hình neural nhân tạo cho thấy các hệ số và số dư trong các lớp ẩn thể hiện qua 3 lần lặp như sau:

	[vòng lặp #1]	[vòng lặp #2]	[vòng lặp #3]
Intercept.to.1layhid1	-9.596091e-01	-2.581826e+00	1.49839162
Elevation.to.1layhid1	8.449910e-01	-8.851850e-01	-1.04422210
Aspect.to.1layhid1	-1.479430e+01	5.830312e+00	1.64627199
Slope.to.1layhid1	1.001049e+00	4.848591e+00	-0.86844329
Valleydep.to.1layhid1	9.243393e-02	-8.817418e-01	-0.14280488
Rainyear.to.1layhid1	-3.828025e-01	6.383620e-01	0.49052165
Rainthresh.to.1layhid1	1.135085e+00	-2.645843e+00	-1.23957822
NDVI.to.1layhid1	2.674771e+00	-1.475515e+00	-2.94878302
Road.to.1layhid1	1.493635e+02	-5.324710e+02	-166.33011539
Litho_dis.to.1layhid1	5.790235e+00	-6.132807e+00	-6.64807935
Fault.to.1layhid1	2.252329e+00	-3.439165e+00	-2.41345100
Lithology.to.1layhid1	-9.314547e-01	1.026993e+00	1.04786945
Intercept.to.1layhid2	-5.851444e-01	-1.623327e+01	0.16344737
Elevation.to.1layhid2	-2.255036e+00	4.732171e+00	-3.92974737
Aspect.to.1layhid2	-6.701659e-01	4.334647e+00	-1.55491829
Slope.to.1layhid2	-5.334395e+01	8.805472e+00	-75.22178328
Valleydep.to.1layhid2	-4.854184e+00	-1.119761e+01	-7.53726330
Rainyear.to.1layhid2	-4.120181e+00	8.219834e-01	-5.94573260
Rainthresh.to.1layhid2	3.617043e+00	7.910644e+00	5.51033815
NDVI.to.1layhid2	9.105243e+00	-7.404886e+00	14.27126163
Road.to.1layhid2	8.828238e+00	-3.712539e+02	14.71315364
Litho_dis.to.1layhid2	3.343780e+01	-2.452005e+01	51.13507668
Fault.to.1layhid2	3.144560e+01	-2.062835e+01	47.23712530
Lithology.to.1layhid2	-4.674541e+00	1.699287e+01	-7.74176650
Intercept.to.Status	7.355509e+00	-2.444394e+00	-1.83130518

1layhid1.to.Status -9.194457e+00 7.308867e+01 6.83519517
 1layhid2.to.Status -1.446944e+02 6.123417e+01 -226.28628223

Kết quả trên cho thấy yếu tố khoảng cách đến ranh giới thạch học và khoảng cách đến đứt gãy vẫn là những yếu tố quan trọng và có hệ số lớn nhất đóng góp và mục tiêu hồi quy hàm số xác suất xảy ra TKL.

Kết quả phân tích bằng mô hình ANN được chuyển đổi sang dạng raster để hiển thị như hình 4.8. Nguy cơ hình thành cao và rất cao được phân tích thể hiện trong những diện tích hẹp và phân bố dọc theo các tuyến đường giao thông chính. Một số địa phương có mật độ nguy cơ cao lớn thuộc khu vực các huyện Mường Tè, Sin Hồ, Tam Đường, Than Uyên (Lai Châu); Xín Mần, Hoàng Su Phì, Vị Xuyên Quang Bình (Hà Giang); Pắc Nặm, Ba Bề (Bắc Kạn); Đà Bắc (Hòa Bình); Mộc Châu (Sơn La); Mù Cang Chải (Yên Bái). Đáng chú ý trong kết quả này là nhiều khu vực ở những vùng trũng thấp cũng có mật độ KTL khá dày. Do vậy, kết quả phân tích theo mô hình này cần được xem xét đánh giá và kiểm định thật kỹ hơn nữa.



Hình 4. 8. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành TKL MNPB bằng mô hình neural nhân tạo (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)

d./ Kết quả đánh giá nguy cơ KTL bằng phương pháp xếp chồng

Vì mục tiêu chính của nghiên cứu này là kiểm tra mô hình tối ưu trên cơ sở hiện trạng TKL. Do đó, mỗi pixel trong khu vực nghiên cứu được phân bổ một chỉ số nhạy cảm với TKL. Như phân tích ở trên cho thấy các mô hình có kết quả gần như tương tự nhau về tính nhạy cảm với TKL nhưng vẫn có sự khác biệt nhau khá nhiều về kết quả

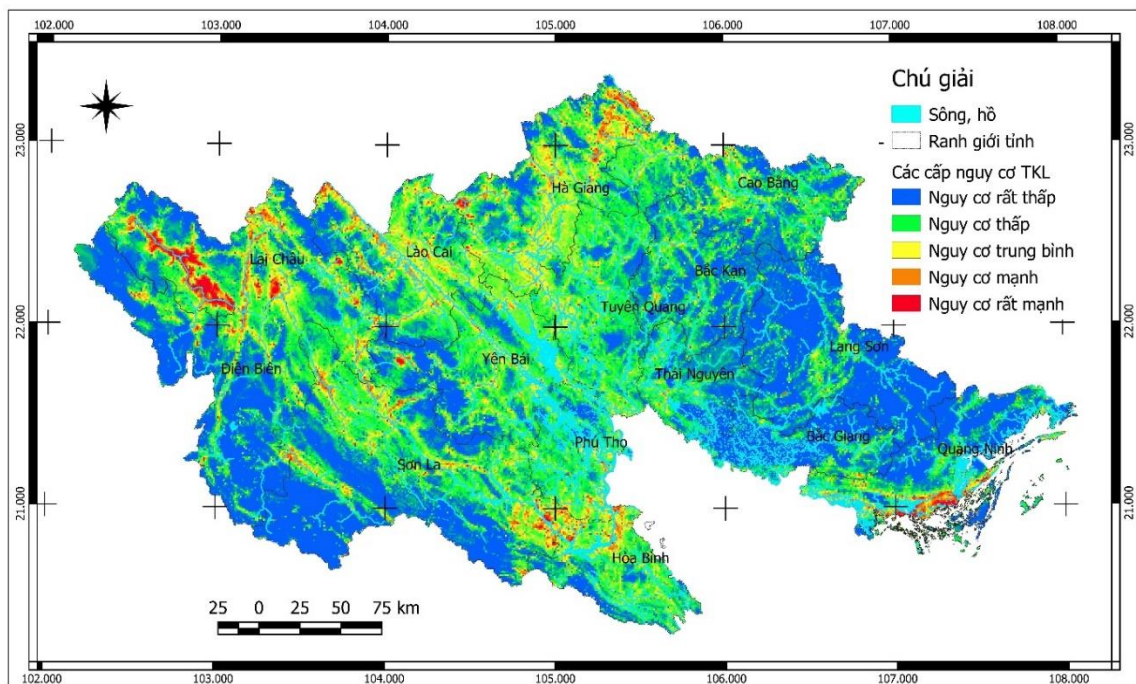
do bản chất các thuật toán là khác nhau. Việc lựa chọn một thuật toán từ một tập hợp các thuật toán có sẵn được thực hiện dựa trên các tiêu chí đánh giá nhất định được gọi là thuật toán tổng hợp.

Về nguyên lý, mô hình tổng hợp này có thể thu được rất đơn giản, bằng cách tính giá trị trung bình có trọng số của các dự đoán từ tất cả các mô hình. Các mô hình có tỷ trọng bằng chứng thấp về cơ bản không có khả năng dự đoán, trong khi các mô hình có trọng số tương tự sẽ đóng góp tương tự, cho phép các yếu tố dự báo đồng thời đóng góp như nhau. Do đó, dự đoán bình quân gia quyền được biểu thị bằng công thức:

$$\bar{P} = \sum_{i=1}^n w_i p_i$$

Trong đó: $w_i p_i$ là trọng số khả năng đúng của mô hình thứ i .

Kết quả phân tích bằng mô hình tổng hợp xếp chồng được chuyển đổi sang dạng raster để hiển thị như hình 4.9. Nguy cơ hình thành cao và rất cao được phân tích thể hiện trong những diện tích hẹp và phân bố dọc theo các tuyến đường giao thông chính. Mật độ KTL dày tập trung vào các đới kiến tạo lớn ở miền Tây Bắc (đới Mường Tè, các đới đứt gãy kiến tạo sông Đà, đới Fanxipăng, đới Điện Biên Phủ, đới sông Lô) và giảm dần ở khu vực Đông Bắc. Một số địa phương có mật độ nguy cao lớn thuộc khu vực các huyện Mường Tè, Sìn Hồ, Tam Đường, Than Uyên (Lai Châu); Xín Mần, Hoàng Su Phì, Vị Xuyên, Quang Bình (Hà Giang); SaPa (Lào Cai); Pắc Nặm, Ba Bể (Bắc Kạn); Đà Bắc (Hòa Bình); Mộc Châu (Sơn La); Mù Cang Chải (Yên Bái).



Hình 4. 9. Bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành trượt khu vực MNPB bằng mô hình tổng hợp xếp chồng (thu nhỏ ở tỷ lệ 1:200.000)

e./ Kiểm tra kết quả đánh giá bằng các công cụ thống kê

Công việc khó khăn ở đây là phải xác định mô hình nào là mô hình tốt nhất để dự báo nguy cơ hình thành KTL ở MNPB. Vì vậy, quá trình kiểm định cần được thực hiện qua các công cụ thống kê. Điều đầu tiên cần xem xét là khoảng tin cậy 95%CI để ước lượng độ tin cậy của mô hình nằm trong đó. Sau đó, định lượng tổng thể độ tin cậy của các mô hình bằng cách đánh giá qua độ chính xác tổng thể ACC. Độ tin cậy trong đánh giá mức độ nhạy cảm xuất hiện KTL còn được tính toán qua hệ số Kappa. Kết quả kiểm định mô hình còn được đánh giá trên các tập dữ liệu khác nhau qua đường cong vận hành máy thu ROC. Số liệu cho thấy khi kiểm định bằng tập dữ liệu đào tạo cho kết quả cao hơn không đáng kể so với tập dữ liệu kiểm định. Như vậy, việc chia tập dữ liệu đào tạo 80% và dữ liệu kiểm định 20% là phù hợp.

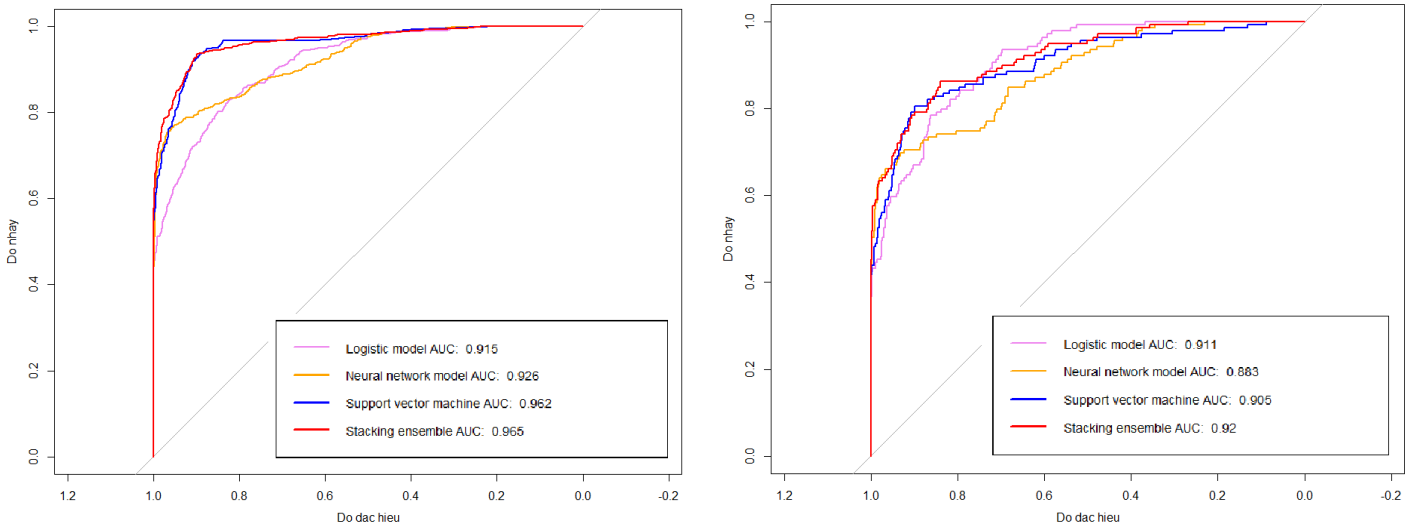
Kết quả kiểm định 04 mô hình phân tích nguy cơ hình thành KTL đều có mức độ tin cậy cao và mức độ khác biệt về kết quả giữa các mô hình là không lớn. Kết quả kiểm định bằng phần mềm R cho biết một cách định lượng các chỉ đánh giá của mô hình. Mô hình phân tích tổng hợp xếp chồng mặc dù phức tạp nhất nhưng lại cho kết quả đáng tin cậy nhất, tiếp theo đơn giản hơn là mô hình máy vector hỗ trợ cũng có kết quả đánh giá mô hình khá cao. Tuy mô hình logistic là một mô hình đơn giản, có tốc độ tính toán nhanh nhưng kết quả áp dụng trong đánh giá nguy cơ hình thành KTL vẫn cao hơn mô hình ANN. Với kết quả này, tùy vào mục đích tính toán và phân tích mà việc lựa chọn mô hình sẽ đảm bảo tính tối ưu hơn.

Bảng 4. 19. Tổng hợp các thông số đánh giá các mô hình máy học

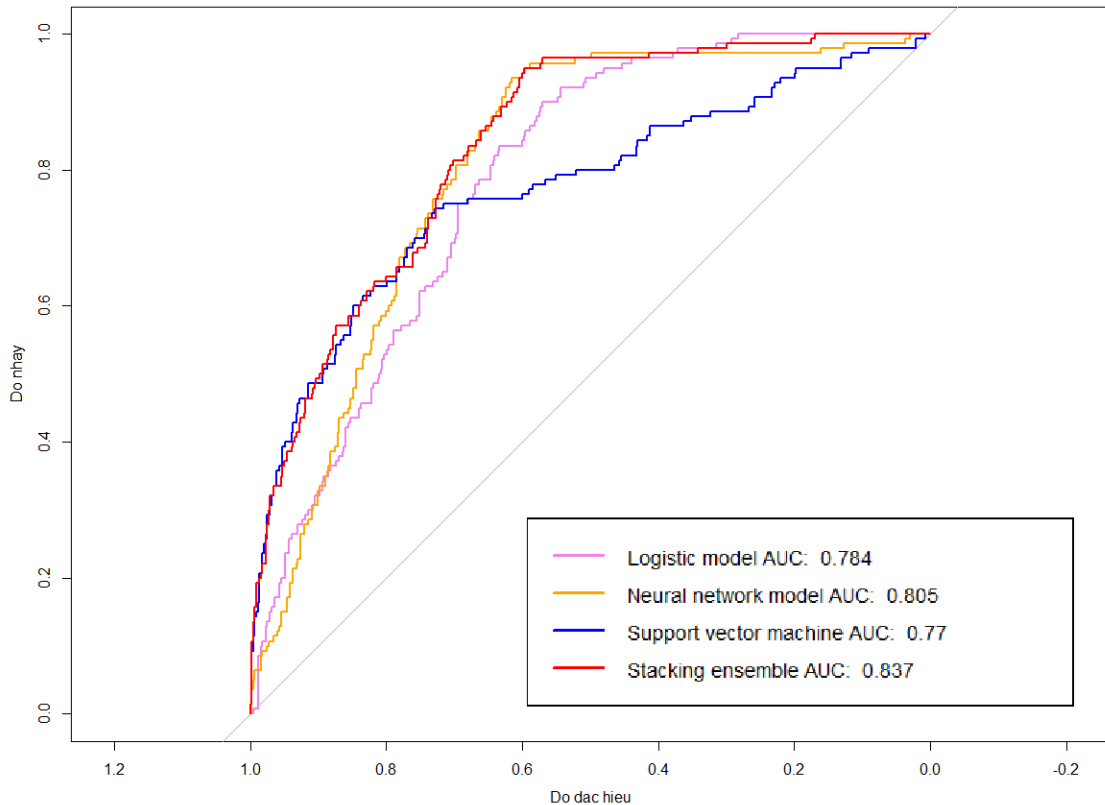
Mô hình	ACC	95%CI	Kappa	AUC
Hồi quy logistic	0,7784	0,7424 - 0,8115	0,3095	0,911
Máy vector hỗ trợ	0,799	0,7641 - 0,8308	0,3603	0,905
Mạng neural nhân tạo	0,7852	0,7496 - 0,8179	0,3644	0,883
Tổng hợp xếp chồng mô hình	0,7938	0,7586 - 0,826	0,3943	0,920
Mô hình xếp chồng đã giảm các yếu tố ảnh hưởng	0,7222	0,6901 - 0,7515	0,4163	0,837

Trong phân tích dữ liệu cho toàn bộ khu vực MNPB, quá trình phân tích thường mất nhiều thời gian nên việc giảm chiều cho mô hình mà vẫn đảm bảo tính tin cậy của mô hình là rất quan trọng. Căn cứ theo kết quả phân tích thành phần chính, các yếu tố định lượng nên giảm bớt gồm: hướng dốc sườn, độ sâu thung lũng, lượng mưa trận lớn nhất, chỉ số khác biệt thực vật. Kết quả tính toán lại cho thấy AUC của mô hình tổng hợp xếp chồng sau khi giảm số lượng biến số vẫn đảm bảo tin cậy được, AUC của mô hình tổng hợp xếp chồng đạt 0,837. Nếu giảm thêm số biến số thạch học và độ dốc, giá trị AUC của mô hình tổng hợp xếp chồng giảm nhanh xuống còn 0,78 nên mô hình không còn chính xác cao nữa. Như vậy, 5 yếu tố hình thành KTL quyết định chính tới

sự chính xác của mô hình đánh giá nguy cơ xuất hiện KTL ở MNPB gồm: độ dốc địa hình, khoảng cách đến các công trình khai đào, khoảng cách đến ranh giới thạch học, khoảng cách đến đứt gãy và thành phần thạch học. Chỉ riêng 5 yếu tố này cũng cho phép đánh giá được chính xác 83,7% các trường hợp TKL ở khu vực MNPB (bảng 4.19).



Hình 4. 10. Đường cong ROC và chỉ số AUC của các mô hình máy học đào tạo và kiểm định mô hình



Hình 4. 11. Đường cong ROC và chỉ số AUC của mô hình phân tích sau khi đã giảm các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL

Các yếu tố ảnh hưởng tới sự hình thành được đưa vào phân tích đều đảm bảo tính độc lập tương quan và không dẫn đến đa cộng tuyến. Tổng hợp trong 15 yếu tố ảnh

hưởng đến sự hình thành KTL, trong đó có 5 yếu tố mang tính chất quyết định. Các yếu tố về độ dốc địa hình, khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến ranh giới thạch học, khoảng cách đến đứt gãy và thành phần thạch học đưa vào phân tích bằng mô hình tổng hợp xếp chồng cho kết quả đáng tin cậy, giá trị kiểm định thống kê và chỉ số AUC của mô hình nằm trong giới hạn cho phép. Như vậy, sự hình thành KTL là do ảnh hưởng đồng thời và chủ yếu của nhóm các yếu tố kiến tạo, thạch học, độ dốc địa hình và hoạt động nhân sinh.

4.3.2. Nhận định về quy luật phân bố KTL ở MNPB

a./ Tổng hợp nhận định về quy luật phân bố KTL

Khu vực có nguy cơ cao xuất hiện KTL ở MNPB được xác định bằng mô hình tổng hợp xếp chồng của các mô hình logistic, ANN và máy vector hỗ trợ có độ tin cậy lớn nhất. Khu vực có khả năng xuất hiện của KTL ở MNPB là rất rộng nhưng mật độ phân bố lớn chủ yếu tập trung ở các huyện Mường Tè, Sìn Hồ, Tam Đường, Than Uyên (Lai Châu); Xín Mần, Hoàng Su Phì, Vị Xuyên Quang Bình (Hà Giang); Pắc Nặm, Ba Bể (Cao Bằng); Đà Bắc (Hòa Bình); Mộc Châu (Sơn La); Mù Cang Chải (Yên Bái). KTL ở MNPB hình thành không phụ thuộc rõ rệt hẳn vào một yếu tố nào chính mà là sự tổng hòa của yếu tố tự nhiên và con người đan xen. Kết quả thể hiện trên các bản đồ nguy cơ hình thành cho thấy, khu vực dọc theo các đới đứt gãy Điện Biên- Lai Châu, đới đứt gãy sông Đà, đới đứt gãy Than Uyên, đới đứt gãy sông Chảy, đới đứt gãy Yên Minh- Phú Lương là những khu vực tập trung mật độ KTL cao.

Một số KTL khi mất ổn định trượt hoàn toàn để lộ ra bề mặt trượt có thể thấy trong mặt trượt là những cấu trúc gồm các tập thạch học rất khác nhau. KTL Thác Khanh có mặt trượt gồm trầm tích cacbonat thuộc hệ tầng Đồng Giao nằm trên trầm tích biển hệ tầng Tân Lạc thành phần cát bột sét kết; KTL bản Sáng Tùng có mặt trượt là đá bazan porphyr màu xám đen bị phủ lên trên là trầm tích núi lửa; KTL Mường Khoa có mặt trượt gồm các tập bột kết vôi có chứa than xen đá phiến silic. Nếu nhìn vào bản đồ đánh giá nguy cơ hình thành KTL ở khu vực huyện XM-HG có thể thấy khu vực phía Tây Bắc của huyện có nguy cơ xuất hiện KTL cao hơn những khu vực khác. Điều này tương thích với đặc điểm địa chất khu vực này có nhiều đứt gãy cắt qua hơn và đồng thời cũng là nơi giao nhau của các hệ tầng Hà Giang với phức hệ Sông Chảy. Như vậy, yếu tố kiến tạo và thạch học có ảnh hưởng rất lớn đến quy luật phân bố KTL ở MNPB.

Khi khảo sát chi tiết ở các KTL trong phạm vi XM-HG, các yếu tố kiến tạo, thạch học, độ dốc địa hình và hoạt động nhân sinh còn cho thấy vai trò ảnh hưởng của chúng rất rõ. KTL Cốc Pài nằm gần đứt gãy, là ranh giới của 2 tập thạch học đá phiến sét và thành tạo sét vôi, chịu ảnh hưởng rất lớn của các hoạt động xây dựng của người dân.

KTL Tân Sơn nằm gần đứt gãy chạy dọc suối Nấm Dẩn, mặt trượt nằm trên ranh giới giữa lớp phong hóa trung bình đá phong hóa nứt nẻ với phong hóa mạnh đã chuyển sang thành đất lẫn cuội tảng, diễn biến dịch chuyển diễn ra mạnh sau khi xây dựng chợ và mở rộng đường TL178. KTL km22 TL178 có độ dốc địa hình rất lớn, nằm gần với đứt gãy chạy dọc suối Nấm Dẩn, diễn biến dịch chuyển diễn ra mạnh sau khi dựng cột điện cao thế trên đỉnh khối trượt và mở rộng đường TL178. KTL thôn Dú Hạ và khu ruộng lúa có độ dốc địa hình rất cao. KTL bản Pó Cồ có độ dốc địa hình rất cao và diễn biến ngày càng phức tạp hơn khi đường ra cửa khẩu XM được mở rộng. Trên đây là một số ví dụ minh chứng cụ thể cho thấy rõ ảnh hưởng của các yếu tố kiến tạo, thạch học, độ dốc địa hình và hoạt động nhân sinh ở khu vực XM-HG.

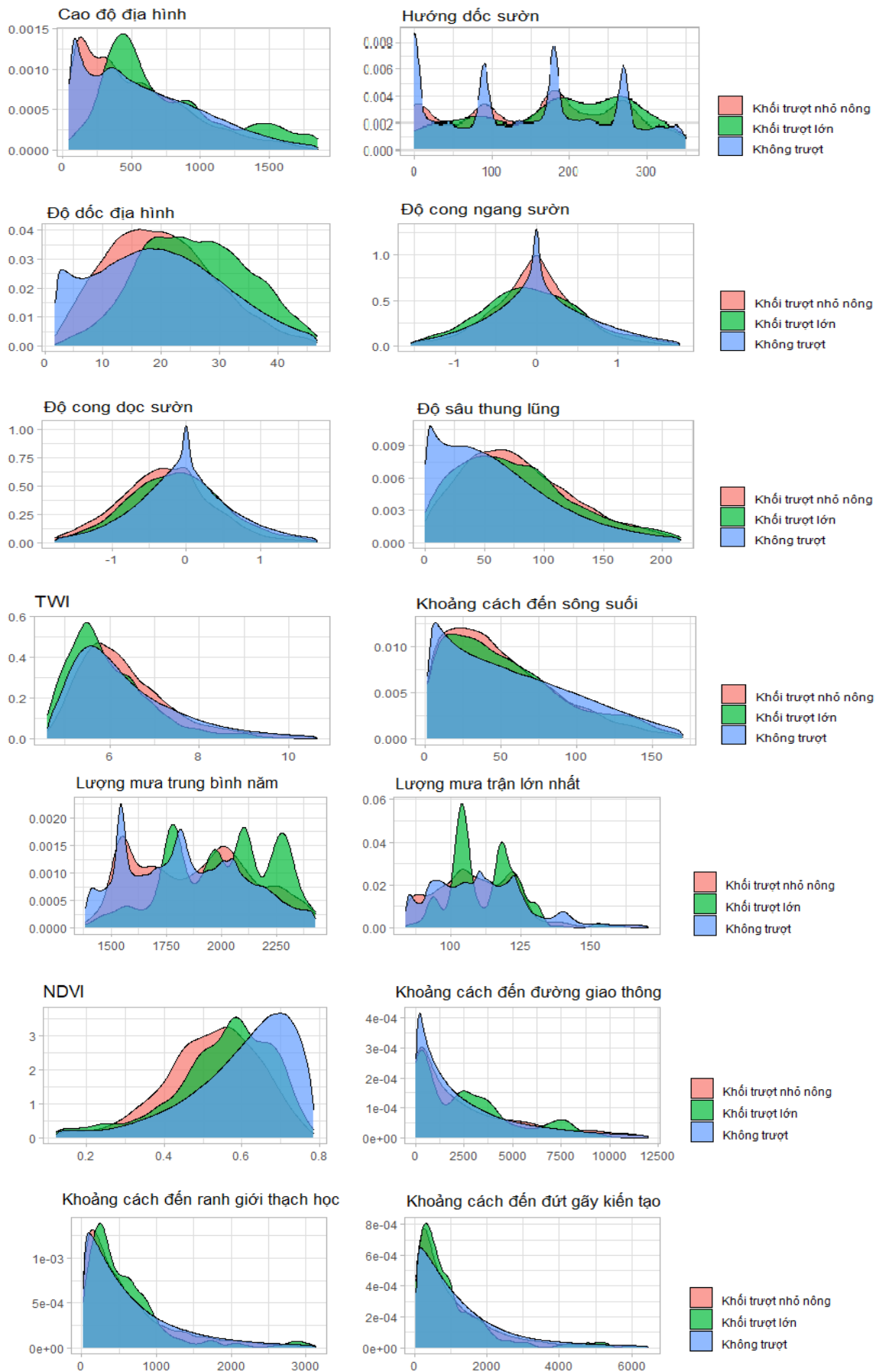
b./ Sự khác biệt giữa KTL và KTNN qua các yếu tố hình thành

Sự khác biệt để nhận diện KTL được tìm thấy trong các khoảng giá trị riêng của từng yếu tố, khả năng xuất hiện KTL có xu hướng chiếm ưu thế hơn khi: độ dốc từ $>25^\circ$; khoảng cách đến ranh giới thạch học trong phạm vi từ 200-1.000m; thành phần thạch học bao gồm các đá có thành phần gabbro, đá vôi, than đá, dăm kết, tuff, phiến sét; nằm trong phạm vi ảnh hưởng của đới dập vỡ kiến tạo; nằm gần với ranh giới thạch học.

Qua kết quả thống kê ở trên, sự khác biệt giữa KTL và KTNN có một số điểm được thể hiện rõ ở các yếu tố mang tính chất quyết định đến sự hình thành như sau:

- *Cao độ địa hình:* KTL phân bố với mật độ lớn và khác biệt với khối nhỏ nông ở khoảng cao độ từ 400-550m.
- *Độ dốc:* trong khoảng độ dốc từ $>25^\circ$, KTL xuất hiện nhiều hơn hẳn so với khối nhỏ nông nên lúc này, khối nhỏ nông xuất hiện chỉ như hiện tượng đi kèm cùng với các KTL.
- *Khoảng cách đến ranh giới thạch học:* trong phạm vi từ 200-1000m ranh giới thạch học ảnh hưởng rõ rệt tới mật độ hình thành KTL hơn các loại khối nhỏ nông.
- *Thành phần thạch học:* trên đồ thị **hình 4.1**, các vị trí có sự khác biệt về tần suất TKL và khối nhỏ nông là các vị trí có thạch học thuộc nhóm đá gabbro, đá vôi, than đá, dăm kết.
- *Khoảng cách tới đứt gãy:* KTL thường nằm ngay trên đứt gãy hoặc cách xa đứt gãy khoảng từ 1000-1600m, vì vậy ở những khoảng cách này KTL có khả năng xuất hiện cao hơn khối trượt nhỏ, nông.
- *Khoảng cách tới đường giao thông:* trong phạm vi 200m KTL chịu ảnh hưởng rất mạnh của hoạt động của con người, đặc biệt là bạt mái taluy để làm đường giao thông.

Xem xét sự khác biệt giữa KTL với KTNN còn thấy trên các phạm vi nhỏ của các yếu tố ảnh hưởng trong các phân tích trên và được thể hiện chi tiết tương quan trong các biểu đồ mật độ xác suất **hình 4.12**.



Hình 4. 12. Tổng hợp tương quan phân phối mật độ xác suất giữa vị trí TKL, KTNN và các điểm không xác định trượt của các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL

CHƯƠNG V. PHÂN TÍCH ĐẶC ĐIỂM ĐỘNG LỰC HỌC KHỐI TRƯỢT LỚN KHU VỰC HUYỆN XÍN MÀN, TỈNH HÀ GIANG

5.1. Các biểu hiện động lực học của KTL

KTL ở XM-HG có biểu hiện động lực học khá đa dạng: chuyển động chậm kéo dài trên một khu vực rộng (như ở Tân Sơn, Bản Dú, Cốc Pài), chuyển động thành nhiều đợt không liên tục trên phạm vi rộng (như các KTL ở Lũng Cháng, sân vận động Cốc Pài, trên đường TL178, đường vào xã Thèn Phàng, thôn Ngam Lâm ...), chuyển động nhanh hoặc rất nhanh khi có mưa lớn diễn ra (như ở các KTL ở Dú Hạ, dốc Pó Cò và đường đi cửa khẩu Xín Màn ...). Biểu hiện dịch chuyển của KTL trên bề mặt phần lớn đi kèm với hoạt động phát triển của hệ thống nương xói, một số ít có thể đi kèm với hiện tượng xuất lộ mạch nước ngầm vào mùa mưa như ở KTL Dú Thượng. Khi dịch chuyển chậm của KTL ở giai đoạn ban đầu góp phần hình thành các khe nứt tách là nguyên nhân gây ra hiện tượng mất nước trong ruộng bậc thang (như một số KTL ở gần bãi đá cổ, KTL ở Nàn Xín, Nàn Ma, Quảng Nguyên).

Khối trượt lớn Tân Sơn có kích thước dài 150m, rộng 125m, mặt trượt nguy hiểm nhất nằm ở độ sâu 12m, kiểu trượt chậm kéo dài ([chi tiết xem trong phụ lục 1 và hình 5.1](#)). Khối trượt này liên tục dịch chuyển với tốc độ nhỏ làm cho các công trình chợ và nhà dân liên tục nứt vỡ, nghiêng đổ. Năm 2012 một số nhà dân ở dưới chân khối trượt bị nghiêng đổ nên phải di dời đi nơi khác. Từ khi xây dựng xong, góc bên phải khu chợ Tân Sơn liên tục bị dịch chuyển làm nghiêng cột chống, nền bê tông tông bị nứt vỡ, cống thoát nước nứt vỡ. Tháng 8 năm 2016, sau một trận mưa lớn rãnh xói trên thân khối trượt mở rộng và khoét sâu và thân khối trượt, kéo một lượng đất đá xuống chợ. Trên đỉnh khối trượt xuất hiện vách trượt là đá gốc nứt nẻ, người dân cho biết khi mưa lớn sẽ thấy nước ngầm chảy ra nhiều ở bề mặt đá.

Khối trượt lớn Dú Thượng có kích thước dài 150m, rộng 50m, mặt trượt nguy hiểm nhất nằm ở độ sâu 9m, kiểu trượt chậm kéo dài ([chi tiết xem trong phụ lục 1 và hình 5.2](#)). Khối trượt này đã trượt một phần xô vào dãy nhà ở của giáo viên bên dưới, hiện nay đã được xử lý bằng tường chắn bê tông, tuy nhiên KTL này vẫn có khả năng trượt tiếp phần bên trên. KTL này chịu ảnh hưởng rất lớn của động lực dòng nước dưới đất, khi mưa lớn trên đỉnh khối trượt sẽ xuất hiện mạch sủi. Bên trái khối trượt là rãnh xói tập trung nước nên có thể mở rộng và ảnh hưởng đến độ ổn định của khối trượt.

5.2. Hệ thống quan trắc hiện trường KTL tại XM-HG

Nhằm làm sáng tỏ đặc điểm động lực học của KTL, luận án hướng tới phân tích các dữ liệu quan trắc trong thời gian dài. Dữ liệu quan trắc KTL tại XM-HG được NCS

duy trì ghi đo từ 3 loại quan trắc: quan trắc mưa, quan trắc địa kỹ thuật (áp lực nước lỗ rỗng và dịch chuyển ngang tại các độ sâu khác nhau trong mái dốc), quan trắc bề mặt T-InSar. Do đặc thù công nghệ của mỗi loại quan trắc, chiều dài chuỗi dữ liệu thu được và đối tượng cần thu nhận, các dữ liệu được tích hợp lại với nhau kết hợp với thời điểm ghi nhận sự kiện TKL tại XM-HG. Công cụ tích hợp dữ liệu tạo nên chuỗi dữ liệu quan trắc phong phú, hướng tới làm rõ đặc điểm động học của hiện tượng TKL. Vị trí các trạm quan trắc được mô tả như trong hình 3.2. Đáng chú ý, khu vực KTL Tân Sơn và Dú Thượng là nơi có diễn biến KTL được áp dụng nhiều công nghệ quan trắc nhất, đây là khối trượt có dịch chuyển chậm. Số liệu khảo sát địa chất công trình chi tiết và diễn biến thời gian dịch chuyển được mô tả tỷ mỉ nên đây là nơi được tích hợp nhiều dạng quan trắc KTL nhất.

5.2.1. Quan trắc mưa

a./ Diễn biến mưa gây TKL tại XM-HG

Mùa mưa ở Xín Mần thường kéo dài từ tháng 6 đến tháng 10, lượng mưa ngày lớn nhất có thể lên đến 200mm. Mùa khô kéo dài từ tháng 11 đến tháng 5 có tổng lượng mưa chiếm khoảng 20% lượng mưa của cả năm (300-500mm/năm). Một số cơn mưa có lượng mưa nhỏ hơn 30mm sẽ không đủ để làm thay đổi áp lực nước lỗ rỗng biến đổi rõ rệt vào cuối mùa nên thường không phát sinh dịch chuyển KTL.

Diễn biến mưa tại XM-HG được chia theo 3 giai đoạn: từ giữa tháng 10 đến tháng 5 là thời điểm của mùa khô, từ tháng 5 đến tháng 6 là đầu mùa mưa với những trận mưa lớn, từ tháng 7 đến đầu tháng 10 là thời điểm của mùa mưa kèm theo những trận mưa với cường độ lớn hoặc kéo dài nhiều ngày. Sự kiện mưa gây TKL thường diễn ra từ tháng 5 đến tháng 9 hàng năm. Sự kiện TKL xuất hiện tại XM-HG được ghi nhận chi tiết từ năm 2008 đến nay thể hiện trong bảng 5.1.

Bảng 5. 1. Tổng hợp các trường hợp mưa gây ra sự kiện TKL trên địa bàn XM-HG từ năm 2008 đến nay

Stt	Vị trí ghi nhận hiện tượng TKL do mưa	Thời điểm ghi nhận mưa gây ra TKL
1	Tại thôn Dú Thượng xã Bản Dú	Năm 2007; Năm 2008; Tháng 7 năm 2012
2	Trung tâm xã Bản Dú	Năm 2008
3	Đằng sau trường tiểu học xã Nám Dẩn	Đầu tháng 7/2014
4	Thôn Nà Chì, xã Nà Chì	Tháng 07/2011
5	Thôn Tân Sơn, xã Nám Dẩn	Tháng 7/2012
6	Thôn Quán Thèn xã Bản Dú	Năm 2012
7	Thôn Nà Chì, xã Nà Chì, huyện Xín Mần	11/7/2013

8	Tuyến đường Xín Mần đi Cửa khẩu Xín Mần	Sáng 25/6/2017
9	Nhà trường tiểu học và trung học Nậm Dịch	Từ đêm 6 tháng 7/2017
10	Tuyến đường trên địa bàn huyện Xín Mần đã bị sạt trượt nghiêm trọng	Từ ngày 19 - 21.7/2017
11	Đường Tỉnh lộ 177 đường Xín Mần - Hoàng Su Phì có 5 vị trí trượt lớn	Đêm ngày 19 rạng sáng ngày 20/7/2017
12	Đường đi các xã Pà Vây Sủ, Chí Cà, Xín Mần, Nàn Sín xuất hiện nhiều KTL	Ngày 25/08/2017
13	Từ xã Nà Chì đi Xín Mần xảy ra TKL tại khu vực trước khu tập thể Trường TH Nà Chì	Khoảng 3h sáng ngày 02/10/2017
14	Tuyến tỉnh lộ 178, đoạn từ km 40 đến km 55 (từ thị trấn Cốc Pài đi xã Nà Chì) bị TKL ta luy dương	Từ ngày 28/7 đến tối 29/7/2019
15	Trượt đất trên địa bàn Thị trấn Cốc Pài, xã Nà Chì, Khuôn Lùng, gây thiệt hại lớn đến nhà ở (Cốc Pài 1 hộ, Nà Chì 8 hộ, Khuôn Lùng 2 hộ)	Mưa lớn trong 3 ngày (3-5/07/2020)
16	Tỉnh lộ 178 Cốc Pài đi Nà Chì, đã có trên 20 KTL taly dương với hàng nghìn mét khối đất đá làm ách tắc giao thông	Rạng sáng ngày 05/07/2020
17	TKL tại huyện Xín Mần phải di chuyển khẩn cấp 3 nhà dân	Đêm 30/9, rạng sáng ngày 1/10/2020

b./ Tính tin cậy của các chuỗi dữ liệu mưa

Xung quanh khu vực XM-HG có 5 trạm: Yên Bình, Cốc Pài, Vinh Quang, Nậm Dẩn và Nậm Ty. Tuy có nhiều trạm đo mưa quanh khu vực nghiên cứu nhưng không phải số liệu mưa nào cũng đồng nhất và phản ánh đúng sự kiện trượt đất đá trong phạm vi XM-HG. Hơn nữa, thời gian bắt đầu hoạt động của trạm mưa theo giờ hầu hết là từ 2018 đến nay, chỉ có trạm Cốc Pài và Vinh Quang là có số liệu mưa ngày trước đó là một khó khăn trong phân tích các sự kiện trượt đất đá tại đây.

Kết quả thống kê ở **bảng 5.2** cho thấy, lượng mưa trung bình ở trạm Cốc Pài là thấp nhất, cao dần lên theo thứ tự là trạm Yên Bình, Nậm Dẩn, trạm Vinh Quang và cao nhất là Nậm Ty. Nhìn chung, các chỉ số khác về mưa như cường độ mưa ngày lớn nhất, số ngày mưa trận dài nhất, cường độ mưa trận lớn nhất đều thể hiện khá tương đồng giữa trạm Nậm Dẩn và Cốc Pài và không có sự khác biệt thống kê.

Bảng 5. 2. Đặc điểm thống kê lượng mưa giữa các trạm quan trắc mưa xung quanh khu vực XM-HG

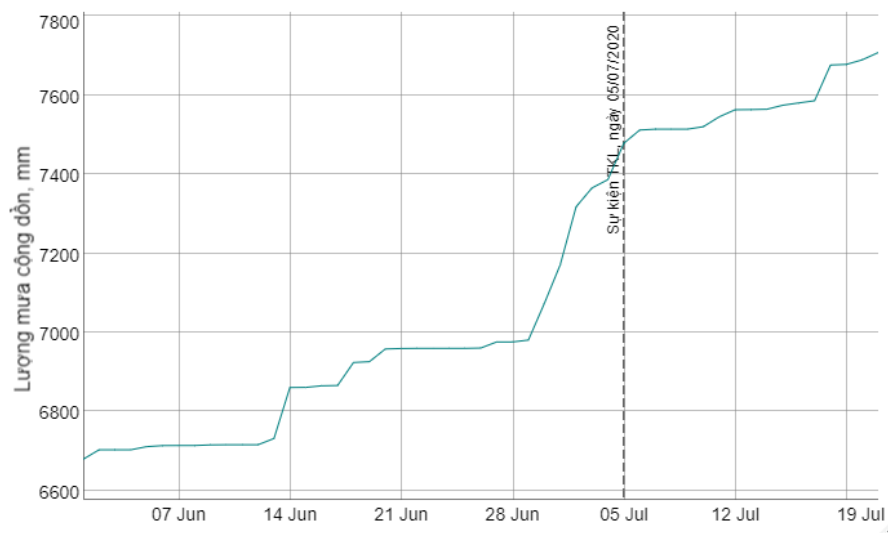
Trạm	Nậm Dẩn (XM-HG)	Cốc Pài (XM-HG)	Vinh Quang (Hoàng S. Phì)	Yên Bình (Quang Bình)	Nậm Ty (Hoàng S.Phì)
Lượng mưa trung bình (mm)	3444,6	2831,3	3515,5	2940,8	4073,4
Lượng mưa ngày lớn nhất (mm)	168	175.3	201.5	171.2	214.8

Diễn biến dữ liệu ở trạm Cốc Pài là trạm đo mưa nhân dân, dữ liệu mưa định dạng theo ngày nên không sử dụng để phân tích. Diễn biến mưa ở trạm Nậm Ty có sự khác biệt về thống kê và ở quá xa khu vực nghiên cứu nên không sử dụng để phân tích. Diễn biến mưa ở trạm Nậm Dẩn, Vinh Quang và Yên Bình là không có sự khác biệt về thống kê. Vì vậy sử dụng dữ liệu mưa giờ và mưa ngày ở trạm Vinh Quang để phân tích hình thái mưa chung cho toàn vùng. Đánh giá dữ liệu quan trắc địa kỹ thuật với diễn biến mưa ở Tân Sơn, Nậm Dẩn thì dùng số liệu mưa trực tiếp từ trạm Nậm Dẩn để trực tiếp đánh giá.

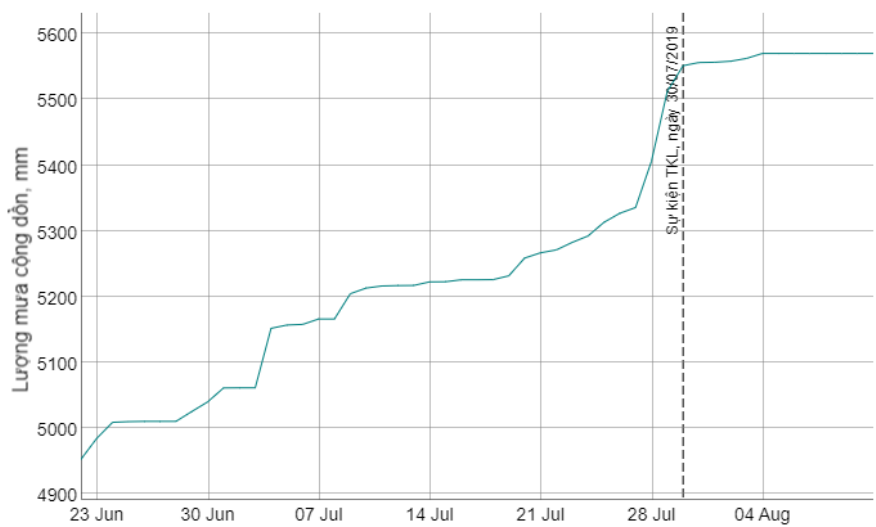
c./ Các hình thái mưa gây trượt khối lớn

Xem xét các biểu đồ mưa gây trượt trong 1 tháng trước thời điểm xảy ra trượt thì thấy diễn biến mưa tập trung ở 2 kiểu:

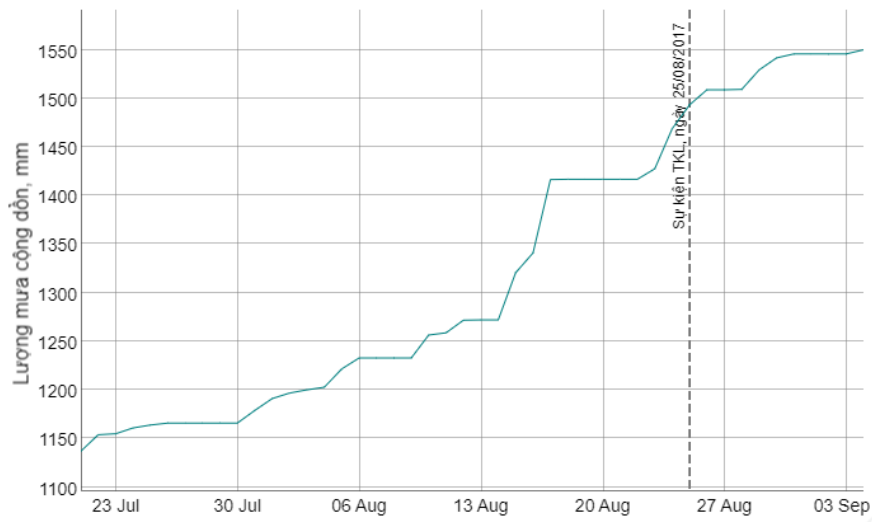
- **Kiểu 1:** Mưa nhỏ kéo dài nhiều ngày trước đó và có cường độ lớn hơn 30mm/ ngày ngay trước thời điểm ghi nhận sự kiện TKL xảy ra.
- Hiện tượng TKL vào ngày 05/07/2020: Mưa lớn tại Xín Mần trong 6 ngày liên tiếp với tổng lượng mưa lớn hơn 503mm.



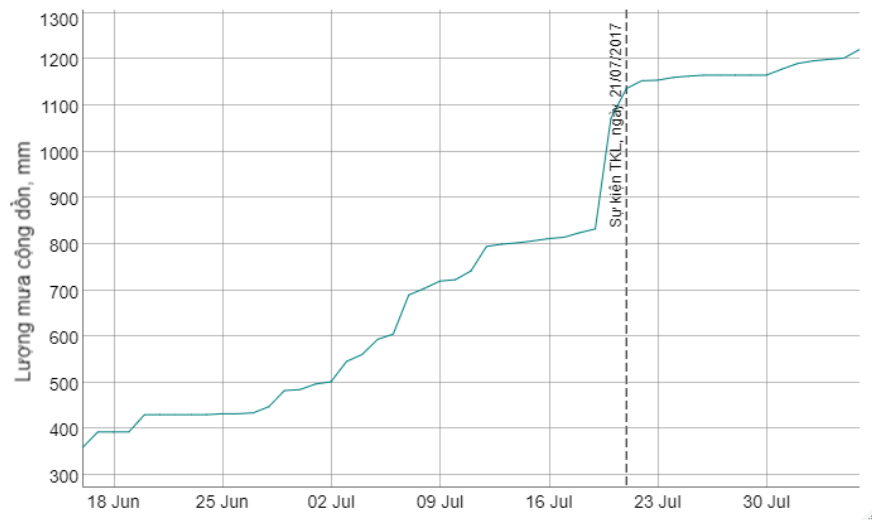
- Hiện tượng TKL vào ngày 30/07/2019: Mưa lớn tại Xín Mần trong 6 ngày liên tiếp với tổng lượng mưa lớn hơn 325mm và đặc biệt lớn vào 3 ngày liền trước khi xảy ra trượt.



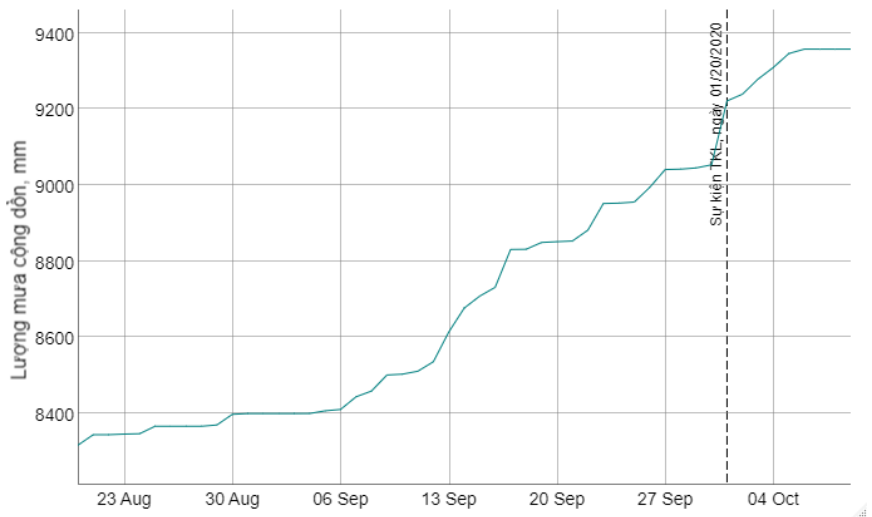
- Hiện tượng TKL vào ngày 25/08/2017: Mưa lớn tại Xín Mần trong 3 ngày liên tiếp với tổng lượng mưa lớn hơn 76mm.



- Hiện tượng TKL xảy ra tiếp vào ngày 21/07/2017 sau 3 ngày mưa liên tiếp với tổng lượng mưa là 33mm.



- **Kiểu 2:** Mưa kéo dài kèm theo mưa lớn đột ngột lớn xuất hiện ngay trước thời điểm ghi nhận sự kiện TKL xảy ra.
- Hiện tượng TKL vào ngày 01/10/2020: Cách thời điểm trượt 3 ngày thì không mưa nhưng đến trước ngày ghi nhận sự kiện trượt thì mưa lớn hơn 168mm.



Với 2 kiểu mưa như phân tích ở trên cho thấy vai trò của mưa nhiều ngày ảnh hưởng gián tiếp đến sự hình thành KTL và dịch chuyển của chúng là rất rõ. Mưa dài ngày thường dẫn tới một số hiện tượng: dâng cao mực nước ngầm trong sườn dốc, gia tăng nhanh áp lực nước lỗ rỗng trong đất đá, tăng nhanh vận tốc dòng thấm, gia tăng các hiện tượng xói mòn bề mặt.

5.2.2. Quan trắc địa kỹ thuật

a./ Thiết kế mạng lưới cảm biến quan trắc địa kỹ thuật trạm Nấm Dẫn và Bản Dú

Để lắp đặt cảm biến địa kỹ thuật phục vụ quan trắc KTL cần phân tích số liệu khảo sát địa chất công trình. Kết quả khoan khảo sát địa chất công trình ở KTL Tân Sơn và KTL Dú Thượng cho ta biết cấu trúc địa chất gồm 5 lớp (hình 5.1 & hình 5.2) với đặc điểm chính như sau:

- Lớp 1: Lớp đất thông nhưỡng màu xám nâu, lẫn rễ cây thực vật chưa phân hủy.
- Lớp 2: Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng.
- Lớp 3: Lớp sét pha xen kẹp cát pha màu nâu vàng, lẫn cuội tảng trạng thái dẻo.
- Lớp 4: Lớp đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần gồm granite, gneiss, diorite.
- Lớp 5: Lớp đá gốc ít nứt nẻ thành phần chính gồm granite, gneiss, diorite.

Quá trình khoan khảo sát tại Nấm Dẫn và Bản Dú vào mùa mưa nên mực nước ngầm dâng cao nhưng biến đổi khá nhanh. Khi có mưa, mực nước ngầm lên cao có thể sát với mặt đất nhưng rồi tụt xuống ngay sau khi tạnh mưa. Đặc biệt ở hố khoan HK5 tại Dú Thượng, Bản Dú vào lúc mưa còn xuất lộ nước từ dưới đất tràn ngược lên mặt ở vị trí rễ bụi tre trên đường bê tông (đỉnh khối trượt). Nhìn chung, xu thế mực nước dưới đất cao hơn ở phía đỉnh khối trượt và thấp dần về phía dưới chân khối trượt ở cả 2 KTL lắp đặt hệ thống quan trắc.

Với đặc điểm cấu tạo địa chất như trên, chiều sâu mặt trượt nguy hiểm nhất theo tài liệu khoan cho thấy: KTL Tân Sơn có chiều sâu mặt trượt nguy hiểm nhất là 12m, KTL Dú Thượng có chiều sâu mặt trượt nguy hiểm nhất là 9m. Nguyên tắc lắp đặt hệ thống cảm biến được mô tả như hình 2.4, các cảm biến áp lực nước lỗ rỗng được bố trí giữa thân KTL nhiều độ sâu trong thân KTL, cảm biến dịch chuyển ngang được bố trí dọc theo hướng dịch chuyển chính của KTL gồm 2 phần: phần trên nằm ở vị trí dịch chuyển lớn nhất phía trên mặt trượt và phần dưới nằm trong đá gốc rắn chắc ít dịch chuyển. Chi tiết độ sâu lắp đặt các loại cảm biến được bố trí như bảng 5.3.

b./ Dữ liệu quan trắc bằng piezometer

Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng tại trạm Tân Sơn và Bản Dú cho thấy diễn biến áp lực nước lỗ rỗng trong đất chịu ảnh hưởng rất mạnh theo chu kỳ và diễn biến của từng trận mưa. Dữ liệu thu được qua 4 năm (từ 2017 đến 2020) cho thấy tính chu

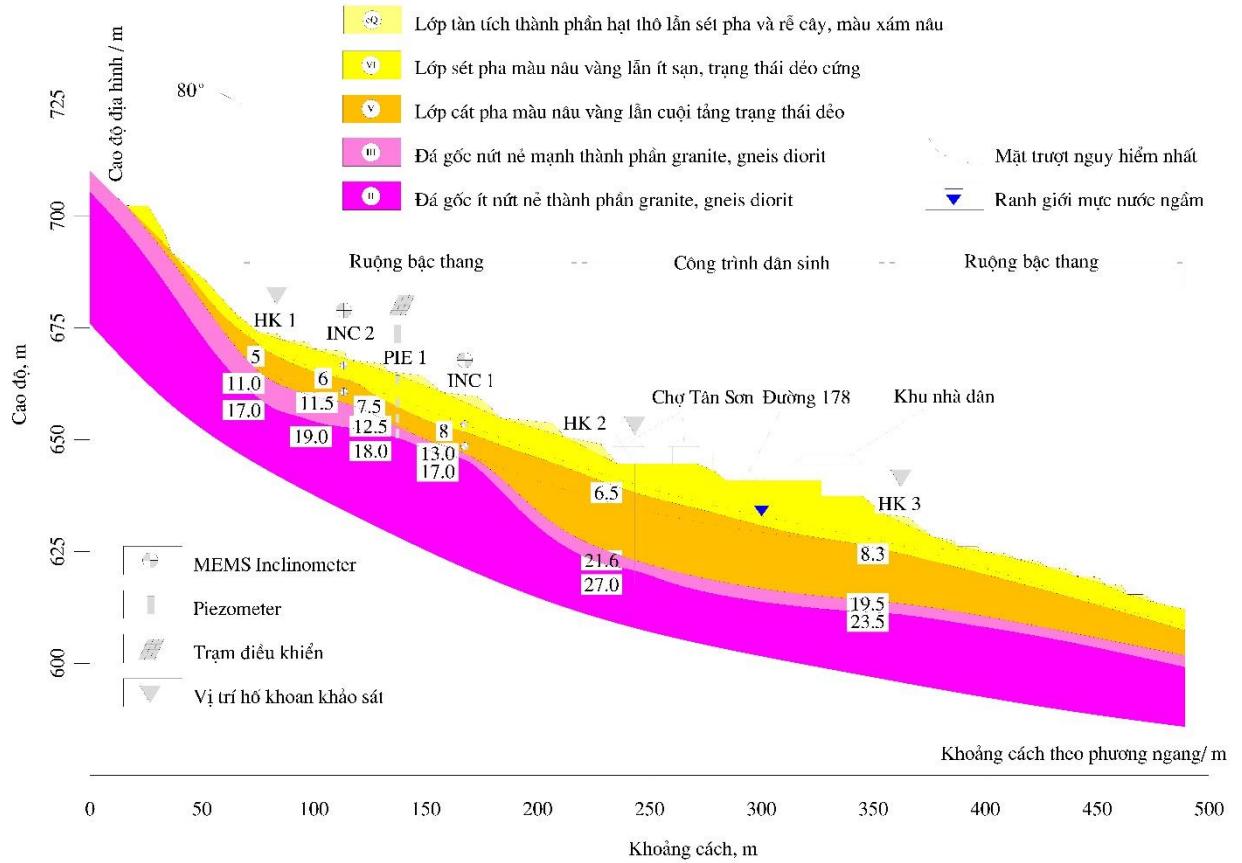
kỳ thể hiện rất rõ diễn biến áp lực nước rỗng tuân theo chu kỳ mùa và chu kỳ ngày. Vào đầu mùa mưa, áp lực lỗ nước rỗng tăng nhanh và thường bắt đầu vào tháng 5. Trong mùa mưa, áp lực nước lỗ rỗng biến đổi liên tục và liên tục lập thành các đỉnh phụ thuộc vào từng trận mưa lớn và đến cuối mùa mưa thì có xu hướng giảm dần bắt đầu từ tháng 11. Khi áp lực nước lỗ rỗng giảm dần vào các tháng mùa khô, những cơn mưa nhỏ không làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng trong đất để tạo thành các đỉnh nhọn như trong mùa mưa. Xu hướng giảm dần áp lực nước lỗ rỗng trong đất có giảm đều từ tháng 11 đến tháng 5 năm sau (Hình 5.3 và hình 5.4).

c./ Dữ liệu quan trắc bằng inclinometer

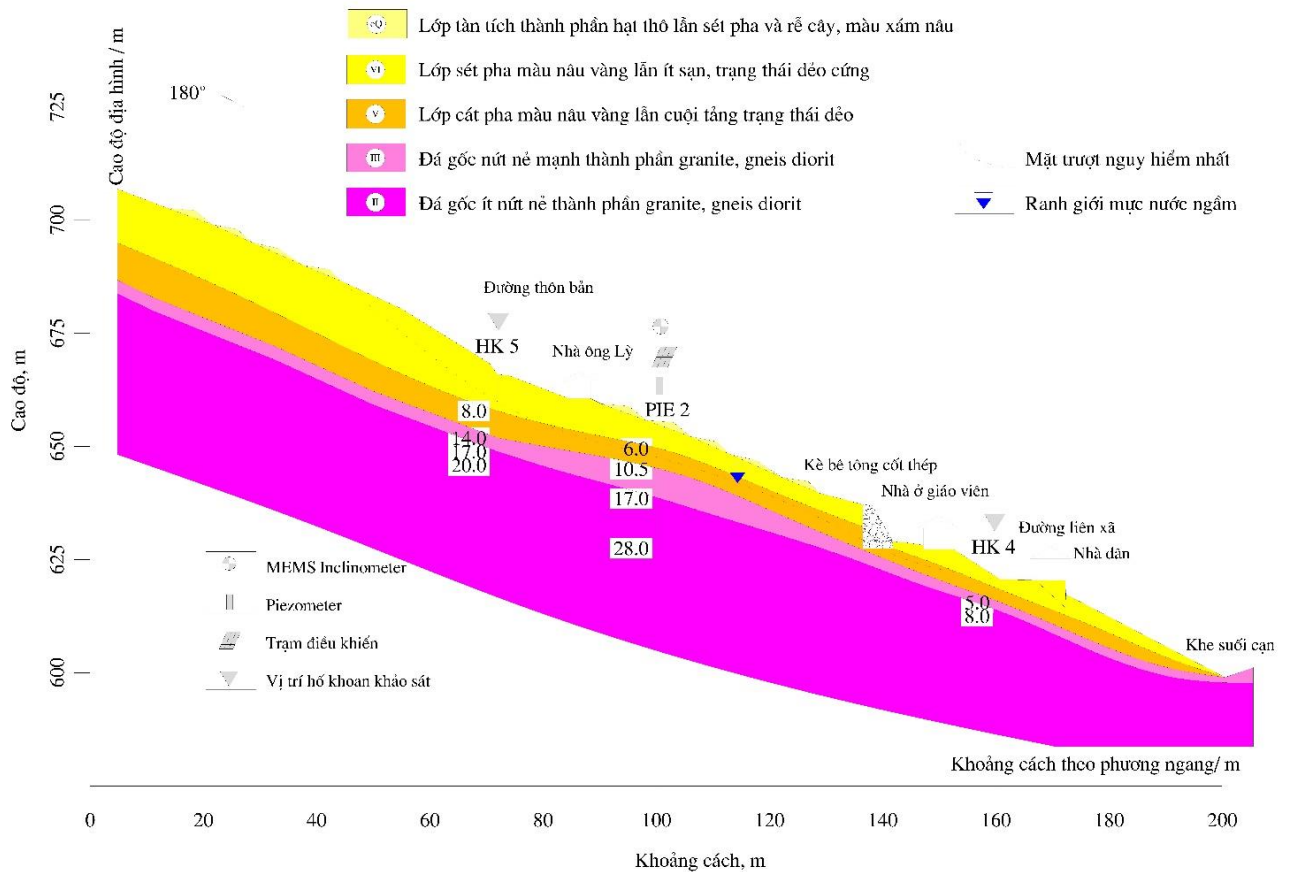
Số liệu dịch chuyển tích lũy của cảm biến tại KTL Tân Sơn cho thấy diễn biến dịch chuyển vào mùa mưa là chủ yếu vào mùa khô không nhận thấy diễn biến dịch chuyển lớn xảy ra. Số lượng lần dịch chuyển vào năm 2017 là nhiều nhất và cũng tương đồng theo các ghi nhận về hiện tượng trượt xảy ra tại XM-HG trong năm này. Đáng quan tâm nhất là khoảng dịch chuyển giữa các lần dịch chuyển là không đồng nhất. Ta có thể thấy xu hướng giảm dần mức độ dịch chuyển của KTL Tân Sơn là rất rõ rệt. Dường như như KTL chợ Tân Sơn đang chuyển dần chuyển sang trạng thái ổn định hơn. Tuy nhiên, KTL Dúi Thượng có thì mức độ dịch chuyển của cảm biến vẫn cho thấy khá đồng nhất giữa các lần di chuyển nên chưa thể dần về trạng thái ổn định mà có thể sẽ còn dịch chuyển trượt tiếp.

Bảng 5. 3. Chủng loại và độ sâu các thiết bị sensor quan trắc lắp đặt trong hố khoan tại các KTL Tân Sơn- Nấm Dẩn và Dúi Thượng- Bản Dúi XM-HG

Khối trượt lớn	Loại cảm biến	Ký hiệu	Hố khoan	Độ sâu lắp đặt (m)
Tân Sơn	Piezometer – Geokon Model 4500S	TSPie1	BH1	1,5
	Piezometer – Geokon Model 4500S	TSPie2	BH1	6,0
	Piezometer – Geokon Model 4500S	TSPie3	BH1	10,5
	Piezometer – Geokon Model 4500S	TSPie4	BH1	13
	In-Place Inclinometer – Model 6155	TSInc1	IPI1	6,8
	In-Place Inclinometer – Model 6155	TSInc2	IPI1	12,0
	In-Place Inclinometer – Model 6155	TSInc3	IPI2	2,8
	In-Place Inclinometer – Model 6155	TSInc4	IPI2	8
Dúi Thượng	Piezometer – Geokon Model 4500S	DTPie5	BH2	1,5
	Piezometer – Geokon Model 4500S	DTPie6	BH2	5,5
	Piezometer – Geokon Model 4500S	DTPie7	BH2	9,5
	In-Place Inclinometer – Model 6155	DTInc5	IPI3	2,77
	In-Place Inclinometer – Model 6155	DTInc6	IPI3	8,0

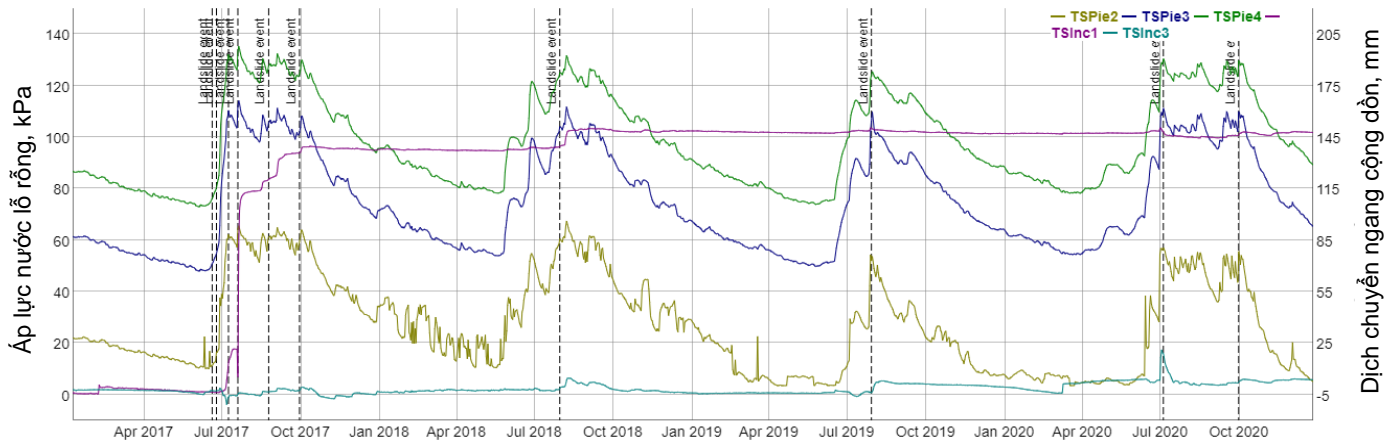


Hình 5. 1. Mặt cắt địa chất công trình KTL chợ Tân Sơn, Năm Dăn

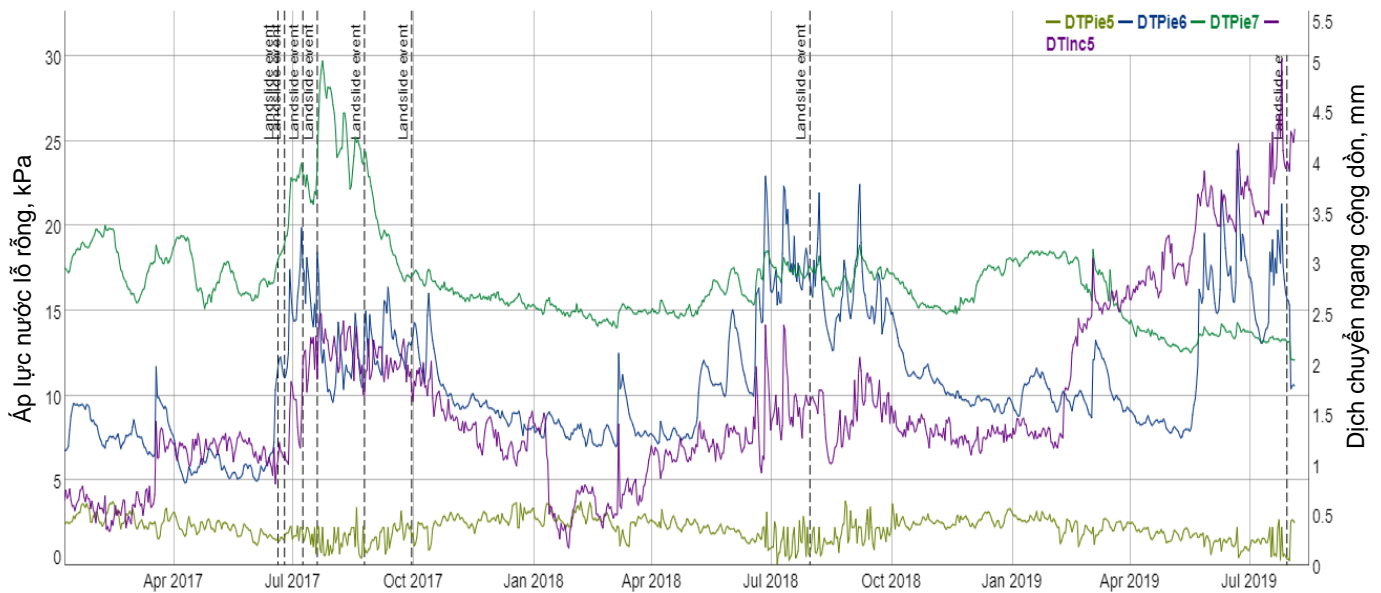


Hình 5. 2. Mặt cắt địa chất công trình KTL Dú Thượng, xã Bản Dú

Số liệu dịch chuyển ngang ở KTL Tân Sơn cho thấy, cường độ mưa tại đây lớn hơn 50mm/ ngày thì dịch chuyển ngang có dấu hiệu biến thiên rõ. Quá trình tăng dịch chuyển ngang biến đổi đột ngột lớn nhất ghi nhận được (dịch chuyển ngang cộng dồn hơn 60mm) khi xuất hiện lượng mưa lớn hơn 120mm vào ngày 20 tháng 7 năm 2017.



Hình 5. 3. Kết quả quan trắc lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Tân Sơn- Nấm Dẫn tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ năm 2017 đến 2021

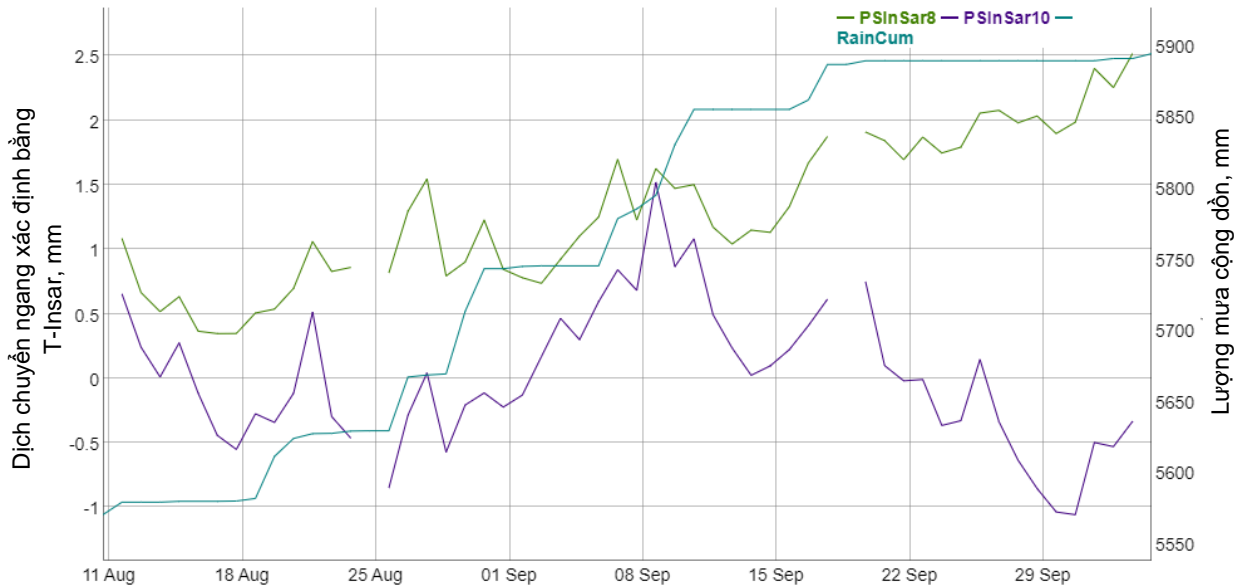


Hình 5. 4. Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Díu Thượng- Bản Díu tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ 8/01/2017 đến 31/12/2019

5.2.3. Quan trắc bằng công nghệ radar giao thoa

Một phần kết quả đề tài VT-UD.05/18-20 đã áp dụng công nghệ quan trắc T-InSAR cho phép lập ra Bản đồ phổ hấp thụ tín hiệu radar từ đó tính tương quan dịch chuyển của các điểm trên bề mặt KTL Tân Sơn. Qua quan sát thực tế hướng dịch chuyển, KTL Tân Sơn có hướng vận động chủ đạo về phía Đông Đông Bắc, toàn bộ bên phải của nó hầu như không ghi nhận dịch chuyển lớn. Lựa chọn 14 điểm P để xác định tương

quan dịch chuyển bề mặt KTL Tân Sơn. Nếu coi điểm P8 ở bên phía trái là điểm ít ghi nhận dịch chuyển so sánh P10 được ghi nhận dịch chuyển rõ hơn ở bên phải thì thấy khác biệt về dịch chuyển khá rõ (hình 5.5). Một số ngày có ghi nhận mưa lớn thì tín hiệu dịch chuyển cũng có thay đổi ở các điểm P. Phân tích này bước đầu cho thấy mức độ dịch chuyển của các điểm trên bề mặt KTL là không đồng nhất và không liên tục (Chi tiết xem thêm trong Saverio Romeo (2020)). Tuy nhiên, độ dài liên tục chuỗi số liệu T-InSar còn hạn chế nên chưa thể đánh giá biến động của chuỗi số liệu với biến động theo mùa và khí hậu ở khu vực nghiên cứu.



Hình 5. 5. Phổ dịch chuyển trung bình của các điểm quan trắc trên thân khối trượt Tân Sơn.

5.3. Phân tích động học một số KTL dựa vào kết quả quan trắc

5.3.1. Ảnh hưởng của mưa và sự dao động mực nước ngầm tới vận động của KTL

a./ Diễn biến áp lực nước lỗ rỗng biến đổi ở các độ sâu khác nhau

Nhìn chung, diễn biến áp lực nước lỗ rỗng trong đới bão hòa ở các KTL đều cho thấy chúng biến đổi theo chu kỳ mùa mưa – khô. Chu kỳ này thường bắt đầu vào đầu tháng 6 và diễn biến theo 3 giai đoạn. Giai đoạn thứ nhất, áp lực nước lỗ rỗng tăng nhanh trong khoảng thời gian khoảng 15 ngày sau khi có nhiều đợt mưa lớn. Giai đoạn thứ hai, áp lực nước lỗ rỗng giao động và có xu hướng ổn định dần vào giữa tháng 10. Giai đoạn thứ ba, áp lực nước lỗ rỗng giảm dần từ tháng 10 đến tháng 5 năm sau. Hiện tượng dịch chuyển của KTL được ghi nhận chỉ diễn ra trong giai đoạn thứ 2.

Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu khác nhau cho thấy áp lực nước lỗ rỗng có diễn biến không khác biệt nhiều về xu thế. Ở trạm Tân Sơn- Nấm Dẩn mức độ dịch chuyển của khối trượt rõ hơn và nhận thấy áp lực nước lỗ rỗng trong đá phong hóa nứt nẻ tương đồng với áp lực nước lỗ rỗng ở trong lớp đất bên trên (thành phần gồm:

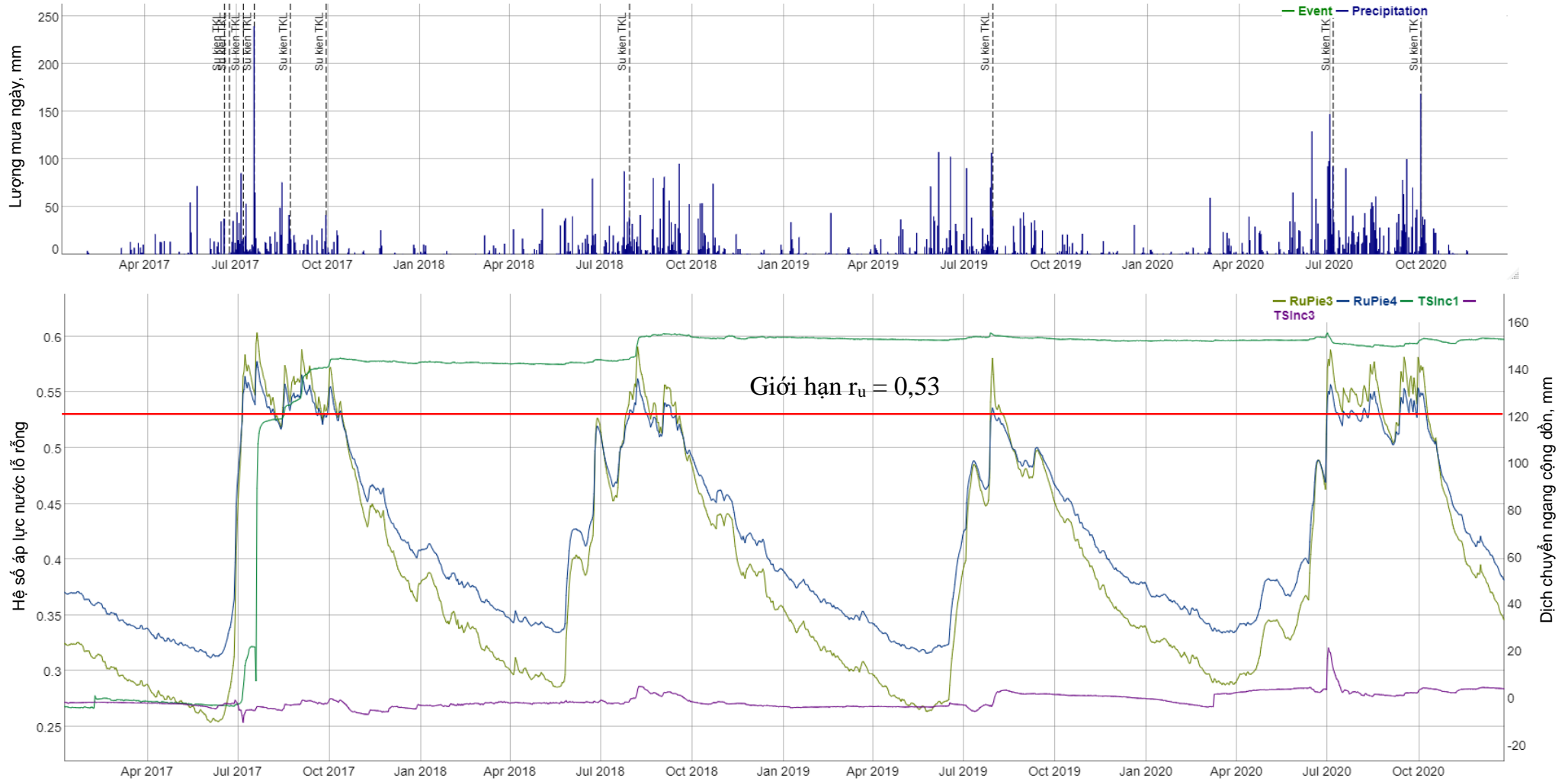
cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tảng). Ở trạm Dúu Thượng- Bản Dúu diễn biến áp lực nước lỗ rỗng trong đá phong hóa nứt nẻ nhìn chung vẫn tương đồng với áp lực nước lỗ rỗng ở trong lớp đất bên trên mặc dù có cao hơn một chút khi có mưa lớn xuất hiện nhưng cũng giảm rất nhanh khi tạnh mưa.

b./ Ảnh hưởng của hệ số áp lực nước lỗ rỗng đến hiện tượng dịch chuyển của KTL

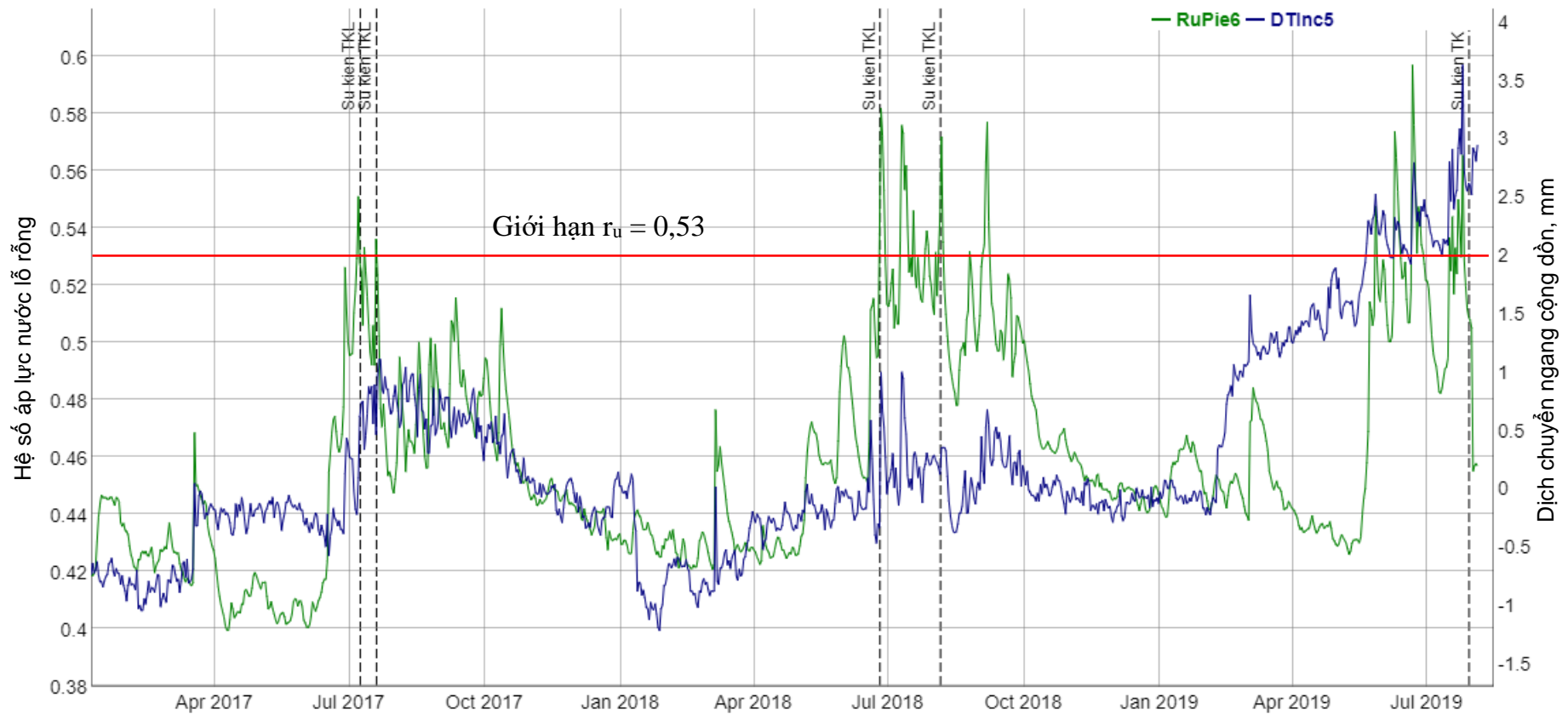
Giá trị áp lực nước lỗ rỗng tại các độ sâu khác nhau đã được quy đồng về cùng một tỷ lệ nhất định và có thể so sánh giữa các độ sâu khác nhau qua giá trị của hệ số áp lực nước lỗ rỗng. Dấu hiệu quan trọng nhất trước khi có dịch chuyển KTL là xu thế gia tăng nhanh giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng ở các độ sâu khác nhau. Nhận thấy hệ số áp lực nước lỗ rỗng ở độ sâu gần vị trí mặt trượt nguy hiểm thường có giá trị biến động lớn nhất và vượt quá 0,53 thì ghi nhận sự kiện TKL diễn ra chuyển động rõ rệt của inclinometer.

Xem xét các thời điểm có giá trị quan trắc $r_u \geq 0,53$ (ngày 08/07/2017, 01/10/2017, 25/07/2019, 04/07/2020, 30/09/2020), diễn biến mưa phổ biến là mưa liên tiếp trong nhiều ngày trước đó và đột ngột lớn hơn vào ngày liền kề trước đó. Một số ngày có lượng mưa rất lớn (20/07/2017, 17/08/2017, 30/07/2019) cũng gây ra hiện tượng hệ số r_u tăng nhanh vượt quá giá trị 0,53. Đáng chú ý, các ngày này không chỉ ghi nhận diễn biến dịch chuyển tại KTL được quan trắc mà còn ghi nhận sự kiện trượt đất đá ở trong địa bàn XM-HG.

Phân tích dữ liệu quan trắc theo giờ có thể thấy, độ trễ giữa áp lực nước lỗ rỗng và dịch chuyển luôn có một khoảng cách nhất định. Dữ liệu tại trạm Nấm Dẩn đã chỉ ra rõ hơn, khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng nhỏ hơn 0,53, cho dù hệ số áp lực nước lỗ rỗng có dao động thì cũng không nhận thấy dịch chuyển ngang nào đáng kể trong KTL. Khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng lớn hơn 0,53, diễn biến biến đổi của hệ số áp lực nước lỗ rỗng luôn tỷ lệ thuận với diễn biến dịch chuyển ngang của cảm biến gần mặt đất. Tại trạm Bản Dúu, do KTL có trạng thái khá ổn định nên các diễn biến chuyển vị ngang trên bề mặt mái dốc đo được là rất nhỏ. Khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng vượt quá 0,53 tại trạm Bản Dúu cũng cho thấy dịch chuyển ngang gia tăng nhanh và dao động mạnh.



Hình 5. 6. Kết quả quan trắc lượng mưa, áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Tân Sơn- Năm Dẩn tích hợp với các sự kiện trượt đất đá ghi nhận tại XM-HG từ năm 2007 đến 2021



Hình 5. 7. Kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang trong hố khoan tại trạm Dú Thượng - Bản Dú tích hợp với các sự kiện trượt đất đã ghi nhận tại XM-HG từ 8/01/2017 đến 31/12/2019

5.3.2. Diễn biến dịch chuyển của các KTL

a./ Vận tốc nghịch đảo

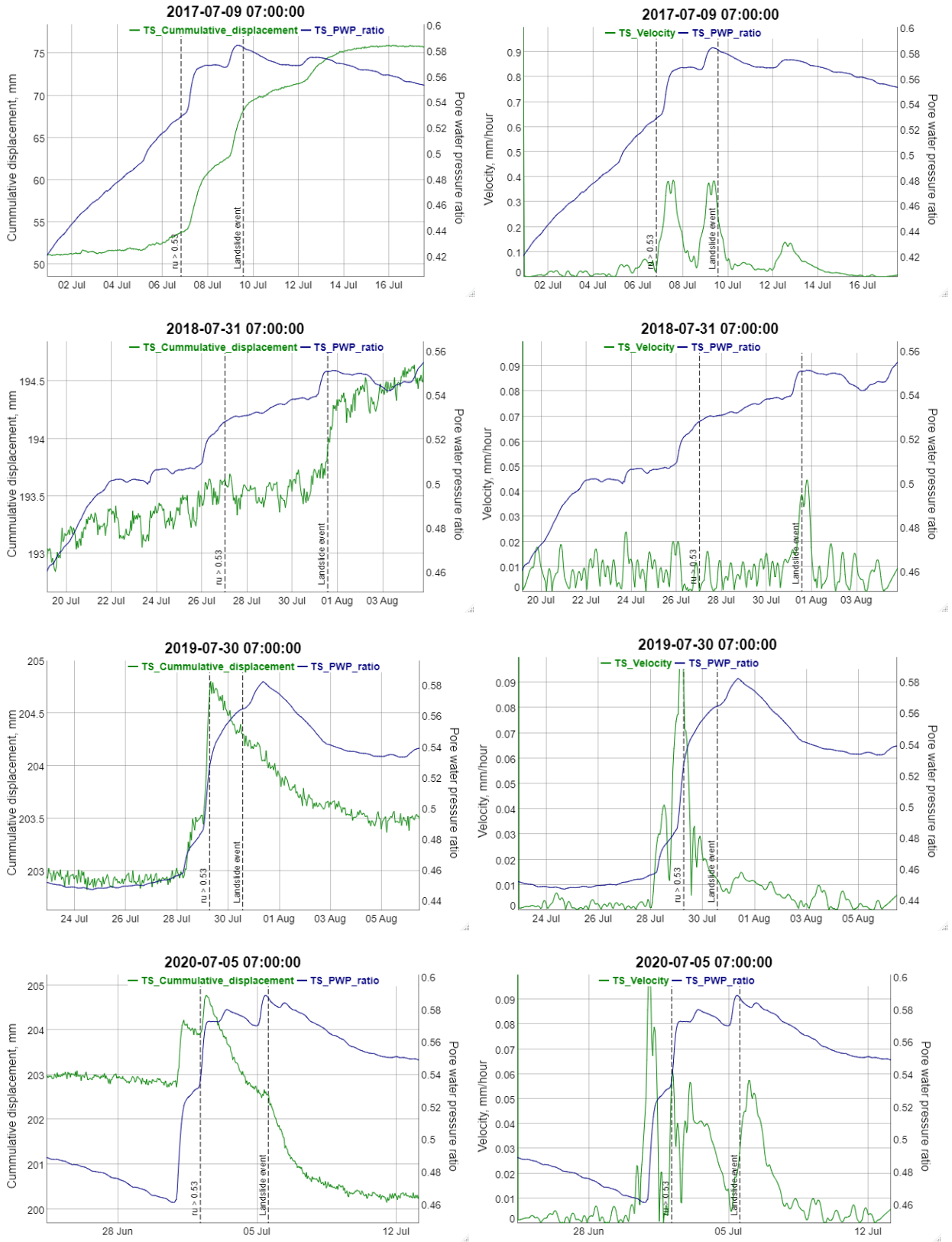
Xem xét một số ngày ghi nhận sự kiện TKL, hình 5.8 và 5.9 cho thấy mức độ dịch chuyển cộng dồn được ghi lại bằng kết quả quan trắc gần với mỗi sự kiện dịch chuyển trượt rất khác nhau. Tại KTL Tân Sơn, từ ngày 04/07/2017 đến 14/07/2017, dịch chuyển cộng dồn được xác định là 24.5mm, nhưng từ ngày 22/07/2018 đến 02/08/2018, dịch chuyển cộng dồn chỉ là 1.16mm. Tại khối trượt Dú Thượng, dịch chuyển cộng dồn lớn nhất chỉ đến 2mm. Như vậy, mức độ dịch chuyển cộng dồn phụ thuộc nhiều vào đặc điểm của từng khối trượt. Khó có thể sử dụng giá trị dịch chuyển cộng dồn để xác định ngưỡng chung cho các KTL.

Phân tích đặc điểm động học của khối trượt bằng vận tốc (mm/giờ), hình 5.8 và 5.9 cho thấy vận tốc của khối trượt tăng lên rõ hơn so với nhiều do môi trường. Vận tốc của khối trượt tăng nhanh khi r_u tăng nhanh, thấy rõ nhất khi r_u vượt qua 0,53. Chỉ có duy nhất vận tốc vào tháng 07/2017 là cao nhất ($>0,03$ mm/giờ), phần lớn vận tốc của khối trượt trước khi xuất hiện sự kiện trượt dao động khá tương đồng và nhỏ hơn 0.1mm/giờ. Từ khi r_u vượt qua 0,53 đến khi xuất hiện sự kiện trượt, vận tốc dịch chuyển đều vượt quá 0.04mm/ giờ, đây chính là lúc mà hệ thống quan trắc ghi nhận được dịch chuyển của các khối trượt rõ nhất và nên xem là thời điểm cần được cảnh báo trước.

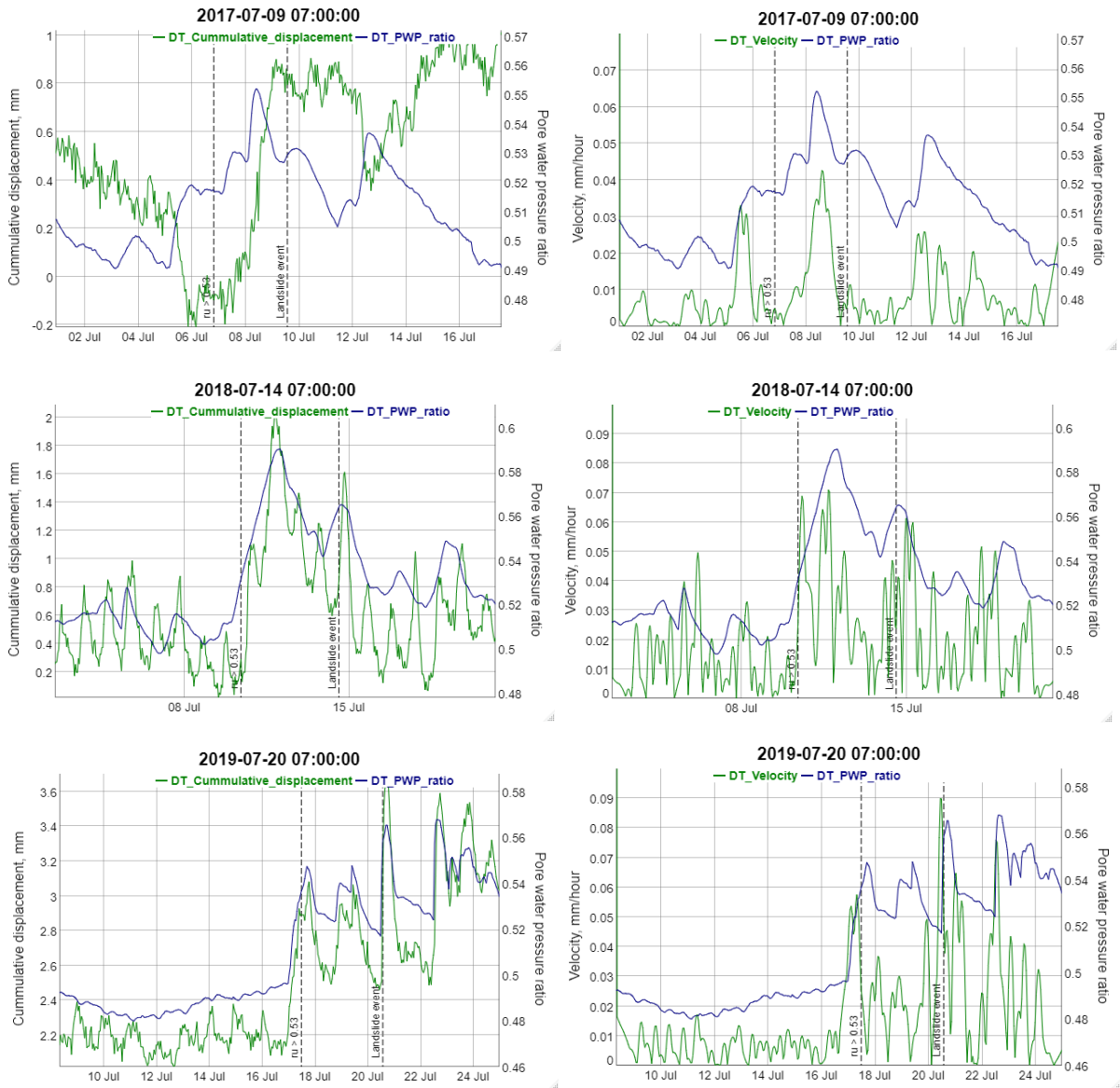
Saito (1969) [94] đã đưa ra hướng dẫn xử lý số liệu quan trắc dựa vào vận tốc nghịch đảo nhằm xác định tốc độ dịch chuyển của KTL. Khi tốc độ biến dạng tăng, nghịch đảo vận tốc sẽ có xu hướng dần về tiệm cận với trục thời gian. Qua đồ thị quan hệ giữa vận tốc nghịch đảo và thời gian, điểm giao nhau giữa trục thời gian và vận tốc nghịch đảo được coi là thời điểm mất ổn định của KTL. Thực tế cho thấy rằng vận tốc nghịch đảo của TKL thường hiển thị một xu hướng gần như tuyến tính trong giai đoạn tăng tốc dịch chuyển. Khi đó, phương pháp hồi quy tuyến tính được sử dụng như một công cụ để ước tính thời gian trượt xuất hiện.

Xu hướng vận tốc nghịch đảo suy giảm không phải lúc nào cũng có nghĩa là KTL mất ổn định. Thực tế cho thấy, vận tốc nghịch đảo giảm dần đưa KTL đến điều kiện ổn định cân bằng mới gần với trục thời gian hơn mà chưa mất ổn định hoàn toàn. Đặc biệt với KTL có diễn biến dịch chuyển chậm phức tạp gồm nhiều giai đoạn thì phân tích vận tốc nghịch đảo theo kiểu dần về giá trị cân bằng mới sẽ cho kết quả chính xác hơn. Thời điểm phân tích hồi quy tuyến tính giảm gần tới giá trị cân bằng mới được xác định cho là thời điểm cần đưa thông tin cảnh báo nguy hiểm. Qua

quan trắc thời gian dài, giá trị gần cân bằng mới của KTL sẽ tiệm cận gần với trục thời gian cho mức độ tin cậy cao hơn trong cảnh báo nguy cơ mất ổn định KTL.

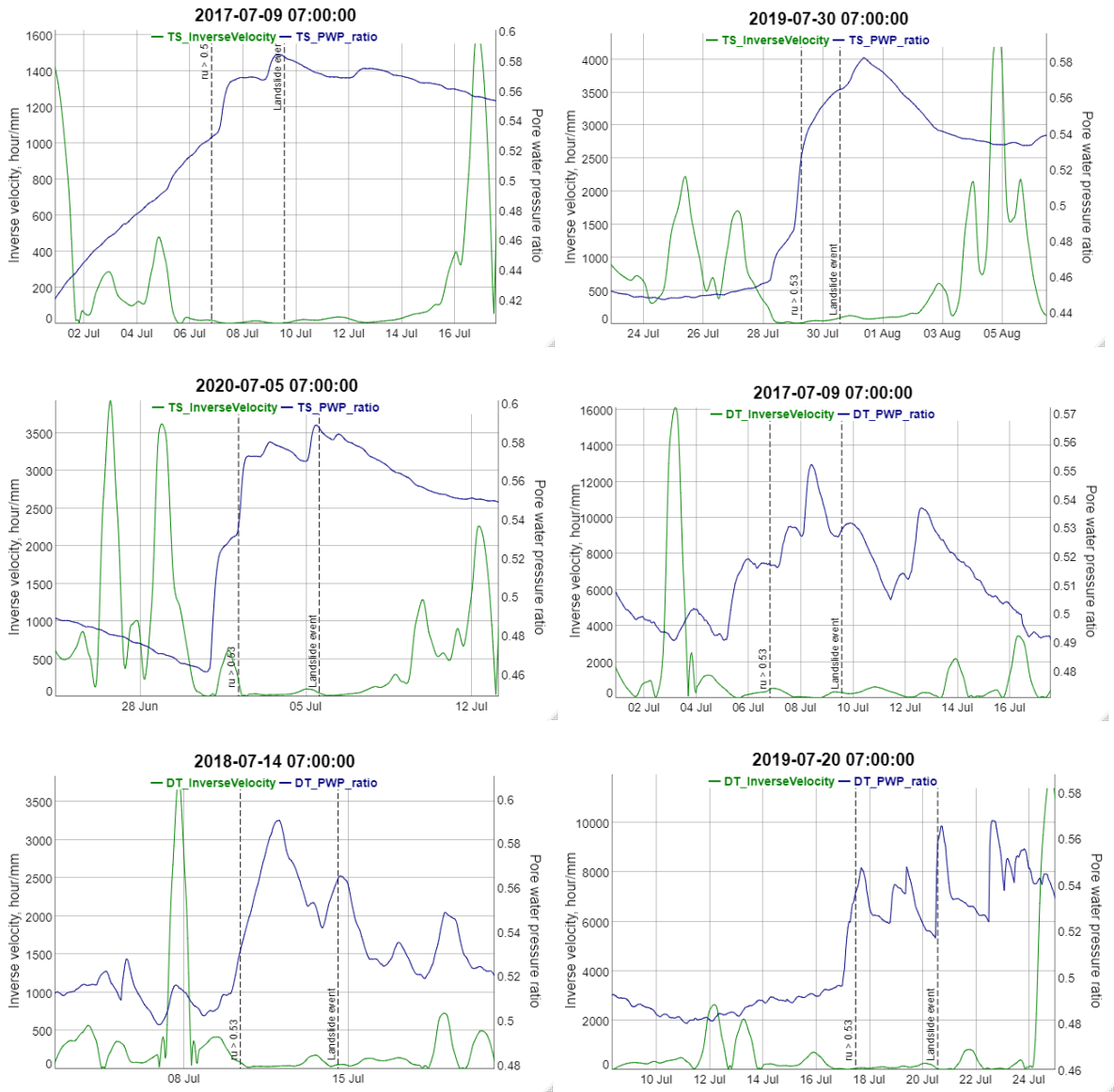


Hình 5. 8. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm r_u vượt quá 0,53 với dịch chuyển cộng dồn và vận tốc dịch chuyển tại trạm Tân Sơn



Hình 5. 9. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm r_u vượt quá 0,53 với dịch chuyển cộng dồn và vận tốc dịch chuyển tại trạm Đứ Thượng

Với kết quả quan trắc 2 KTL này, khi vận tốc tăng dần, vận tốc nghịch đảo giảm dần về 0 (giờ / mm). Hình 5.10 cho thấy rằng khi tỷ lệ áp lực nước lỗ rỗng tăng trên 0,53, vận tốc nghịch đảo giảm dần dưới 25 giờ / mm. Từ đó cho đến khi sự kiện trượt đất xảy ra, vận tốc nghịch đảo luôn gần với trục x. Trong khoảng thời gian này, giá trị vận tốc nghịch đảo luôn nhỏ hơn 25 giờ / mm. Do đó, giao điểm giữa việc tăng tỷ lệ áp suất nước lỗ rỗng trên 0,53 và giảm giá trị vận tốc nghịch xuống dưới 25 giờ / mm được coi là điểm bắt đầu nguy hiểm. Từ thời điểm $r_u > 0,53$, vận tốc nghịch đảo < 25 giờ/mm đến khi xuất hiện KTL thì vận tốc nghịch đảo luôn có xu hướng tiệm cận với trục hoành.



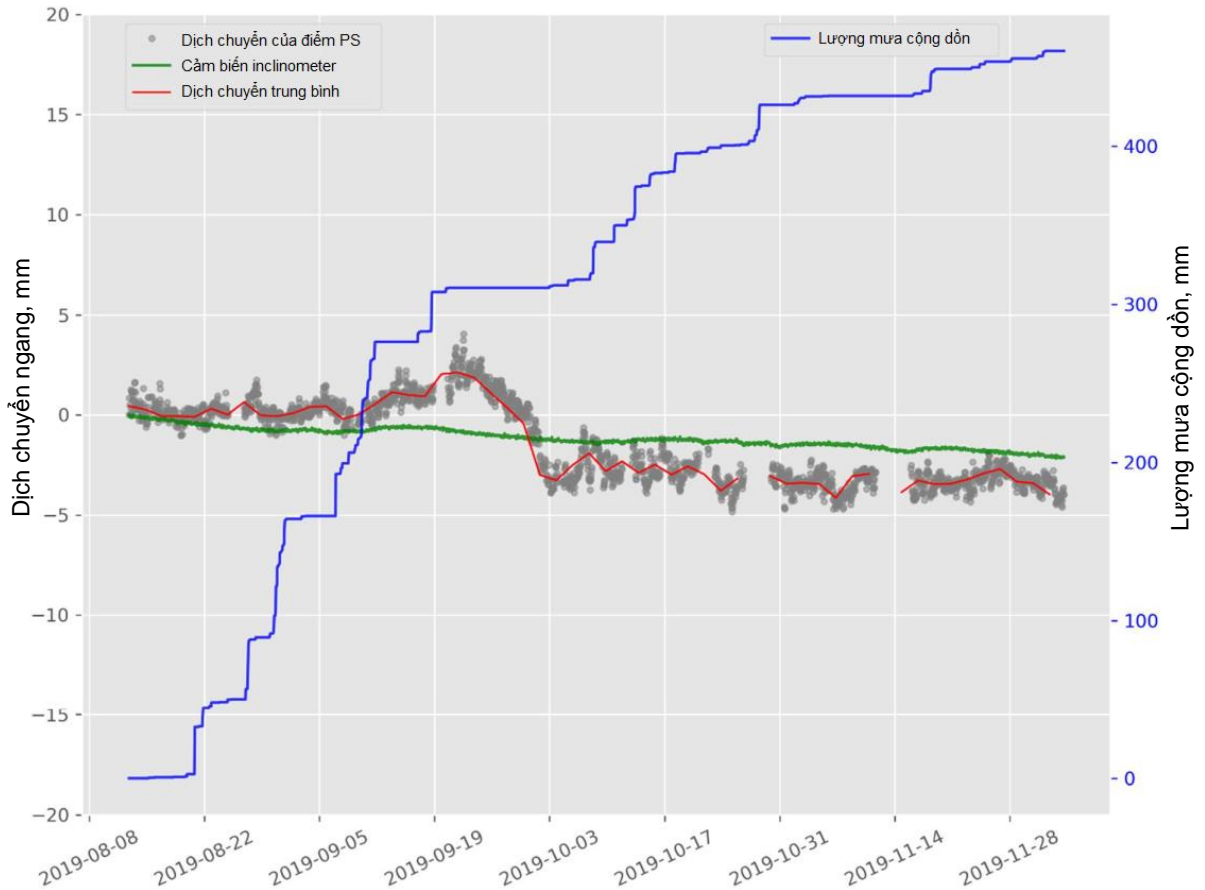
Hình 5. 10. Tương quan giá trị hệ số áp lực nước lỗ rỗng quanh một số thời điểm giới hạn 0,53 với vận tốc nghịch đảo

b./ So sánh diễn biến dịch chuyển bằng quan trắc địa kỹ thuật với T-InSar

Để so sánh tương quan giữa diễn biến dịch chuyển bằng quan trắc địa kỹ thuật với T-InSar, NCS chọn điểm quan sát P14 là vị trí lắp đặt trạm quan trắc địa kỹ thuật. Hình 5.11 cho thấy, chuỗi thời gian dịch chuyển trung bình của điểm P14 (đường màu đỏ), tương ứng với phần trên của lỗ khoan nơi đặt cảm biến inclinometer của trạm quan trắc. Tham số radar tin cậy và đạt chất lượng cao ở điểm này do phản xạ của tấm pin mặt trời của trạm quan trắc được gắn vào trụ chôn sâu dưới nền đất.

Chuỗi dữ liệu dịch chuyển của cảm biến inclinometer được thể hiện bằng đường màu xanh lá cây và lượng mưa tích lũy được hiển thị bằng màu xanh lam (từ ngày 10 tháng 8 đến ngày 4 tháng 12 năm 2019). So sánh dữ liệu thu được từ T-InSar với dữ

liệu về dịch chuyển của inclinometer, có vẻ như vào cuối tháng 9, bề mặt (ở quanh khu vực trạm quan trắc) bị tăng tốc độ biến dạng đột ngột, và không liên quan đến lượng mưa xảy ra. Sự gia tăng biến dạng bề mặt này không xảy ra trong lớp sét pha bên dưới, cho thấy quá trình biến dạng cục bộ trên bề mặt.



Hình 5. 11. So sánh dịch chuyển theo thời gian của KTL chợ Tân Sơn bằng kết quả đo P14 - T-InSar với số liệu dịch chuyển đo bằng inclinometer từ ngày 10/08/2019 đến 4/12/2019

Kết quả quan trắc tại 2 KTL XM-HG cho thấy bốn giai đoạn vận động chính:

- Giai đoạn tiền mất ổn định: Tỷ lệ áp lực nước lỗ rỗng tăng liên tục từ 0,45 - 0,53, thời gian này thường kéo dài từ tháng 5 đến giữa tháng 6. Giai đoạn này ghi lại giá trị dịch chuyển tích lũy là rất nhỏ và chưa bị ảnh hưởng, đến sự ổn định của hai điểm sạt lở. Sự tích tụ trong động học khối lượng trượt ở đây được biểu thị bằng giá trị tỷ lệ áp suất nước lỗ rỗng tại vị trí mặt trượt nguy hiểm nhất.
- Giai đoạn bắt đầu mất ổn định: - Tỷ lệ áp lực nước lỗ rỗng tăng quá 0,53, giai đoạn này thường kéo dài từ giữa tháng 6 đến tháng 10. Bên cạnh đó, vận tốc nghịch đảo giảm dần và tiệm cận với trục x. Từ khi trôi qua 0,53 đến khi được ghi nhận toàn bộ sự vận động là một quá trình tích lũy và tăng lên nhanh chóng, bản thân KTL cũng vận động rất nhiều.

- Giai đoạn sau khi mất ổn định: Tỷ lệ áp lực nước lỗ rỗng nhỏ hơn 0,45, thời gian thường kéo dài từ tháng 10 đến tháng 5 năm sau. Giai đoạn này không ghi nhận bất kỳ tác dụng nào, có thể gây ra sự dịch chuyển của hai điểm sụt lún. Các hoạt động nông nghiệp chỉ có thể làm tăng nhiều đến các cảm biến áp kế gần bề mặt đất.
- Giai đoạn tái hoạt động: thời gian thường kéo dài vào tháng 5. Giai đoạn này không ghi nhận những dịch chuyển đáng kể ở khối trượt nhưng áp lực nước lỗ rỗng không còn xu hướng giảm mà chuyển sang mức cân bằng của trạng thái mới.

5.4. Phân tích động lực KTL dựa vào các mô hình Địa kỹ thuật

5.4.1. Phân tích ổn định KTL

a./ Kết quả thí nghiệm mẫu đất tại các KTL

Kết quả khoan khảo sát và thí nghiệm cơ lý mẫu đất cung cấp số liệu điều kiện biên dùng để phân tích ổn định KTL Tân Sơn và KTL Dúi Thượng bằng phần mềm GeoStudio. Kết quả khoan khảo sát đã được thể hiện trên các mặt cắt địa chất VPH hình 5.12 và hình 5.13. Mẫu đất dùng làm thí nghiệm được lấy các hồ khoan khảo sát với thành phần chủ yếu là sét pha, cát pha trạng thái dẻo cứng nguồn gốc tàn tích. Để phân tích ổn định và khoảng phạm vi ảnh hưởng của KTL, ngoài phân tích 17 chỉ tiêu cơ lý của mẫu đất, NCS còn phân tích sức kháng cắt dư của mẫu đất tại vị trí mặt trượt nguy hiểm nhất.

Bảng 5. 4. Kết quả thí nghiệm mẫu đất gần vị trí mặt trượt nguy hiểm của KTL Tân Sơn và Dúi Thượng

Stt	Các chỉ tiêu cơ lí	Kí hiệu	Đơn vị	KTL Tân Sơn	KTL Dúi Thượng
1	Thành phần hạt, mm				
	>5		%		2
	2-5		%	9	17
	0.5-2		%	13	19
	0.25-0.5		%	19	13
	0.1-0.25		%	20	14
	0.05-0.1		%	11	8
	0.01-0.05		%	11	11
	0.005-0.01		%	4	4
<0.005		%	13	12	
2	Độ ẩm tự nhiên	W	%	20,1	21,8
3	Khối lượng thể tích tự nhiên	γ	g/cm ³	1,80	1,84
4	Khối lượng thể tích khô	γ_c	g/cm ³	1,50	1,52
5	Khối lượng riêng	Δ	g/cm ³	2,66	2,64

6	Độ lỗ rỗng	n	%	43,7	42,5
7	Hệ số rỗng	e ₀		0,775	0,740
8	Độ bão hoà	G	%	69,0	75,9
9	Độ ẩm giới hạn chảy	W _t	%	24,1	25,1
10	Độ ẩm giới hạn dẻo	W _p	%	15,2	15,9
11	Chỉ số dẻo	I _p	%	8,9	9,2
12	Độ sệt	I _s	%	0,551	0,587
13	Lực dính kết	C	kPa	12,0	12,1
14	Góc ma sát trong	φ	Độ (°)	15°26'	16°01'
15	Hệ số nén lún	a ₁₋₂	cm ² /kG	0,052	0,054
16	Hệ số thấm	K	cm/s	7,5e-05	7,3e-05
17	Sức kháng cắt dư	φ _r	Độ (°)	24°25'	22°45'

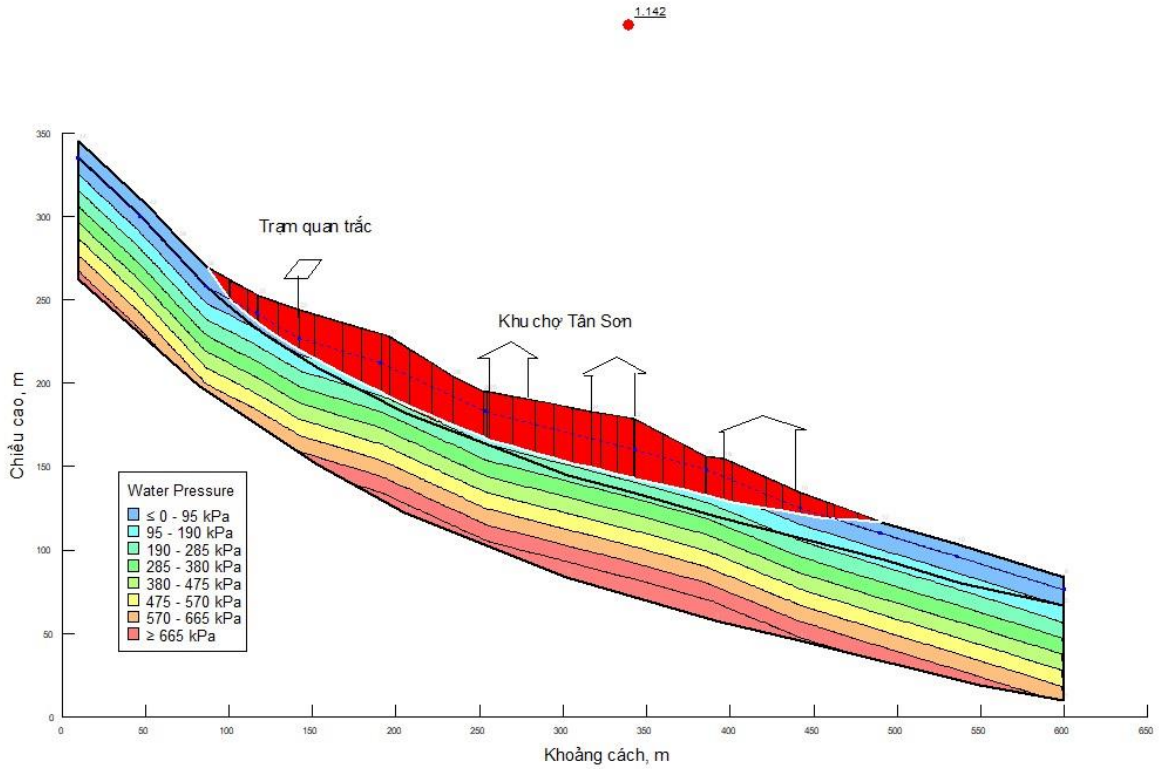
b./ Kết quả phân tích bằng phần mềm GeoStudio

Theo số liệu quan trắc ở trên cho thấy KTL thường mất ổn định khi có hệ số áp lực nước lỗ rỗng ở gần vị trí mặt trượt nguy hiểm vượt quá 0,53. Dựa vào kết quả quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, NCS thiết lập lại điều kiện phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong thân KTL Tân Sơn và Dúu Thượng. Các kịch bản phân bố áp lực nước lỗ rỗng tương ứng với các trường hợp hệ số áp lực nước lỗ rỗng ở các mức: 0,4 – 0,6.

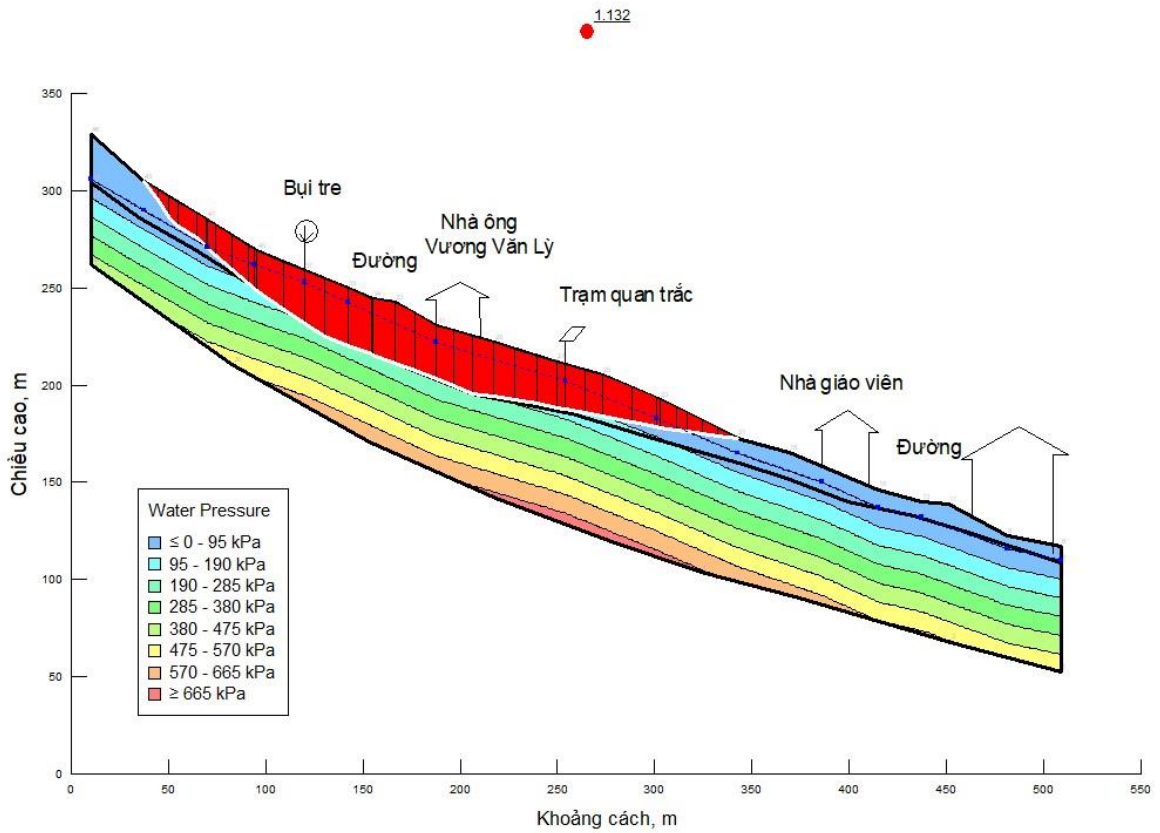
Bảng 5. 5. Tổng hợp kết quả phân tích FoS của KTL Tân Sơn và Dúu Thượng theo các mức hệ số áp lực nước lỗ rỗng khác nhau.

Hệ số áp lực nước lỗ rỗng r_u	Hệ số ổn định KTL	
	Tân Sơn	Dúu Thượng
0,6	1,026	0,998
0,55	1,098	1,094
0,53	1,143	1,132
0,5	1,192	1,183
0,45	1,279	1,245
0,4	1,331	1,382

Với kết quả phân tích ổn định sườn dốc theo phương pháp cân bằng tổng quát GLE như trên cho thấy KTL Tân Sơn và Dúu Thượng đều tiệm cận gần với có nguy cơ mất ổn định khi giá trị r_u vượt quá 0,53. Ở KTL Tân Sơn, khi giá trị r_u vượt quá 0,53 thì biểu hiện bắt đầu mất ổn định đã được ghi nhận bằng qua số liệu inclinometer. Kết quả phân tích mô hình ở KTL Dúu Thượng cho thấy giá trị r_u vượt quá 0,53 cũng dẫn đến mất ổn định tương đồng với KTL Tân Sơn.



Hình 5. 12. Kết quả phân tích ổn định mái dốc trong trường hợp hệ số áp lực nước lỗ rỗng $r_u = 0,53$ tại KTL Tân Sơn



Hình 5. 13. Kết quả phân tích ổn định mái dốc trong trường hợp hệ số áp lực nước lỗ rỗng $r_u = 0,53$ tại KTL Dú Thượng

5.4.2. Phân tích phạm vi ảnh hưởng của KTL

a./ Mô hình số 3D KTL tại chợ Tân Sơn và Dúi Thượng, Bản Dúi

Sử dụng số liệu ảnh chụp UAV để xây dựng mô hình số 3D bề mặt KTL Tân Sơn và KTL Dúi Thượng bằng phần mềm Agisoft Metashape. Quy trình thực hiện theo phương pháp mô tả trong phần 2.2.1. Thời điểm bay chụp UAV được tiến hành vào nhiều thời gian khác nhau từ 2017 đến 2021. Diện tích mô hình bao gồm KTL và một phần khe suối chảy kéo dài khoảng 300m phía dưới chân khối trượt. Kết quả xây dựng mô hình số được thể hiện như trong hình 5.14.



Hình 5. 14. Mô hình số 3D KTL chợ Tân Sơn & KTL Dúi Thượng, Bản Dúi

b./ Kết quả mô phỏng động lực khối trượt bằng phần mềm LS Rapid cho khối trượt chợ Tân Sơn.

Yếu tố kích hoạt dịch chuyển KTL Tân Sơn là do mưa lớn cường độ cao từ đó làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng trong thân khối trượt và làm giảm cường độ chống cắt của đất. Đồng thời tác động của dòng chảy mặt tạo thành các mương xói nhỏ chia cắt bề mặt địa hình làm giảm sức chống trượt của khối trượt. Sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng tại mặt trượt còn được mô phỏng qua tỉ số số áp lực nước lỗ rỗng r_u gia tăng liên tục đến khi đạt đến giá trị 0,6. Khoảng thời gian hệ số áp lực nước lỗ rỗng trong mô hình mô phỏng được thiết lập là 77,5 giây và thời gian để đạt giá trị tối đa của r_u là 40 giây. Khi r_u đạt 0,53 thì toàn bộ khối trượt đã được hình thành và chỉ cần sau đó khoảng 8 giây thì các mảng vụn đã đạt được vận tốc 20 m/giây. Phạm vi ảnh hưởng của khối trượt được mô phỏng như trên hình là vùng có đường bao màu tím. Các chấm màu cam bên trong được mô phỏng như mảnh vụn đất đá trườn xuống dưới chân sườn dốc và theo các khe suối để di chuyển.

Tổng diện tích ảnh hưởng của KTL Tân Sơn là 15 hecta và phá hủy 16 ngôi nhà ở phía bên dưới theo đường đi của nó. Khi dịch chuyển, mảnh vụn đất đá cắt qua đường TL 178, đi đến đâu nó sẽ xói thêm vật liệu ở đó để tích lũy thêm. Vật liệu trượt sau khi dịch chuyển hoàn toàn về phía khe suối còn có thể làm bồi lắng lòng hồ thủy

điện nằm bên dưới. Phạm vi ảnh hưởng lớn nhất của KTL Tân Sơn phân tích bằng mô hình này được xác định là 215m.

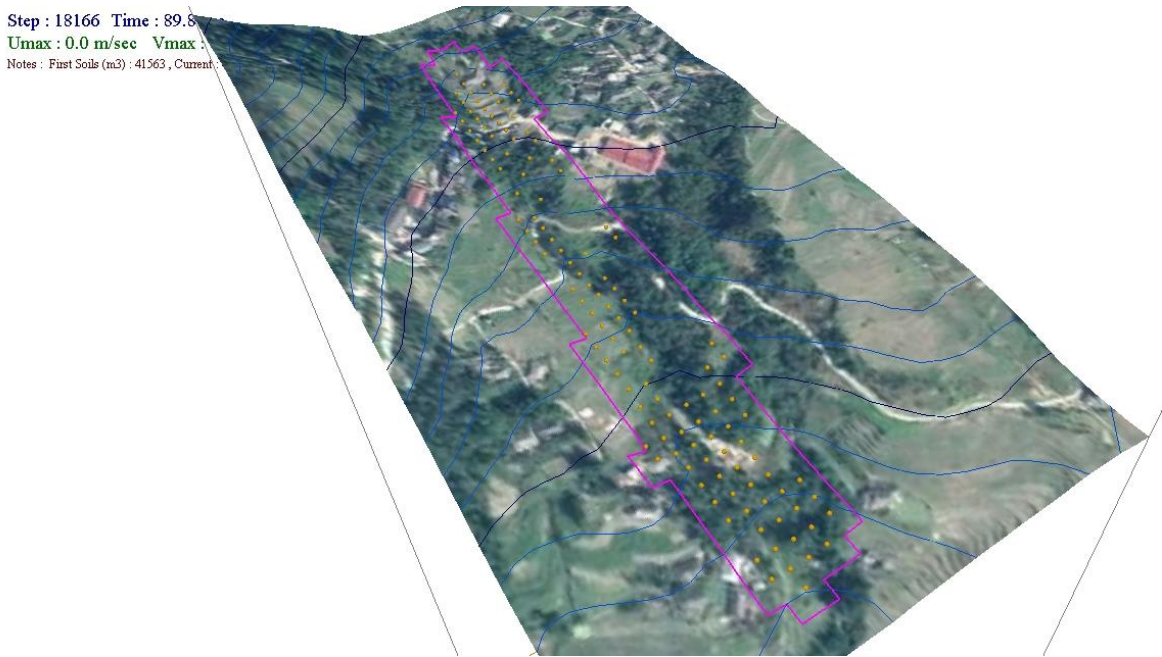


Hình 5. 15. Kết quả phân tích phạm vi vận động của KTL Tân Sơn bằng phần mềm LS Rapid

c./ Kết quả mô phỏng động lực khối trượt bằng phần mềm LS Rapid cho khối trượt Dúu Thượng

Yếu tố kích hoạt dịch chuyển KTL Dúu Thượng, xã Bản Dúu là do mưa lớn cường độ cao từ đó làm gia tăng áp lực nước lỗ rỗng trong thân khối trượt và làm giảm cường độ chống cắt của đất trên mặt trượt. Sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng còn được biểu thị qua tỉ số số áp lực nước lỗ rỗng r_u đạt đến giá trị 0,6. Khoảng thời gian hệ số áp lực nước lỗ rỗng trong mô hình mô phỏng được thiết lập là 89,8 giây và thời gian để đạt giá trị tối đa của r_u là 33 giây. Khi r_u đạt 0,53 thì toàn bộ khối trượt đã được hình thành và chỉ cần sau khoảng 6,5 giây thì các mảng vụn đã đạt được vận tốc tối đa là 21 m/giây. Phạm vi ảnh hưởng của khối trượt được mô phỏng như trên hình là vùng có đường bao màu tím. Các chấm màu cam bên trong được mô phỏng như mảnh vụn đất đá trườn xuống dưới chân sườn dốc và theo các khe suối để di chuyển.

Tổng diện tích ảnh hưởng của KTL Dúu Thượng là 5 hecta và phá hủy 9 ngôi nhà ở phía bên dưới theo đường đi của nó. Khi dịch chuyển, mảnh vụn đất đá tập trung xuống khe suối bên dưới tạo thành bãi nón phóng vật nguy hiểm cho vùng hạ lưu. Nếu lượng đất đá lớn này trôi xuống lòng thủy điện Sông Chảy 5 còn có thể gây ra loại hình tai biến khác như bồi xói lòng hồ, tạo sóng trong lòng hồ thủy điện. Phạm vi ảnh hưởng lớn nhất của KTL Dúu Thượng phân tích bằng mô hình này được xác định là 190m.



Hình 5. 16. Kết quả phân tích phạm vi vận động của KTL Dú Thượng bằng phần mềm LS Rapid

5.5. Giải pháp giảm thiểu tác động của KTL

Kết quả chương 5 cho thấy, sự hình thành KTL là một hệ thống tổng hòa các yếu tố môi trường và xã hội trong một phạm vi rộng. Do đó, các giải pháp công trình mang tính cụ thể khó có thể áp dụng đại trà cho tất cả các dạng KTL. Nhưng trong bất cứ một hoàn cảnh nào, việc áp dụng giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của KTL cần hướng tới tính chủ động trong ứng phó và khả năng liên kết giữa các nguồn lực sẵn có của địa phương. Chỉ có con người, cụ thể là cộng đồng trực tiếp chịu ảnh hưởng mới có thể hiểu chính xác cần phải làm gì và làm ở mức độ như thế nào là phù hợp với điều kiện thực tế. Nhà khoa học, quân đội và chính quyền địa phương chỉ có thể hỗ trợ cộng đồng bằng các công cụ, phương pháp, nguồn thông tin dự báo, bài học kinh nghiệm, cơ chế tiếp cận các nguồn lực phục hồi tái thiết sau thiên tai. Vì vậy, NCS đề xuất 3 nhóm giải pháp phi công trình nhằm giảm thiểu tác động của hiện tượng TKL như sau:

5.5.1. Nâng cao hiệu quả của công tác khảo sát và khả năng nhận diện KTL

a./ Bổ sung các kỹ thuật khảo sát địa chất hiện đại

- Áp dụng công nghệ bay chụp UAV trong khảo sát nhanh địa hình khu vực KTL xuất hiện. Để nâng cao hơn chất lượng ảnh chụp và phân tích địa hình, nên kết hợp các loại cảm biến lidar trong quá trình bay chụp khảo sát.
- Đo vẽ ĐCCT với tỷ lệ lớn cho các khu vực nguy cơ TKL cao.

- Khoan lấy mẫu nguyên dạng liên tục bằng ống mẫu nòng đôi hoặc ống Mazier. Chiều sâu khoan cần đạt tới tầng đá gốc rắn chắc.
- Tiến hành đo và theo dõi mực nước ngầm trong hố khoan, nhất là trong mùa mưa.
- Áp dụng công nghệ địa vật lý trong nghiên cứu cấu trúc địa chất và xác định mặt trượt nguy hiểm nhất.
- Bổ sung về khối lượng các thí nghiệm mẫu đất trong phòng ở trạng thái bão hòa, thí nghiệm cắt mẫu khối lớn kết hợp với một số tính chất đặc biệt của cơ học đất không bão hòa, xác định sức kháng cắt dư của đất.

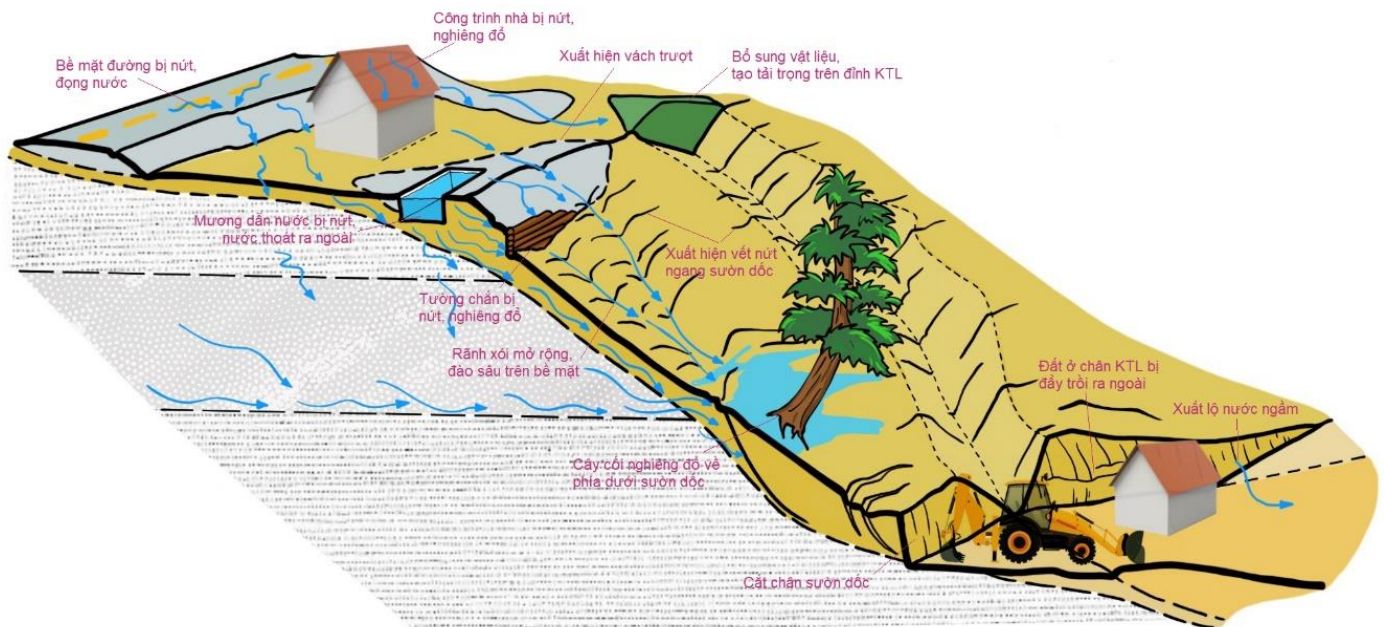
b./ Nhận diện dấu hiệu xuất hiện KTL

Vận dụng khuyến nghị của Cơ quan quản lý khẩn cấp Mỹ và của TC PCTT, qua thực tế ghi nhận diễn biến TKL ở MNPB, NCS tổng hợp các dấu hiệu để nhận diện biểu hiện của KTL cần quan tâm bao gồm:

- Cửa ra vào hoặc cửa sổ bị dính hoặc kẹt, lâu dần không thể đóng/ mở bình thường. Đường điện hoặc đường dẫn nước dưới ngầm bị đứt đột ngột.
- Xuất hiện vết nứt mới trên tường nhà, sân, đường, bề mặt ruộng vườn hoặc dưới nền móng.
- Các vết nứt mở rộng và phát triển chậm trên mặt đất hoặc trên đường phố bề mặt ruộng vườn, mật độ vết nứt ngày càng dày và có xu hướng nối tiếp nhau. Vết nứt tạo thành bậc liên tiếp có chiều cao từ vài chục cm đến hàng mét trên sườn dốc.
- Mặt đất trôi lên ở dưới chân sườn dốc.
- Nước xuất lộ trên bề mặt đất ở các vị trí mới, lượng nước đọng lại ngày càng nhiều và gia tăng độ ẩm trong đất.
- Hàng rào, tường chắn, cột điện hoặc cây cối nghiêng ngả hoặc di chuyển.
- Xuất hiện âm thanh bất thường, chẳng hạn như tiếng cây cối gãy đổ hoặc đá tảng đập vào nhau, chuỗi âm thanh âm ỉm, có xu hướng tăng dần về âm lượng khi KTL bắt đầu dịch chuyển. Ngoài ra, chó mèo và các động vật gia súc có thể chạy lung tung báo hiệu cần di chuyển ngay lập tức.
- Đất đá trên sườn dốc phía taluy dương lăn xuống dưới ngày càng nhiều.
- Hệ thống mương thoát nước mặt có chỗ đọng nhiều nước có chỗ thì khô cạn do nứt nẻ. Mương xói trên bề mặt sườn dốc có xu hướng mở rộng về kích thước và thành mạng lưới sau khi xuất hiện mưa lớn. Hệ thống dòng chảy mặt làm thay đổi đáng kể bề mặt địa hình theo thời gian.
- Cây thân gỗ trồng trên sườn dốc lâu ngày có xu hướng nghiêng về phía dưới chân sườn dốc.

Ngoài các dấu hiệu biểu hiện bề mặt như trong **mục 3.2**, một số dấu hiệu phản ánh cấu trúc của KTL cũng cần được quan tâm như:

- Về địa hình: cấu trúc khối trượt cổ có địa hình tạo thành bậc cần quan tâm đến quy mô khối trượt, dự đoán cấu trúc VPH, độ cao mực nước ngầm trong thân khối trượt và thành phần thạch học.
- Về kiến tạo: mức độ dập vỡ do hoạt động kiến tạo, mức độ dập vỡ của đá gốc thể hiện phần nào mức độ ổn định của VPH. Dựa vào các vách taluy đào, vách trượt để đánh giá mức độ dập vỡ, hướng phát triển của hệ thống khe nứt, mức độ lấp nhét các vật liệu vào trong khe nứt, khả năng thoát nước của hệ thống khe nứt.
- Về hoạt động của nước dưới đất: cần quan tâm điểm xuất lộ dòng chảy tạm thời khi có mưa lớn, hoặc có tiếng “ục ục” nước chảy qua.
- Về thành phần thạch học: cần quan tâm đến thành phần thạch học như mô tả trong **mục 4.1.1**, chú ý ở những nơi có chiều dày VPH lớn, bề mặt phân lớp trùng với hướng sườn dốc, trên mặt đá gốc có lớp đất phong hóa mạnh có độ ẩm cao và khả năng trữ nước tốt.
- Tham khảo thêm các loại phiếu điều tra về trượt đất đá đã có trong các tài liệu hướng dẫn PCTT, sách chuyên khảo về trượt đất đá, tài liệu hội thảo hội nghị về trượt đất đá, cẩm nang về PCTT. Nội dung điều tra KTL cần được quy định thống nhất theo mẫu phiếu điều tra TKL.



Hình 5. 17. Tổng hợp các biểu hiện bên ngoài mặt ổn định của khu vực có nguy cơ cao xuất hiện KTL

5.5.2. Quy hoạch sử dụng đất ở khu vực nguy cơ cao về trượt khối lớn

a./ Sử dụng đất hợp lý ở khu vực có nguy cơ cao về trượt khối lớn

- Trên KTL có nhiều chỗ bị sũng nước nên được sử dụng làm nơi trồng cỏ kết hợp chăn nuôi. Tuy chưa được áp dụng rộng rãi ở Việt Nam nhưng cách làm này khá phổ biến ở Đài Loan và Indonesia. Thực tế rãnh xói ở khối trượt Tân Sơn cũng được người dân trồng cỏ voi kết hợp chăn nuôi ở quy mô nhỏ nhưng hiệu quả hạn chế mở rộng mương xói đã thấy rõ rệt trong những năm gần đây.
- Quy trình khai thác nông lâm sản phù hợp với điều kiện tự nhiên. Một số tổ chức phi chính phủ đã khuyến cáo việc trồng các loại cây công nghiệp ngắn ngày như keo, trầm, cao su làm mỏng lớp phủ thực vật và có nguy cơ gây trượt đất đá. Nên chuyển đổi sử dụng đất sang trồng các giống cây dài ngày bản địa hoặc trồng xen canh để hạn chế việc xói mòn đất sau khi thu hoạch cây công nghiệp.
- Cần tính toán và phân tích chi tiết đặc điểm các loại hình thảm thực vật ảnh hưởng đến trượt đất đá trong điều kiện tự nhiên của từng địa phương. Kết quả nghiên cứu của đề tài ĐTĐL.CN- 23/17 cho thấy đặc điểm phát triển của cây keo lai và quy trình khai thác góp phần ảnh hưởng đến sự phát triển của trượt đất đá, thuận lợi với điều kiện giao động về nhiệt và lượng mưa lớn như ở Quảng Nam [95].



Hình 5. 18. Dòng chảy mặt bị hạn chế mở rộng do cây cỏ voi phát triển nhanh phía sau chợ Tân Sơn, Năm Dăn

- Áp dụng một số giải pháp thân thiện với môi trường trong vùng nguy cơ TKL cao như: trồng cây trên sườn dốc trống, trải thảm phủ trên sườn dốc, tạo gờ ngăn cản rãnh xói bề mặt, làm rãnh thu nước bằng bê tông đá học, hạn chế tải trọng trên sườn dốc.

b./ Phân tích phạm vi ảnh hưởng của KTL

Thiệt hại do KTL gây ra là do lượng đất đá lớn di chuyển cuốn theo tài sản, công trình và cả con người. Hầu hết các khối đã mất ổn định và chuyển sang tái ổn định đều được người dân và chính quyền cải tạo ngay sau khi xuất hiện, do đó việc ghi nhận khoảng phạm vi ảnh hưởng cho tất cả các khối trượt gặp nhiều khó khăn. Phạm vi ảnh hưởng được tính toán qua các thông số kích thước khối trượt, thể tích khối trượt bằng công thức kinh nghiệm được thực hiện như sau:

- Tiếp cận từ kích thước hình học của khối trượt, **Jordi Corominas (1996) [96]** dựa vào các thống kê từ 240 khối trượt ở khắp nơi trên thế giới đã đề xuất công thức kinh nghiệm:

$$\text{Log}(H/L) = -0.085 \lg V - 0,047 \quad (V \text{ thay đổi trong khoảng } 10^2 \text{ đến } 10^{10} \text{ m}^3)$$

- Với phương pháp tiếp cận theo đặc điểm vận động như dòng bùn đá, khoảng phạm vi ảnh hưởng của khối trượt được **Dieter Rickenmann (2005) [97]** tìm ra quy luật dựa vào dữ liệu thống kê và phân tích 144 khối trượt xuất hiện trên núi Alps:

$$L = 1.9 * (V^{0.16}) * (V^{0.83})$$

- Với cách tiếp cận dựa vào thống kê số lớn, **Graziella Devoli & nnk (2009) [98]** qua thống kê số lượng rất lớn các khối trượt ở khu vực trung Mỹ đã tìm ra quy luật thống kê theo công thức:

$$L = -3000 \ln(1 - H/1600) \quad \text{với } H \text{ được giới hạn không nên quá lớn } (H < 1550\text{m})$$

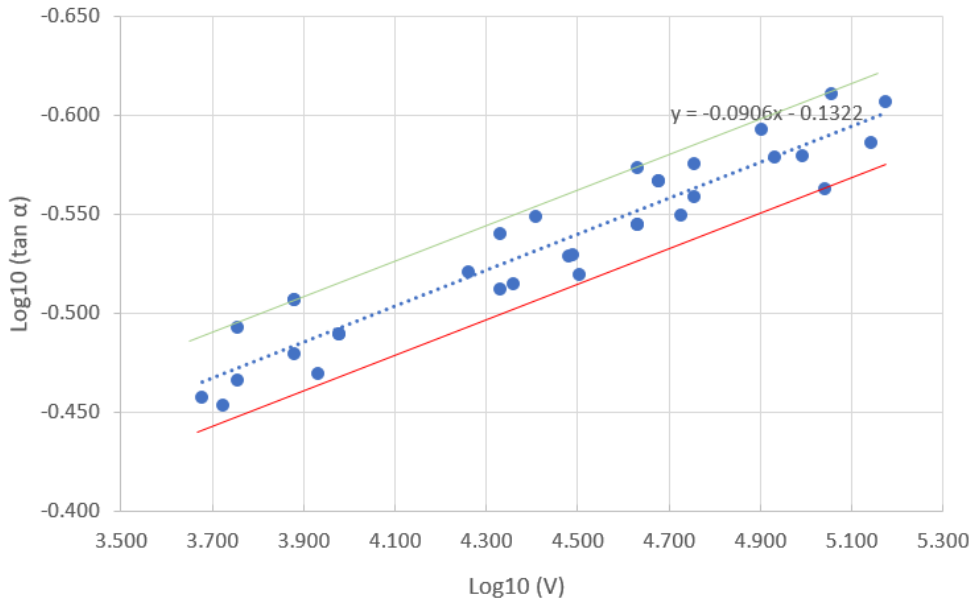
NCS sử dụng các công thức trên để xác định giá trị trung bình khoảng phạm vi ảnh hưởng cho 33 khối trượt tại khu vực XM-HG (**chi tiết kết quả tính toán xem trong phụ lục 3**). Phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính cho phép xác định các ranh giới xác suất dự đoán theo tỷ lệ 90%, 50%, và 10% phạm vi khoảng phạm vi ảnh hưởng (đường màu đỏ, nét đứt xanh, xanh lá cây) dựa theo thể tích KTL cho khu vực XM-HG (**hình 5.19**). Đây cũng chính là khoảng phạm vi ảnh hưởng gần như chắc chắn, trung bình và xa tối đa mà khối trượt tại khu vực XM-HG có thể ảnh hưởng đến.

Theo số liệu thống kê về quan hệ giữa khoảng phạm vi ảnh hưởng vùi lấp ($\log_{10}(\tan \alpha)$) với thể tích KTL ($\log_{10}(V)$) ta thấy chúng có quan hệ tuyến tính **hình 5.19** được xác định theo phương trình hồi quy:

$$\text{Log}_{10}(\tan \alpha) = -0.0906 * \text{Log}_{10}(V) - 0.1321$$

Nếu coi phạm vi mà 90% KTL có thể ảnh hưởng tới là ranh giới phạm vi an toàn thì công thức xác định khoảng phạm vi ảnh hưởng tối đa theo xác suất 90% dựa vào thể tích khối trượt:

$$\text{Log}_{10}(\tan \alpha) = -0.0906 * \text{Log}_{10}(V) - 0.1542584$$



Hình 5. 19. Dự đoán xác suất 90%, 50%, và 10% khoảng phạm vi ảnh hưởng (đường màu xanh lá cây, nét đứt xanh da trời, đỏ) dựa theo thể tích KTL cho khu vực XM-HG

Xem xét khoảng phạm vi ảnh hưởng tối đa mà khối trượt ảnh hưởng đến (xác suất 90%) dựa vào thể tích khối trượt theo công thức trên cho giá trị định lượng phạm vi an toàn cần thiết để tránh ảnh hưởng vận động của KTL trong khu vực XM-HG. Khối trượt càng tăng về thể tích thì phạm vi ảnh hưởng sẽ càng lớn. Trong nghiên cứu này, NCS chỉ xem xét các KTL tại XM-HG nên giới hạn về thể tích ($>4500m^3$) cũng là một điều kiện cần của công thức khi áp dụng. Cách tiếp cận dựa vào thống kê dễ dàng đưa ra tương quan về phạm vi ảnh hưởng với thể tích nhưng chưa cho biết các điều kiện ảnh hưởng của địa hình, thành phần và kích thước của vật liệu trượt và kiểu trượt. Điều này ảnh hưởng đến khả năng diễn giải quá trình vận động của vật liệu trượt trên sườn dốc và chưa cho biết yếu tố nào là yếu tố chính thúc đẩy quá trình vận động của vật liệu trượt để đề xuất phương án xử lý.

5.5.3. Giải pháp quan trắc phục vụ cảnh báo sớm

a./ Một số nội dung cần chú ý khi áp dụng giải pháp quan trắc

Trong tất cả các giải pháp giảm thiểu thiệt hại ở trên, giải pháp quan trắc phục vụ cảnh báo sớm là giải pháp mang tính chủ động và khả năng liên kết nguồn lực rõ rệt nhất. Hệ thống quan trắc đưa ra số liệu trung thực, khách quan và kịp thời nên hiện nay rất được quan tâm trong công tác PCTT. Để sử dụng giải pháp quan trắc trong cảnh báo sớm nguy hiểm TKL, cần lưu ý một số nguyên tắc sau:

- Xem xét tính liên kết nguồn lực của hệ thống, giải pháp quan trắc thường phối kết hợp với ít nhất 01 giải pháp khác để tối đa hóa hiệu quả của hệ thống. Khi bố trí

quan trắc nên kết hợp hệ thống quan trắc KTL với các dạng quan trắc môi trường khác để tiết kiệm vật lực và nhân lực trông coi, duy trì bảo quản hệ thống lâu dài. Hoặc giải pháp quan trắc được kết hợp với giải pháp quy hoạch hoặc giải pháp công trình PCTT.

- *Về việc lựa chọn chủng loại, cấu hình cảm biến quan trắc.* Do đặc thù làm việc ở những vị trí nguy hiểm do dịch chuyển của KTL nên việc lắp đặt hệ thống quan trắc phải đảm bảo ghi đo được số liệu cần quan trắc cần thiết, đồng thời cần đảm bảo hoạt động ổn định và lâu dài của hệ thống. Vì vậy, quá trình thiết kế, lắp đặt các thiết bị cảm biến cần tránh làm ảnh hưởng phát sinh, phát triển động lực của khối trượt, thay đổi bề mặt địa hình, làm tập trung nước chảy vào thân khối trượt. Các thiết bị cảm biến cần chôn sâu dưới đất ở độ sâu phù hợp với vận động của khối trượt và vận động của mực nước ngầm mà vẫn có thể dễ dàng bảo trì hoặc mở rộng hệ thống sau này. Dữ liệu quan trắc cần được chuyển lên máy chủ hoặc lên mạng internet để lưu trữ ngay khi được ghi nhận. Đối với KTL nên sử dụng mô hình thiết kế hệ thống cảm biến như [hình 2.4](#).
- *Yếu tố chuyên gia trong xử lý dữ liệu quan trắc.* Sử dụng hiệu quả dữ liệu quan trắc KTL là rất khó và cần sự kiên trì trong thời gian dài. Để hiểu được các dữ liệu quan trắc và luận giải dữ liệu cần người vừa có chuyên môn và kinh nghiệm về địa kỹ thuật, vừa có hiểu biết nhất định về tự động hóa thì mới đảm bảo luận giải chính xác của số liệu quan trắc. Do vậy, chuyên gia có kinh nghiệm trong phân tích dữ liệu quan trắc là yếu tố rất quan trọng.
- *Độ dài dữ liệu quan trắc.* Thông thường dữ liệu quan trắc diễn biến theo chu kỳ năm, do đó thời gian phân tích phải đủ dài để phân tích dữ liệu quan trắc.
- *Về tính ổn định trong môi trường tự nhiên.* Hệ thống quan trắc cảnh báo sớm TKL luôn phải làm việc 24/24h, trong các điều kiện khắc nghiệt của môi trường. Do đó, hệ thống cần sử dụng các loại vật tư thiết bị chuyên dụng, phù hợp với điều kiện môi trường khí hậu của từng địa phương và có độ bền cao.
- *Vai trò tham gia của cộng đồng người dân trong hệ thống quan trắc.* Dữ liệu quan trắc là chuỗi số liệu rất phức tạp nên cần được chuyển đổi và thể hiện theo hình thức đơn giản nhất cho cộng đồng người dân sống trong khu vực có nguy cơ ảnh hưởng của KTL để họ biết được mức độ nguy hiểm đang tiềm ẩn. Khi người dân ở trong khu vực nguy hiểm hiểu được vai trò của hệ thống quan trắc KTL, họ sẽ chính là người duy trì và bảo vệ và khai thác hiệu quả hệ thống quan trắc trong thời gian dài.

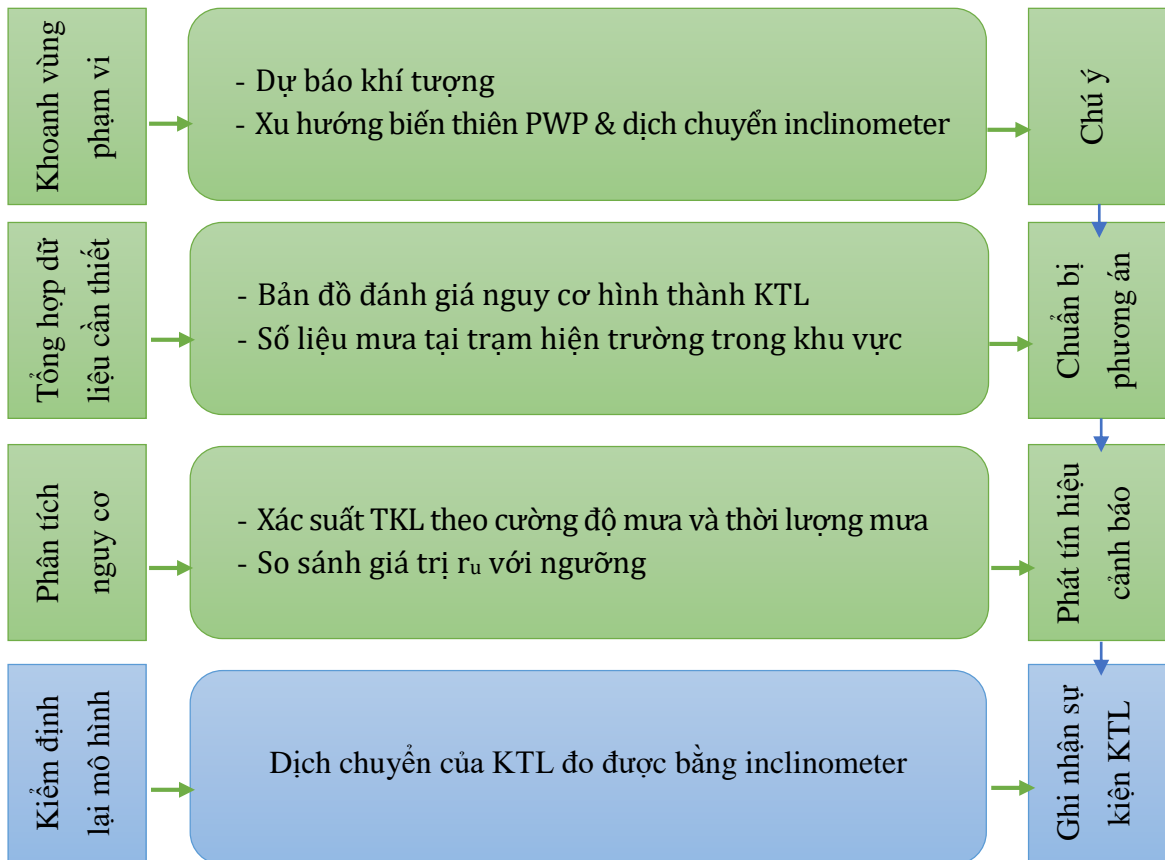
- Về tính chủ động trong ứng phó. Quan trắc diễn biến động lực và dịch chuyển của KTL chỉ là một phần quan trọng trong hệ thống cảnh báo sớm gồm 4 hợp phần: nhận dạng tai biến TKL, quan trắc dự báo tai biến TKL, cảnh báo sớm tai biến tới cộng đồng, đưa ra giải pháp ứng phó tai biến TKL. Để phát huy hiệu quả của hệ thống quan trắc cần có sự phối hợp của cả 4 hợp phần, trong đó yếu tố con người vẫn là yếu tố quan trọng nhất trong cả 4 hợp phần. Dữ liệu quan trắc chỉ giúp con người có thêm thông tin ứng xử một cách chủ động với diễn biến động lực của KTL còn mọi hành động thực tế vẫn phụ thuộc phần nhiều vào con người. Vì vậy, vai trò của cộng đồng sinh sống trong phạm vi ảnh hưởng của KTL là rất quan trọng, họ cần tham gia vào trong tất cả các khâu để cảnh báo sớm nguy cơ TKL.
- Về khả năng mở rộng hiểu biết về PCTT nói chung thông qua hệ thống quan trắc: hệ thống quan trắc phục vụ cảnh báo sớm nguy cơ TKL còn là giáo cụ trực quan sinh động trong việc tuyên truyền, nâng cao nhận thức về nguy hiểm của TKL nói riêng và PCTT nói chung. Việc này không chỉ đã được nhiều quốc gia phát triển áp dụng mà còn nhận được các tổ chức phi chính phủ quan tâm hỗ trợ về tài liệu và chính sách thông tin, tuyên truyền. Chỉ có giáo dục, tuyên truyền nâng cao nhận thức và kiến thức về TKL thì cộng đồng và chính quyền địa phương mới không mất cảnh giác trước các nguy hiểm thường trực.

b./ Kết quả áp dụng cảnh báo sớm tai biến trượt khối lớn tại huyện XM-HG

Quy trình phân tích dữ liệu quan trắc kết hợp với dữ liệu hiện trạng và nguy cơ trượt đất đá nhằm đưa ra bản tin cảnh báo sớm hiện nay có nhiều phương pháp thực hiện. Với điều kiện quan trắc của huyện XM-HG và các công nghệ hiện có, NCS đề xuất công nghệ quan trắc kết hợp giữa số liệu khí tượng, bản đồ dự báo nguy cơ, và kết quả quan trắc tại trạm hiện trường cho khu vực huyện XM-HG. Quy trình quan trắc này gồm 4 bước: khoanh vùng phạm vi, tổng hợp dữ liệu cần thiết, phân tích nguy cơ, kiểm định lại mô hình. Sau mỗi đợt mưa lớn có xuất hiện TKL, sự kiện trượt lại được ghi lại và mô hình phân tích nguy cơ TKL được tiến hành phân tích lại để dự báo cho tương lai (hình 5.20).

Kết quả nghiên cứu của luận án đã góp phần làm sáng tỏ một số nội dung chính cần thực hiện để hoàn thiện hệ thống cảnh báo sớm tai biến TKL cho khu vực MNPB. Đặc điểm động học của 2 KTL đã làm sáng tỏ xu hướng biến thiên PWP và dịch chuyển ngang trong hố khoan tuân theo chu kỳ mùa, thời điểm xuất hiện dịch chuyển KTL có liên quan mật thiết với thời điểm gia tăng nhanh áp lực nước lỗ rỗng tại vị trí mặt trượt nguy hiểm, đồng thời tỷ lệ r_u vượt quá ngưỡng 0,53. Quy luật phân bố KTL

được xác định theo phương pháp tổng hợp xếp chồng cho kết quả dự báo nguy cơ hình thành đáng tin cậy.



Hình 5. 20. Các bước phân tích dữ liệu quan trắc phục vụ cảnh báo sớm tai biến TKL

Kết quả phân tích cảnh báo sớm tai biến TKL là một phần kết quả được thể hiện trong website <http://truotlo.com>.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả trình bày ở trên, các kết luận được rút ra như sau:

- (1) Qua thống kê tổng hợp số liệu của 8.304 khối trượt đất đá trên toàn phạm vi MNPB cho thấy, phân phối thống kê tần suất xuất hiện của logarit thể tích khối trượt tuân theo quy luật phân phối chuẩn và giới hạn về thể tích của KTL (mức độ tin cậy 95%) ở mức 4.500 m³.
- (2) KTL ở khu vực MNPB phần lớn là kiểu trượt tịnh tiến và hỗn hợp, mặt trượt nguy hiểm nhất nằm ở mặt không liên tục giữa ranh giới về thành phần thạch học hoặc khe nứt kiến tạo.
- (3) Các yếu tố ảnh hưởng đến sự hình thành KTL trong môi trường tự nhiên có khả năng tương tác lẫn nhau trong mô hình hồi quy. Kết quả phân tích tương quan và phân tích đa cộng tuyến cho phép xác định các yếu tố có tương quan cao với các yếu tố khác như: độ cong ngang sườn, độ cong dọc sườn, TWI và khoảng cách đến sông suối.
- (4) Sự hình thành KTL ở khu vực MNPB chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố tự nhiên và nhân tạo. Kết hợp phương pháp phân tích thống kê và học máy cho thấy phương pháp tổng hợp xếp chồng cho kết quả đáng tin cậy nhất, nguy cơ hình thành TKL được đánh giá qua xem xét 11 yếu tố ảnh hưởng, trong đó 5 yếu tố chính mang tính chất quyết định gồm: khoảng cách đến đường giao thông, khoảng cách đến đứt gãy khoảng cách đến ranh giới thạch học, thành phần thạch học, độ dốc địa hình.
- (5) Hệ thống quan trắc hiện trường TKL bao gồm các quan sát biến đổi địa hình bề mặt, quan trắc lượng mưa theo giờ và thiết bị quan trắc áp lực nước lỗ rỗng, đo dịch chuyển ngang ở các độ sâu khác nhau trong mái dốc phù hợp với điều kiện thực tế và cho phép nghiên cứu định lượng đặc điểm động lực học của một số KTL tại XM-HG.
- (6) Đặc điểm động lực học KTL tại XM-HG được đặc trưng bởi sự dịch chuyển không đồng nhất tại nhiều vị trí mặt trượt khác nhau. Dịch chuyển KTL tuân theo quá trình tích lũy biến dạng và diễn biến theo mùa. Thời điểm xuất hiện dịch chuyển KTL diễn ra vào mùa mưa áp lực nước lỗ rỗng gia tăng nhanh tại vị trí mặt trượt nguy hiểm, đồng thời giá trị của $r_u \geq 0,53$.
- (7) Trên cơ sở phân tích thống kê các KTL ở XM-HG kết hợp với phân tích phạm vi ảnh hưởng dựa vào thể tích khối trượt theo các công thức kinh nghiệm cho thấy, giới hạn về phạm vi ảnh hưởng được xác định theo công thức dựa vào thể tích

KTL: $\log_{10} (\tan \alpha) = -0,0906 * \log_{10} (V) - 0,1542584$. Đây là một căn cứ để đề xuất giải pháp hạn chế ảnh hưởng của KTL trong thiết kế quy hoạch công trình và có ý nghĩa thực tiễn cho công tác PCTT.

Với những nội dung và kết luận như trên, NCS đề xuất 2 kiến nghị như sau:

- (1) Kết quả đánh giá nguy cơ hình thành KTL có tác dụng tốt cho việc cảnh báo sớm tai biến TKL, lựa chọn vị trí tái định cư phù hợp, di dời người dân ra khỏi vùng nguy hiểm. Việc thành lập các bản đồ nguy cơ hình thành phụ thuộc vào tỷ lệ nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu. Đối với luận án này, NCS tập trung phân tích ở mức tỷ lệ 1/200.000. Đối với các nghiên cứu ở tỷ lệ chi tiết hơn cần phân tích với các yếu tố cụ thể hơn như: cấu trúc vỏ phong hóa, nếp uốn, mức độ đập vỡ của đá gốc, thể nằm của đá gốc... Vì vậy, cần tiếp tục nghiên cứu hiện tượng trượt đất đá ở những mức độ chi tiết hơn.
- (2) Hệ thống cảnh báo sớm tai biến trượt đất đá là giải pháp chủ động, đem lại hiệu quả cao, nhưng chưa được đầu tư đầy đủ. Hệ thống cảnh báo sớm tai biến trượt đất đá ở Việt Nam mới chỉ được một số đề tài nghiên cứu áp dụng thử nghiệm một số công nghệ tiên tiến của nước ngoài. Cần có cách tiếp cận phù hợp với điều kiện Việt Nam và đáp ứng độ tin cậy trong thông tin cảnh báo. Vậy nên, cần có nhiều nguồn đầu tư, xã hội hóa việc trang bị các hệ thống cảnh báo sớm tai biến TKL nói riêng và trượt đất đá nói chung.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ LIÊN QUAN

- 1./ Tran Quoc Cuong, Do Minh Duc, Abolfazl Jaafari, Nadhir Al-Ansari, **Dao Minh Duc**, Van Duc Tung, Nguyen Duc Anh, Tran Trung Hieu, Ho Si Lanh, Nguyen Huu Duy, Indra Prakash, Le Van Hiep, Pham Thai Binh (2020). Novel Ensemble Landslide Predictive Models Based on the Hyperpipes Algorithm: A Case Study in the Nam Dam Commune, Vietnam. *Applied Sciences* No.10(11).
- 2./ **Dao Minh Duc**, Tran Quoc Cuong, Do Minh Duc, Dang Thi Thuy (2018). Analysis of pore water pressure and slope displacement by historical rain series in Xin Man district, Ha Giang province, Vietnam. *Proceedings of the 4th International conference Vietgeo 2018*, pages 499-509.
- 3./ **Đào Minh Đức**, Hoàng Hải Yến, Nguyễn Khắc Hoàng Giang, Đinh Thị Quỳnh (2017). Lựa chọn áp lực cố kết và tốc độ cắt phù hợp trong thí nghiệm cắt xoay nhằm xác định sức kháng cắt dư cho đất sườn tích trên khu vực khối trượt lớn chợ Tân Sơn, xã Năm Dân, huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang. *Tuyển tập Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ X, tập 2*, trang 728-738.
- 4./ Do Minh Duc, **Dao Minh Duc**, Do Minh Ngoc (2018). Effects of residual soil characteristics on rainfall-induced shallow landslides along transport arteries in Bac Kan province, Vietnam. *Advances and applications in Geospatial technology and Earth resources - GTER 2017*, pages 202-223.
- 5./ Do Minh Duc, Dang Quang Khang, **Dao Minh Duc**, Do Minh Ngoc, Dinh Thi Quynh, Dang Thi Thuy, Nguyen Khac Hoang Giang, Pham Van Tien, Nguyen Huu Ha (2020). Analysis and modeling of a landslide-induced tsunami-like wave across the Truong river in Quang Nam province, Vietnam. *Landslides*, Vol.17, pages 2329–2341.
- 6./ Saverio Romeo, Quoc Cuong Tran, Giandomenico Mastrantoni, Duc Do Minh, **Duc Dao Minh**, Huy Thang Nguyen, Duc Anh Nguyen, Paolo Mazzanti (2020). Remote monitoring of natural slopes: insights from the first terrestrial insar campaign in Vietnam. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, No.20(1), pages 55-63.
- 7./ Tran Van Tu, **Dao Minh Duc**, Nguyen Mạnh Tung, Van Duy Cong (2016). Preliminary assessments of debris flow hazard in relation to geological environment changes in mountainous regions, North Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, Vol.38, pages 277-286.
- 8./ Tran Van Tu, **Dao Minh Duc**, Nguyen Manh Tung, Van Duy Cong (2015). Formation and development of debris flows in Vietnam. *VietRock 2015 International symposium – Rock mechanics for sustainable development*, pages 259-272.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. David Milne Cruden & David John Varnes (1996). *Landslide types and processes*. Special report, transportation research board, national academy of sciences, pages 36-75.
2. Federico Agliardi, Giovanni Crosta, Paolo Frattini (2012). *Slow rock-slope deformation*. Landslides: types, mechanisms and modeling, pages 207-221.
3. Chia Ming Lo (2017). *Evolution of deep-seated landslide at Putanpunas stream, Taiwan*. Geomatics, natural hazards and risk, Taylor & Francis, Vol.8(2), pages 1204-1224.
4. Joshua Roering, James Kirchner, William Dietrich (2005). *Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA*. Geological society of america bulletin, Vol 117, pages 654-668.
5. Kyoji Sassa (2007). *Landslide Science as a New scientific discipline*. Progress in Landslide Science, pages 3-11. Springer.
6. Vladimir Lômtdze (1979). Thạc luận công trình- tập I; Địa chất động lực công trình- tập II. *Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp. Hà Nội (Bản dịch tiếng Việt)*.
7. German Postoev (2010). *Main characteristics and features of landslides*. Geoecology, No. 2, pages 140-148.
8. Robin Fell, (1994). *Landslide risk assessment and acceptable risk*, Canadian geotechnical journal, Vol.(31), pages 261-272.
9. Jaboyedoff Michel, Carrea Dario, Derron Marc-Henri, Oppikofer Thierry, Penna Ivanna Marina, Rudaz Benjamin (2020). *A review of methods used to estimate initial landslide failure surface depths and volumes*. Engineering Geology Journal Pre-proof.
10. Luis Fauque, Pablo Tchilinguirian (2002). Villavil rockslides, Catamarca province, Argentina. Catastrophic landslides: effects, occurrence and mechanisms, pages 303-324.
11. Peter Bobrowsky, David Huntley, Peter Neelands, Roger Macleod (2017). *Ripley landslide – Canada’s premier landslide field laboratory*. Conference: GSA annual meeting in Seattle, Washington, USA – 2017, Session No.118, pages 38-52.
12. Hakan Tanyas, Cees Van Westen, Kate Allstadt, Randall Jibson (2019). *Factors controlling landslide frequency-area distributions*. Earth surface processes and landforms - Wiley Vol 44(4), pages 900-917.
13. Federico Agliardi, Giovanni Crosta, Zanchi (2001). *Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics*. Engineering geology, Vol.59, pages 83 –102.
14. Paola Reichenbach, Mauro Rossi, Bruce Malamud, Monika Mihir, Fausto Guzzetti (2018). *A review of statistically-based landslide susceptibility models*. Earth science reviews, Vol(180), pages 60-91.
15. Stephen Evan (2002). *Catastrophic landslide: effects, occurrences and mechanism*. Reviews in engineering geology. Vol(15).

16. Melanie Froude, David Petley (2018). *Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016*. Natural hazards earth system sciences, Vol(18), pages 2161–2181.
17. Yueping Yin, Bolin Huang, Wenpei Wang, Yunjie Wei, Xiaohan Ma, Fei Ma, Changjun Zhao (2016). *Reservoir-induced landslides and risk control in Three Gorges Project on Yangtze River, China*. Journal of Rock mechanics and Geotechnical engineering Vol.8(5), pages 577-595.
18. Serge Leroueil (2001). *Natural slopes and cut: movement and failure mechanisms*. Geotechnique, Vol.51(3), pages 197-243.
19. Tsunaki Ryosuke (2002). *Landslide in Japan*. Japan landslide society – Nation conference of landslide control.
20. Tazio Strozzi, Christina Ambrosi, Hugo Raetzo (2013). *Interpretation of Aerial Photographs and Satellite SAR Interferometry for the Inventory of Landslides*. Remote Sensing, Vol. 5(5), pages 2554-2570.
21. Chi Wen Chen, Hongey Chen, Takashi Oguchi (2016). *Distributions of landslides, vegetation, and related sediment yields during typhoon events in northwestern Taiwan*. Geomorphology Vol.273, pages 51–63.
22. Fausto Guzzetti, Alberto Carrara, Mauro Cardinali, Paola Reichenbach (1999). *Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy*. Geomorphology, Vol.31(1), pages 181-216.
23. Jordi Corominas, Cees Van Westen, Paolo Frattini, Federico Agliardi, Mike Winter, Veronica Tofani, Jeremy Smith (2014). *Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk*. Bulletin of engineering geology and environment, Vol.(73), pages 209-263.
24. Leulalem Shano, Tarun Kumar Raghuvanshi, Matebie Meten (2020). *Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques – a review*. Geoenvironmental disasters, Vol.7(18).
25. Gemechis Chimidi, Tarun Kumar Raghuvanshi, Suryabhadgavan (2017). *Landslide hazard evaluation and zonation in and around Gimbi town, western Ethiopia—a GIS-based statistical approach*. Appl Geomat, Vol.9, pages 219–236.
26. Richard Wilson, David Keefer (1985). *Predicting areal limits of earthquake-induced landsliding, in Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region - An Earth-Science Perspective*, U.S. geological survey professional paper, Vol.1360, pages 316- 345.
27. Saro Lee, Touch Sambath (2006). *Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models*. Environmental geology, Vol.50, pages 847–855.
28. Majid Mohammady, Hamid Reza Pourghasemi, Biswajeet Pradhan (2012). *Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights of evidence models*. Journal Asian earth science, Vol.61, pages 221-236.
29. Pham Thai Binh, Jaafari Abolfazl, Prakash Indra, Bui Tien Dieu (2019). *A novel hybrid intelligent model of support vector machines and the MultiBoost ensemble for landslide susceptibility modeling*. Bulletin of Engineering geology and the Environment, Vol.78(4), pages 2865-2886.

30. Giovanni Crosta, Paolo Frattini, Silvia Imposimato, Dennis Roddeman (2007). *2D and 3D numerical modeling of long runout landslides—the Vajont case study*. Landslides: from mapping to loss and risk estimation. IUSS Press, Pavia, pages 15–24.
31. Doug Stead, Erik Eberhardt (2013). *Understanding the mechanics of large landslides*. Italian journal of Engineering geology and Environment book series, Vol.(6).
32. Dianne Brien, Mark Reid (2008). *Assessing deep-seated landslide susceptibility using 3-D groundwater and slope-stability analyses, southwestern Seattle, Washington*. The geological society of America, reviews in engineering geology XX.
33. Gerald Wieczorek, James Snyder, (1999). *Rock falls from Glacier Point above Camp Curry, Yosemite National Park, California*. U.S. Geological survey open-file report, pages 99-385.
34. Stephen Evans, Oldrich Hungr, Enegren (1994). *The Avalanche Lake rock avalanche, Mackenzie Mountains, Northwest Territories, Canada*. Canadian geotechnical journal, Vol. 31, pages 749-768.
35. Oldrich Hungr (1995). *A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches*. Canadian geotechnical journal 32(4).
36. Hiromu Moriwaki, Takashi Inokuchi, Tsuyoshi Hattanji, Kyoji Sassa, Hirotaka Ochiai, Gonghui Wang (2004). *Failure processes in a full-scale landslide experiment using a rainfall simulator*. Landslides, Vol.1, pages 277–288.
37. Ivo Baroň, Robert Supper (2013). *Application and reliability of techniques for landslide site investigation, monitoring and early warning; outcomes from a questionnaire study*. Natural hazards earth system science, Vol.13(12), pages 3157-3168.
38. Claudie Carnec, Cock King, Didier Massonnet, (1995). *Measurement of land subsidence by means of differential SAR interferometry*. Proceeding 5th Internaitonal symposium on land subsidence (FISOLS95), pages 139 – 148.
39. Đinh Văn Toàn (2016). *Khảo sát nghiên cứu chi tiết hiện tượng trượt lở, nứt đất khu vực đồi Ông Tượng, thành phố Hòa Bình, tỉnh Hòa Bình*. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN tỉnh Hòa Bình, Viện Địa chất.
40. Nguyễn Văn Hùng (2002). *Một số đặc điểm đứt gãy tân kiến tạo vùng Tây Bắc Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Địa chất.
41. Lê Thị Nghinh (2004). *Nghiên cứu đánh giá trượt lở các tỉnh miền núi phía Bắc*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Địa chất.
42. Vũ Văn Chinh (2011). *Nghiên cứu đánh giá vai trò cấu trúc địa chất và chuyển động Tân kiến tạo đối với tai biến nứt, trượt lở dọc quốc lộ 6 và đề xuất giải pháp khắc phục*. Báo cáo Đề tài KHCN cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Viện Địa chất.
43. Phan Trọng Trịnh (2015). *Nghiên cứu hoạt động địa động lực hiện đại khu vực Tây Nguyên phục vụ dự báo các dạng tai biến địa chất ở các vùng đập, hồ chứa và đề xuất các giải pháp phòng tránh*. Báo cáo tổng kết đề tài mã số: TN3-T06. Chương trình Tây Nguyên 3, Viện Địa chất.

44. Chu Văn Ngợi, Nguyễn Thị Thu Hà (2008). *Đánh giá nguy cơ tai biến trượt lở dọc tuyến đường 4D trên cơ sở nghiên cứu mối quan hệ giữa cấu trúc địa chất và địa hình*. Tạp chí Địa chất, số 305.
45. Trần Tân Văn (2006). *Nghiên cứu, đánh giá điều kiện địa chất, kiến tạo và các yếu tố liên quan đến tai biến địa chất, môi trường dọc một số đoạn trên tuyến đường Hồ Chí Minh*. Báo cáo tổng kết dự án. Lưu trữ Địa chất, Hà Nội.
46. Ngô Quang Toàn (2000). *Vỏ phong hóa và trầm tích đệ tứ Việt Nam*, Liên đoàn bản đồ địa chất miền Bắc.
47. Nguyễn Sỹ Ngọc (2006). *Các yếu tố ảnh hưởng tới ổn định bờ dốc ở Việt Nam*. Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học toàn quốc lần thứ 5. Hội Cơ học đá Việt Nam.
48. Vương Văn Thành, Nguyễn Văn Tá, Nguyễn Văn Dũng (2006). *Đặc điểm và nhân tố ảnh hưởng đến quá trình trượt khu vực thị xã Lai Châu*. Tạp chí Xây dựng số 8, trang 26-38.
49. Phạm Hữu Sy (2010). *Sự cố trượt mái mở đá ĐIII của công trình thủy điện Bản Vẽ, phân tích nguyên nhân và bài học kinh nghiệm*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường.
50. Phạm Quang Sơn (2015). *Nghiên cứu ứng dụng ảnh vệ tinh VNREDSat-1 và tương đương trong điều tra, dự báo và đánh giá các tai biến địa chất các công trình hồ thủy điện và đường giao thông các tỉnh khu vực Tây Bắc*. Đề tài Khoa học Công nghệ Vũ trụ 2012-2015, Mã số UD-03/12-15.
51. Do Minh Duc, Dang Quang Khang, Dao Minh Duc, Do Minh Ngoc, Dinh Thi Quynh, Dang Thi Thuy, Nguyen Khac Hoang Giang, Pham Van Tien, Nguyen Huu Ha (2020). Analysis and modeling of a landslide-induced tsunami-like wave across the Truong river in Quang Nam province, Vietnam. Landslides, Vol.17, pages 2329–2341.
52. Vũ Cao Minh (1996). *Nghiên cứu dự báo trượt lở, lũ quét - lũ bùn đá và các giải pháp phòng chống (giai đoạn II)*, Đề tài khoa học công nghệ, Viện Địa chất.
53. Nguyễn Trọng Yên (1998). *Điều tra đánh giá sự cố môi trường quan trọng và kiến nghị giải pháp phòng tránh, giảm nhẹ thiên tai nhằm phát triển kinh tế xã hội vùng Tây Bắc*. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ, Viện các Khoa học về Trái đất.
54. Vũ Cao Minh (2000). *Nghiên cứu thiên tai trượt lở ở Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Địa chất.
55. Trần Trọng Huệ (2004). *Nghiên cứu đánh giá tổng hợp các loại hình tai biến địa chất trên lãnh thổ Việt Nam và các giải pháp phòng tránh (giai đoạn II - Các tỉnh miền núi phía Bắc)*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Địa chất.
56. Nguyễn Trọng Yên (2006). *Nghiên cứu xây dựng bản đồ phân vùng tai biến môi trường tự nhiên lãnh thổ Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài, Viện Địa chất.
57. Nguyễn Quốc Thành (2015). *Nghiên cứu bổ sung, xây dựng và xuất bản bộ bản đồ các tai biến thiên nhiên phân đất liền Việt Nam trên cơ sở kết quả nghiên cứu từ năm 2000 đến nay*. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp nhà nước mã số KC.08.28/11-15, Viện Địa chất.

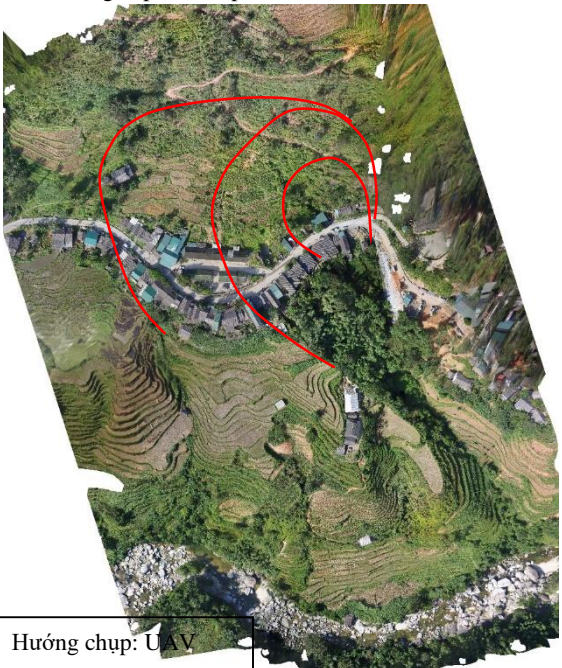
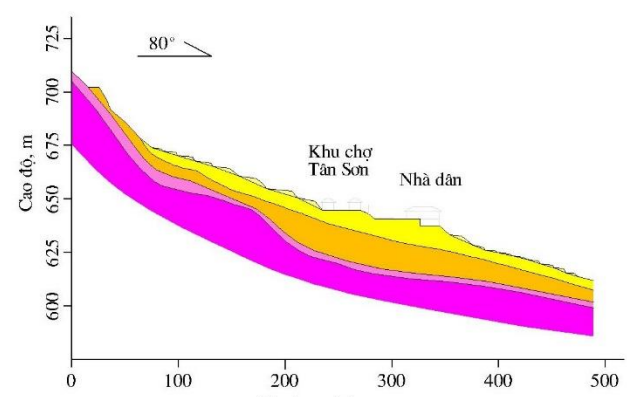
58. Nguyễn Thị Thanh Nhân (2014). *Nghiên cứu hiện tượng dịch chuyển đất đá trên sườn dốc vùng đồi núi Quảng Trị - Thừa Thiên Huế, đề xuất phương pháp dự báo và phòng chống phù hợp*. Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Mở - Địa chất.
59. Mai Thành Tân (2015). *Nghiên cứu đánh giá nguy cơ trượt lở đất khu vực xã Đồng Bằng, huyện Mai Châu, tỉnh Hòa Bình và đề xuất các giải pháp phòng tránh*. Báo cáo tổng kết nhiệm vụ phát sinh địa phương, Viện Địa chất.
60. Đào Văn Thịnh (2018). *Nghiên cứu đề xuất các giải pháp nhằm giảm thiểu các tác động đến một số điểm dân cư có nguy cơ sạt lở đất, lũ ống, lũ quét trên địa bàn tỉnh Sơn La*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp tỉnh, Viện Địa chất và trường.
61. Bui Tien Dieu, Lofman Owe, Revhaug Inge, Oystein Dick (2011). *Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression*. Natural hazards, Vol.59(3), pages 1413-1426.
62. Trần Anh Tuấn, Nguyễn Tứ Dân (2012). *Nghiên cứu nhạy cảm và phân vùng nguy cơ trượt lở đất khu vực hồ thủy điện Sơn La theo phương pháp phân tích cấp bậc Saaty*. Vietnam journal of Earth sciences, Vol.34(3), pages 223-232.
63. Bui Tien Dieu, Ho Tien Chung, Pradhan Biswajeet, Pham Thai Binh, Nhu Viet Ha, Inge Revhaug (2016). *GIS-based modeling of rainfall-induced landslides using data mining-based functional trees classifier with AdaBoost, Bagging, and MultiBoost ensemble frameworks*. Environmental earth sciences, Vol.75(14), pages 1101-1116.
64. Pham Thai Binh, Bui Tien Dieu, Pham Viet Ha, Le Quoc Hung, Indra Prakash, Dholakia M.B. (2017). *Landslide Hazard Assessment Using Random SubSpace Fuzzy Rules Based Classifier Ensemble and Probability Analysis of Rainfall Data: A Case Study at Mu Cang Chai District, Yen Bai Province (Viet Nam)*. Journal of the Indian society of Remote sensing, Vol.45(4), pages 673-683.
65. Nguyen Chau Lan, Pham Van Tien, Do Tuan Nghia (2019). *Deep-seated rainfall-induced landslides on a new expressway: a case study in Vietnam*. Landslides Vol.17, pages 395–407.
66. Đỗ Minh Đức (2006). *Ảnh hưởng của mưa lớn đến độ ổn định mái dốc đất tàn tích (lấy ví dụ tuyến đường thị xã Bắc Kạn - Chợ Đồn)*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mở - Địa chất.
67. Nguyễn Văn Hoàng, Ứng Quốc Khang (2011). *Mô hình thấm nước mưa phục vụ phân tích ổn định sườn dốc khu vực thị trấn Cốc Pài huyện Xín Mần tỉnh Hà Giang*. Tạp chí các Khoa học Trái đất, số 32(1), trang 78-84.
68. Đỗ Quang Thiên, Nguyễn Đức Lý (2013). *Nhận định về tai biến trượt lở đất đá dọc tuyến đường Hồ Chí Minh đoạn từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế*. Tạp chí các Khoa học Trái đất, số 35(3), trang 230-240.
69. Mai Thành Tân (2015). *Phân tích tương quan giữa trượt lở đất với lượng mưa khu vực Mai Châu- Hòa Bình*. Tạp chí các KHCN ĐHQGHN: Các khoa học Trái đất và Môi trường, số 31(4), trang 51-63.
70. Đỗ Minh Đức (2018). *Trượt đất đá: nghiên cứu tai biến và ổn định mái dốc*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia.
71. Do Minh Duc (2013). *Rainfall-triggered large landslides on 15 December 2005 in Van Canh District, Binh Dinh Province, Vietnam*. Landslides, Vol.10(2), pages 219-230.

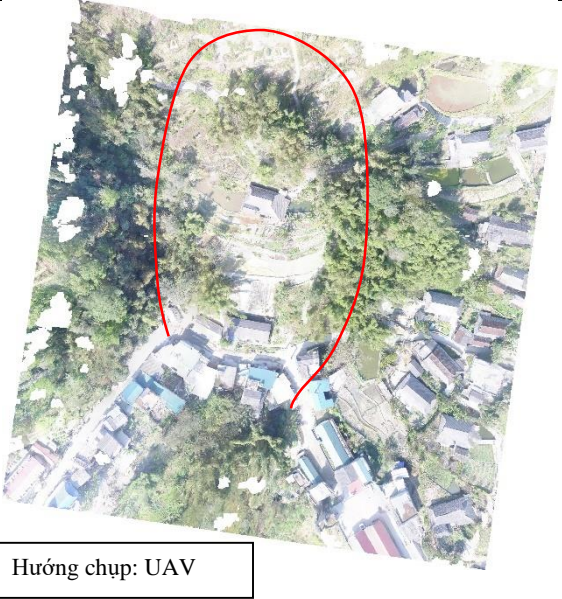
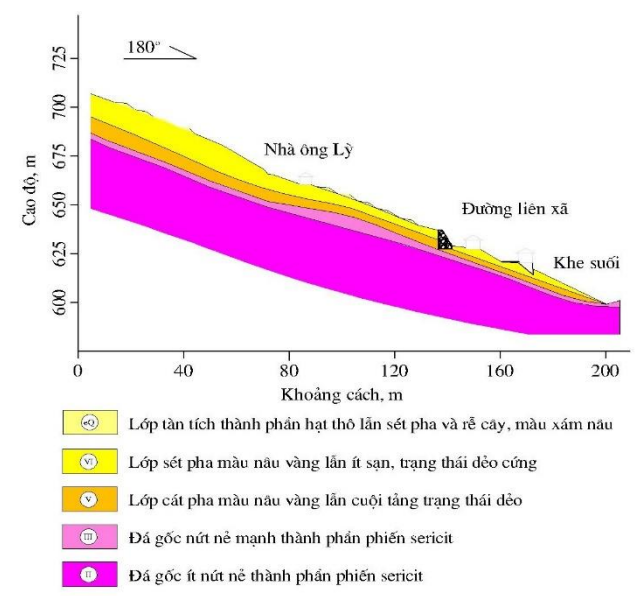

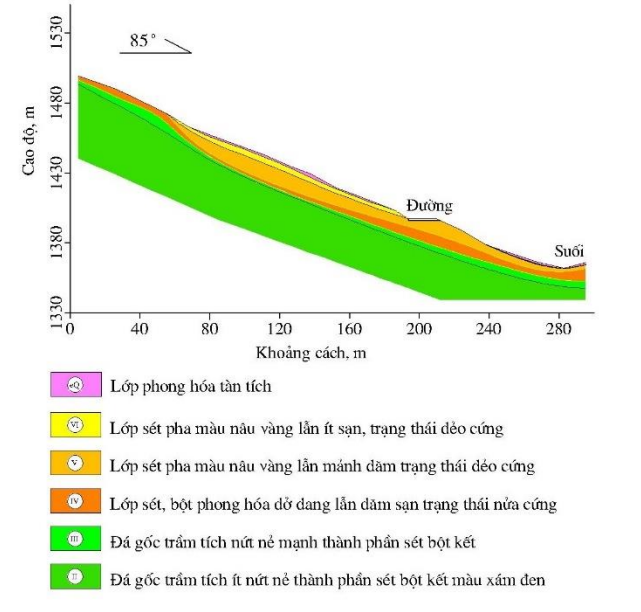
72. Do Minh Duc, Dao Minh Duc, Do Minh Ngoc (2018). *Effects of Residual Soil Characteristics on Rainfall-Induced Shallow Landslides Along Transport Arteries in Bac Kan Province, Vietnam*. Advances and applications in geospatial technology and earth resources, pages 202-223.
73. Doan Huy Loi, Lam Huu Quang, Kyoji Sassa, Kaoru Takara, Dang Quang Khang, Nguyen Kim Thanh, Pham Van Tien (2017). *The 28 July 2015 rapid landslide at Ha Long City, Quang Ninh, Vietnam*. Landslides Vol.14(3), pages 1207-1215.
74. Nguyễn Quốc Thành (2008). *Nghiên cứu xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt đất ở các vùng trọng điểm (khu vực thành phố Hoà Bình)*. Báo cáo tổng kết đề tài khoa học công nghệ, Viện Địa chất.
75. Trần Trọng Huệ (2010). *Nghiên cứu đánh giá và dự báo chi tiết hiện tượng trượt lở và xây dựng các giải pháp phòng chống cho thị trấn Cốc Pài huyện Xín Mần tỉnh Hà Giang*. Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp nhà nước mã số KC.08.33/06-10, Viện Địa chất.
76. Gian Quoc Anh, Tran Duc Tan, Nguyen Dinh Chinh, Nhu Viet Ha, Bui Tien Dieu (2017). *Design and implementation of site-specific rainfall-induced landslide early warning and monitoring system: a case study at Nam Dan landslide (Vietnam)*. Geomatics, natural hazards and risk, Taylor & Francis, Vol.8(2), pages 1978-1996.
77. Hoàng Tụy (1987). *Phân tích hệ thống và ứng dụng*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
78. Gareth Hearn (2011). *Slope materials, landslide causes and landslide mechanisms*. Geological society, Engineering geology special publications, London, Vol.24(1), pages 15–57.
79. Bùi Tiên Diệu (2016). *Xây dựng mô hình số bề mặt và bản đồ trực ảnh sử dụng công nghệ đo ảnh máy bay không người lái (UAV)*. Hội nghị Khoa học: Đo đạc Bản đồ với ứng phó biến đổi khí hậu.
80. Bùi Ngọc Quý & Phạm Văn Hiệp (2017). *Nghiên cứu xây dựng mô hình 3D từ dữ liệu ảnh máy bay không người lái (UAV)*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 58(4).
81. Nguyễn Văn Tuấn (2016). *Phân tích dữ liệu với R*. NXB tổng hợp thành phố Hồ Chí Minh.
82. Saverio Romeo, Giandomenico Mastrantoni, Tran Quoc Cuong, Do Minh Duc, Dao Minh Duc, Nguyen Huy Thang, Nguyen Duc Anh, Paolo Mazzanti (2020). *Remote monitoring of natural slopes: insights from the first terrestrial InSar campaign in Vietnam*. Italian journal of Engineering geology and Environment, Vol.20(1), pages 55-63.
83. Delwyn Fredlund, Nornert Morgenstern, Alexander Widger (1978). *Shear strength of unsaturated soils*. Canadian Geotechnical Journal, Vol.15, pages 313–321.
84. Alec Skempton (1954). *The pore pressure coefficients A and B*, Geotechnique Vol.4, pages 143-147.
85. Kyoji Sassa (1988). *Geotechnical model for the motion of landslides*. Proceedings of 5th ISL, pages 37–55.


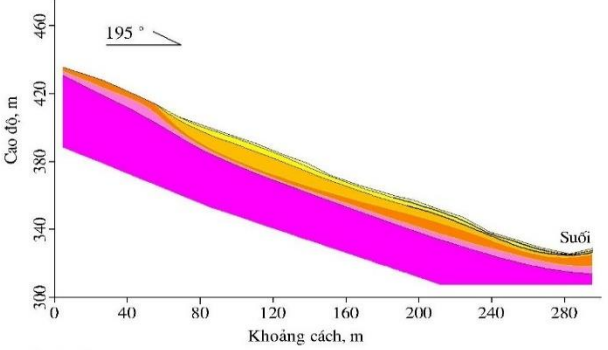

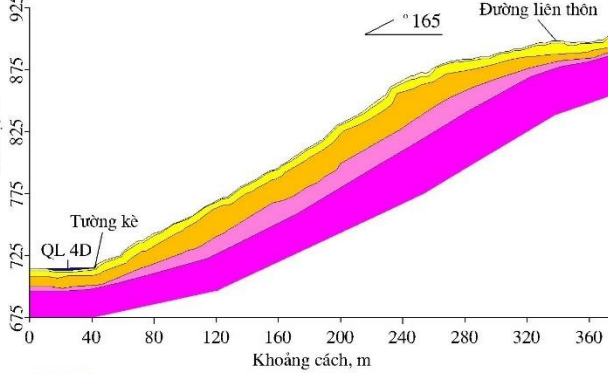
86. Kyoji Sassa, Toyohiko Miyagi, Michal Strasser, Kazuo Konagai, Maja Ostric, Hendy Setiawan, Kaoru Takara, Osamu Nagai, Yoichi Yamashiki, Tutumi (2012). *A hypothesis of the Senoumi submarine megaslide in Suruga Bay in Japan - based on the undrained dynamic-loading ring shear tests and computer simulation*. Landslides Vol.9(4), pages 439–455.
87. Kyoji Sassa, Osamu Nagai, Renato Solidum, Yoichi Yamazaki, Hidemasa Ohta (2010). *An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide*. Landslides Vol.7(3), pages 219–236.
88. Nguyễn Quang Huy (2017). *Nghiên cứu đánh giá nguy cơ trượt đất và luận chứng hệ thống quan trắc phục vụ cảnh báo tai biến trượt đất cho khu vực Tây Nam tỉnh Hà Giang*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, chuyên ngành Địa chất công trình.
89. Lê Quốc Hùng (2016). *Báo cáo kết quả điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000*. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản.
90. Lê Đức An, Uông Đình Khanh (2011). *Địa mạo Việt Nam: Cấu trúc - Tài nguyên - Môi trường*. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ.
91. Đặng Văn Bào, Nguyễn Hiệu (2006). *Một số dạng tai biến thiên nhiên ở Việt Nam và cảnh báo chúng trên cơ sở địa mạo*. Tạp chí Khoa học, ĐHQG Hà Nội, số 22, trang 12-23.
92. Trần Thanh Hà (2013). *Quan hệ giữa địa mạo và trượt lở đất tại tỉnh Lào Cai*. Tạp chí các KHCN ĐHQGHN: Các khoa học Trái đất và Môi trường, số 29(3), trang 35-44.
93. Mai Văn Khiêm (2015). *Nghiên cứu xây dựng Atlas khí hậu và biến đổi khí hậu Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài Khoa học công nghệ cấp Quốc gia, Mã số BDKH- 17, Viện Khoa học Khí tượng thủy văn và Biến đổi khí hậu.
94. Saito (1969) *Forecasting time of slope failure by tertiary creep*. Proceedings, 7th International conference on soil mechanics and foundation engineering, Mexico City, pages 677–683
95. Đỗ Minh Đức (2020). *Nghiên cứu dự báo nguy cơ tai biến trượt lở mái dốc dọc các tuyến giao thông trọng điểm miền núi tỉnh Quảng Nam và đề xuất giải pháp ứng phó*. Đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.CN- 23/17. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội.
96. Jordi Corominas (1996). *The angle of reach as mobility index for small and large landslides*. Canadian geotechnical journal Vol.33, pages 260–271.
97. Dieter Rickenmann (2005). *Runout prediction methods*. Debris-flow Hazards and Related Phenomena, Springer, pages 305-324.
98. Graziella Devoli, De Blasio Fabio, Anders Elverhøi, Kaare Høeg (2009). *Statistical analysis of landslide events in central America and their run-out distance*. Geotechnical and geological engineering, Vol.27(1), pages 23-42.

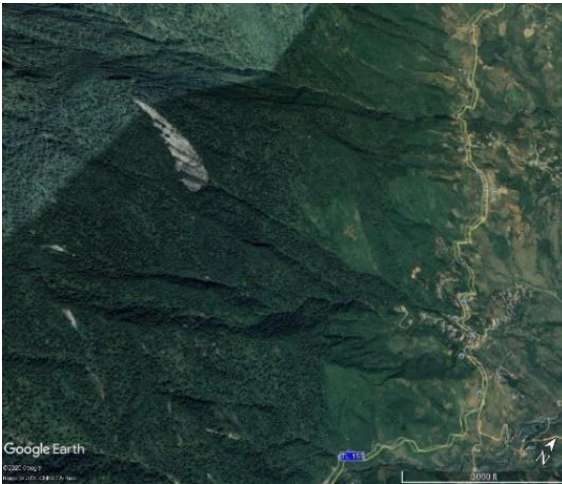
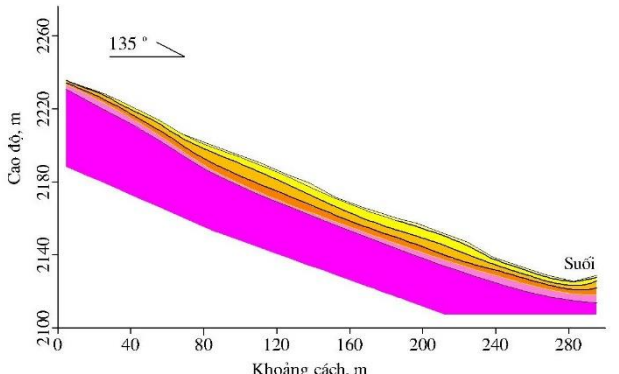

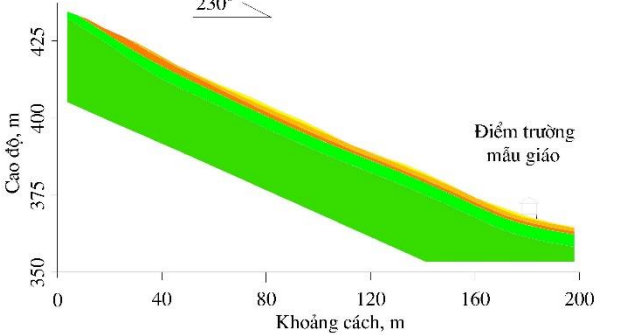
PHỤ LỤC


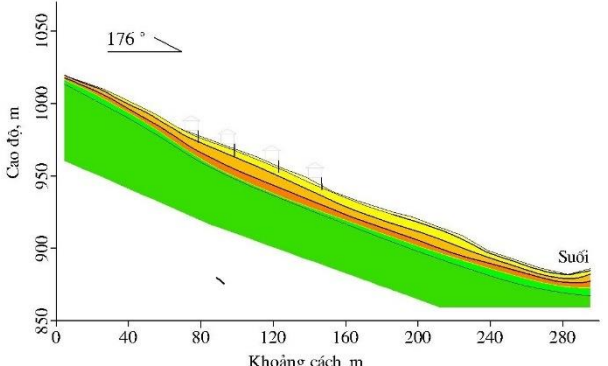

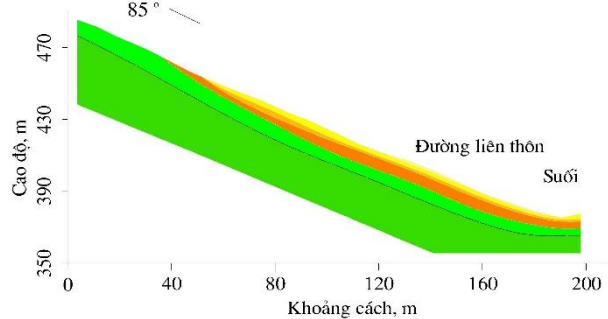
Phụ lục 1: Đặc điểm hiện trạng một số KTL ở MNPB do NCS đo vẽ, khảo sát


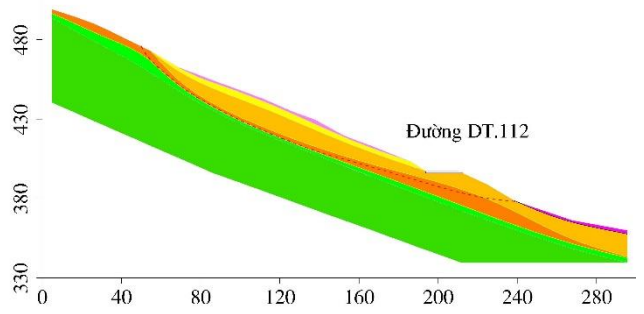

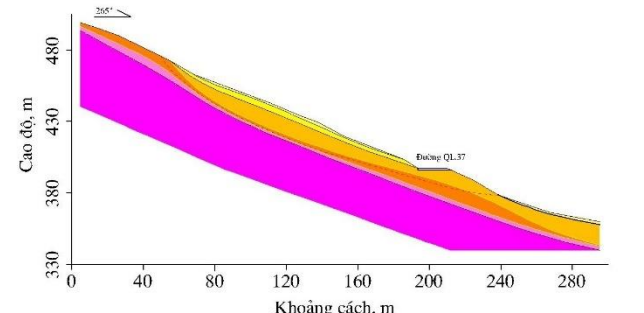
Ký hiệu	Vị trí	Đặc điểm	Diễn biến - Ảnh chụp hiện trạng	Mặt cắt
1	Chợ Tân Sơn, xã Năm Dăn Tọa độ: 22°36'38,95" - 104°29'5,88"	<p><i>Kích thước KTL:</i> có chiều dài L ~ 150 m, rộng W ~ 125 m, cao H ~ 60 m <i>Thể tích:</i> 122.270m³ <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm, địa hình khu vực khối trượt khá phức tạp được chia làm nhiều bậc khác nhau, phía trên đỉnh khối trượt là một mặt san bằng tập trung nước mưa, phía dưới là địa hình dốc khoảng 25°, dưới chân là khe suối cạn chỉ khi có mưa mới xuất hiện nước chảy. Vách trượt đã xuất hiện đá gốc có thể nằm 315°/25° ngược với hướng dịch chuyển của mặt trượt.</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm và vẫn còn tiềm ẩn nguy cơ trượt tiếp</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 12m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh.</p> <p><i>Thành phần thạch học:</i> Đá gốc là đá biến chất bị ép phiến mạnh, thành phần gồm granit 2 mica, granit muscovit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, cấu tạo dạng gneis hay cấu tạo khối. Vật liệu VPH chủ yếu có thành phần hạt có kích thước nhỏ, cát hạt trung, cát pha, sét pha màu xám vàng, nâu, chiều dày trung bình > 10m.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> Tại vị trí vách trượt thường xuyên khô nhưng khi có mưa lớn, nước mưa đổ dồn về vị trí vách trượt tạo thành dòng mặt xói bề mặt địa hình và mở rộng các rãnh xói đã có từ trước.</p>	<p>Khoảng cuối tháng 7 năm 2012 mưa lớn kéo dài khoảng 1 tuần, nước trên đường không thoát được dẫn tới hiện tượng sụt lún đất. Tháng 8/2013 mưa lớn tiếp tục gây dịch chuyển nghiêm trọng khiến 5 hộ phải chuyển nhà đi nơi khác, nền nhà đã lún sâu so với mặt đường là 1,5m. Nền chợ và một số cột chống của chợ bị dịch chuyển làm hư hỏng gần như hoàn toàn góc phía bên phải của khu chợ Tân Sơn.</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p>	 <p>Cao độ, m</p> <p>Khu chợ Tân Sơn Nhà dân</p> <p>Khoảng cách, m</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu ② Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ③ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ④ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần granit 2 mica, granit muscovit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa, đôi khi dạng porphyr ⑤ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần granit 2 mica, granit muscovit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa, đôi khi dạng porphyr
2	Thôn Thượng, xã Bản Díu Tọa độ:	<p><i>Kích thước KTL:</i> có chiều dài L ~ 150 m, rộng W ~ 50 m, cao H ~ 50 m <i>Thể tích:</i> 30.160m³ <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm.</p>	<p>Khối trượt nằm ở vị trí trung tâm xã Bản Díu, trước đây đã dịch chuyển ảnh hưởng tới một số hộ dân phía dưới chân khối trượt và khu nhà của giáo viên trường tiểu học Bản Díu. Vách trượt nằm khu vực phía sau nhà ông Vương Văn Lý, vị trí có 1 bụi tre to đã bị sụt xuống đường rất rõ, cây cối trên sườn nghiêng đổ.</p>	


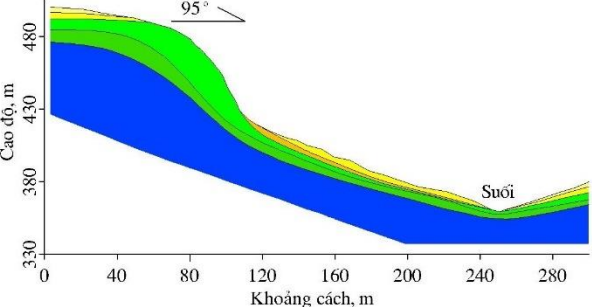
<p>22°44'49,71" - 104°33'7,23"</p>	<p>Kiểu trượt: trượt tịnh tiến với tốc độ trượt chậm vẫn tiềm ẩn nguy cơ trượt tiếp Mặt trượt: ở độ sâu 9m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. Thành phần thạch học: Đá gốc là đá biến chất ép phiến mạnh, thành phần chủ yếu là granit 2 mica, granit muscovit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, cấu tạo dạng gneis. Vật liệu lớp phong hóa hoàn toàn có thành phần hạt có kích thước nhỏ, cát hạt trung, cát pha, sét pha màu xám vàng, lẫn cuội tảng. Điều kiện thủy văn: Tại vị trí vách trượt thường xuyên ẩm ướt nhưng khi có mưa lớn, nước xuất lộ cả trên mặt đất, qua rễ cây tre. Hai bên khối trượt có khe nước nhỏ, chảy thường xuyên. Thảm phủ thực vật: phủ trên thân khối trượt chủ yếu là cây bụi, gần sát với khe suối có vài bụi tre lớn.</p>	 <p>Hướng chụp: UAV</p>	 <p>180°</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <ul style="list-style-type: none"> Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tảng trạng thái dẻo Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần phiến sericit Đá gốc ít nứt nẻ thành phần phiến sericit
<p>3</p> <p>Cổng trời, đèo Ma Thi Hồ, Mường Chà, Điện Biên</p> <p>Tọa độ: 21°51'59,28"- 103° 7'34,15"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 250 m, rộng W ~ 260 m, cao H ~ 80 m, Thể tích: 510.000m³ Kiểu trượt: trượt tịnh tiến với tốc độ nhanh Mặt trượt: ở độ sâu 12m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng. Kiểu trượt: trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá trung bình Thành phần thạch học: Đá gốc là phiến sét đen, đá phiến bột kết hạt nhỏ đến vừa thuộc hệ tầng Lai Châu, lớp phong hóa hoàn toàn có thành phần sét pha lẫn ít dăm sạn màu nâu đỏ trạng thái dẻo cứng. Điều kiện thủy văn: dưới chân sườn dốc có khe suối lớn chảy ngang qua, trên bề mặt thân KTL xuất hiện nhiều rãnh xói nhỏ chia cắt tạo thành nhiều khối trượt nhỏ vẫn còn tiềm ẩn nguy cơ trượt tiếp. Thảm phủ thực vật: cây bụi nhỏ</p>	<p>Đoạn đường đèo Ma Thi Hồ xuất hiện khối trượt đầu tiên vào năm 2010, đến 2018 thì KTL mở rộng và trượt cả 2 bậc đường QL12 nên phải nằm tuyến không đi qua KTL nữa.</p>  <p>Hướng chụp: 240°</p>	 <p>85°</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <ul style="list-style-type: none"> Lớp phong hóa tàn tích Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn trạng thái nửa cứng Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần sét bột kết Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ thành phần sét bột kết màu xám đen


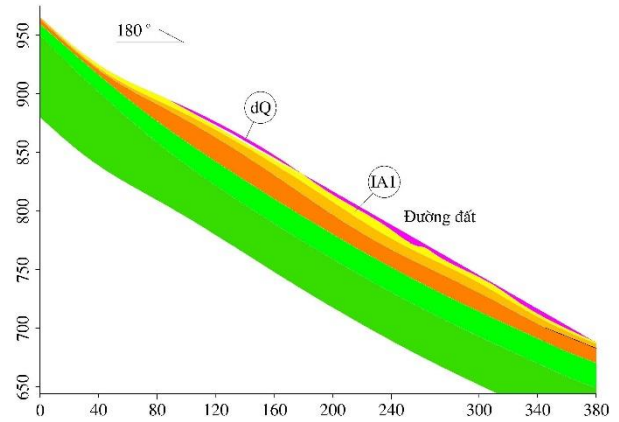

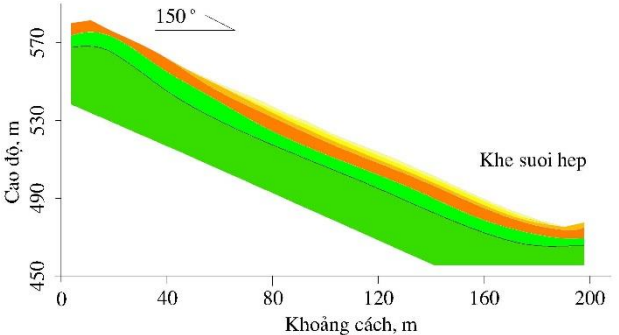
<p>4</p>	<p>Xã Nậm Lức, huyện Bắc Hà, Lào Cai</p> <p>Tọa độ: 22°26'2,16" - 104°23'35,72"</p>	<p>Kích thước KTL: KTL dài L ~ 160 m, rộng W ~ 150 m, cao H = 65 m Thể tích: 180.000m³ Kiểu trượt: trượt tịnh tiến trên bề mặt đá, tốc độ trượt nhanh Mặt trượt: ở độ sâu 15m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu. Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm. Thành phần đá gốc: đá gốc thuộc phức hệ sông Chảy thành phần gồm granit diorit. Điều kiện thủy văn: phía dưới chân khối trượt có khe suối nhỏ ngang qua. Thảm phủ thực vật: khối trượt nằm trong khu vực rừng được phủ thảm thực vật dày.</p>	<p>Nửa đêm về sáng ngày 31/8/2012 khu vực Nậm Lức, Bắc Hà, lượng mưa cục bộ lên tới trên 200mm kéo dài trong nhiều giờ. KTL kết hợp với dòng nước gây ra dòng lũ bùn đá làm 13 người bị chết và mất tích; gây hư hỏng 20 ngôi nhà và 6km đường giao thông liên thôn.</p>  <p>Hướng chụp: 340°</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓔ Lớp phong hóa tàn tích Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng Ⓥ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn trạng thái nửa cứng Ⓜ Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần sét bột kết Ⓜ Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ thành phần sét bột kết màu xám đen
<p>5</p>	<p>Cầu Móng Sến, xã Trung Chải, SaPa, Lào Cai</p> <p>Tọa độ: 22°24'53,44" - 103°53'58,75"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 225 m, rộng W ~ 160 m, cao H ~ 90 m Thể tích: 150.000m³ Kiểu trượt: trượt hỗn hợp với tốc độ chậm thành nhiều đợt không liên tục, xu hướng mở rộng khối trượt vẫn diễn ra tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định. Mặt trượt: ở độ sâu 19m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm. Thành phần đá gốc: Đá granit-gneis màu xám xanh rất cứng chắc thuộc phức hệ Po Sen. Điều kiện thủy văn: phía dưới chân khối trượt xuất hiện khe suối nhỏ chạy qua và đường giao thông phía dưới chân khối trượt. Thảm phủ thực vật: chủ yếu là cây bụi</p>	<p>Ngày 24/07/1998 đã xảy ra TKL lần đầu làm 8 người chết, 7 người bị thương, 3 hộ gia đình bị thiệt hại toàn bộ nhà và tài sản. 3h sáng ngày 09/09/2004, KTL lại một lần nữa trượt xuống vùi lấp 01 ngôi nhà và làm mất tích hai người.</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓔ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám vàng Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn sạn Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh vụn đá trạng thái cứng Ⓜ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần granite, granit diorit Ⓜ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần granite, granit diorit


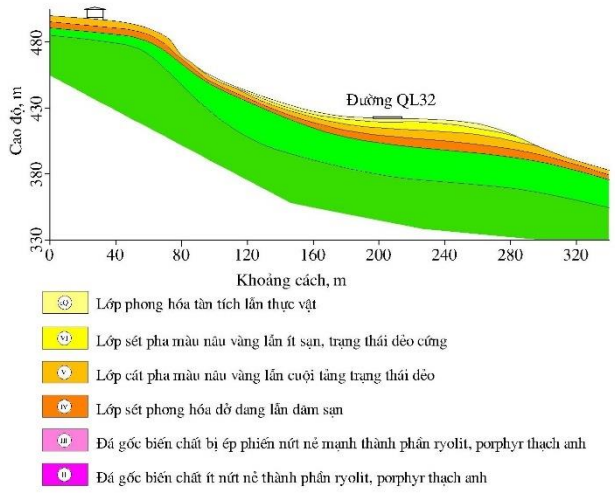

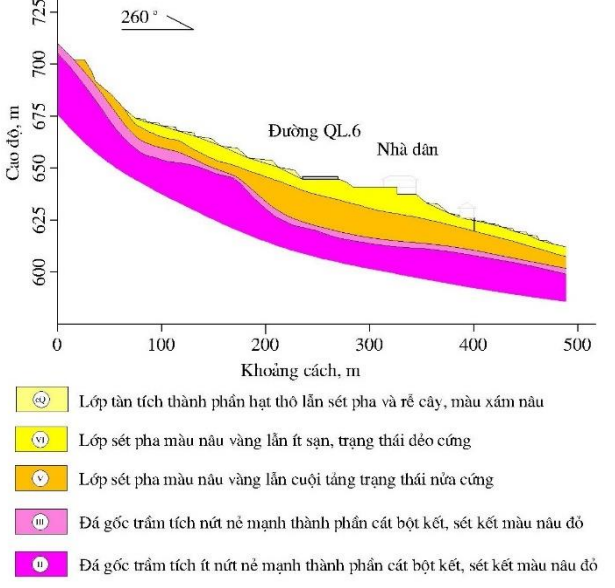
<p>6</p>	<p>Bản Khoang, Sapa, Lào Cai</p> <p>Tọa độ: 22°24'14,62" - 103°46'7,70"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 505 m, rộng W ~ 150 m, cao H ~ 200 m <i>Thể tích:</i> 320.000m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến trên bề mặt đá với tốc độ nhanh <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 15m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng. <i>Thành phần đá gốc:</i> Khối trượt với thành phần chủ yếu là phiến sét sericit, cát kết dạng quazit xen sét vôi có cùng hướng cắm với sườn núi thuộc hệ tầng Bản Nguồn. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Dưới chân khối trượt là một khe suối nhỏ. <i>Thảm phủ thực vật:</i> Lớp phủ thực vật xung quanh khối trượt khá phong phú do khối trượt nằm sâu trong rừng</p>	<p>Hiện tượng trượt kích hoạt góp phần tạo thành dòng lũ bùn đá bất ngờ đổ về bản Khoang vào khoảng 21h30 ngày 4/9/2013 làm 14 người chết, 10 nhà ở của dân bị cuốn trôi và tàn phá, và trang trại nuôi cá của người dân.</p>  <p>Google Earth</p>	 <p>135°</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <p>Suối</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Lớp phong hóa tàn tích lần thực vật Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓜ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng Ⓣ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓜ Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần phiến sét sericit Ⓜ Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ thành phần phiến sét sericit
<p>7</p>	<p>Bản Pín Pé, xã Cát Thịnh, huyện Văn Chấn, Yên Bái</p> <p>Tọa độ: 21°26'47,63"- 104°41'16,15"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 110 m, rộng W ~ 80 m, cao H ~ 35 m. <i>Thể tích:</i> 36.800m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá mạnh, trượt chậm vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn rất cao. <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 8m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lồi. <i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc có thành phần thạch học gồm rhyolit porphy, rhyolit thuộc hệ tầng Ngòi Thia. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên trái khối trượt có khe suối cạn nhỏ <i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ</p>	<p>Phía trên sườn xuất hiện các vết nứt ngang sườn, đe dọa nguy hiểm cho điểm trường tiểu học nên đến năm 2018 phải di chuyển điểm trường đi nơi khác.</p> <p>Hướng chụp: 15°</p> 	 <p>230°</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <p>Điểm trường mẫu giáo</p> <ul style="list-style-type: none"> Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓜ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng Ⓣ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓜ Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần phiến sét sericit Ⓜ Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ thành phần phiến sét sericit


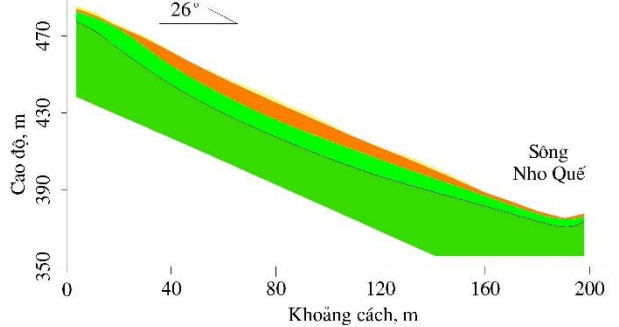

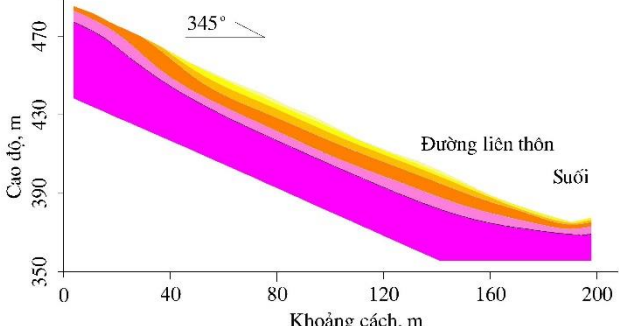
<p>8</p>	<p>Bản Sáng Tùng, xã Tả Ngáo, huyện Sin Hồ, tỉnh Lai Châu</p> <p>Tọa độ: 22°17'24,90" - 103°17'47,63"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 165 m, rộng W ~ 317 m, cao H ~ 80 m <i>Thể tích:</i> 470.000m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm sau rồi tăng lên nhanh dần sau mưa kéo dài <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu khoảng 25m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm. <i>Thành phần đá gốc:</i> trầm tích núi lửa thuộc hệ tầng Viên Nam gồm bazan, bazan porphyr và tuf. <i>Điều kiện thủy văn:</i> phía bên phải khối trượt có một khe cạn chỉ có nước chảy sau mưa lớn, phía dưới chân khối trượt xuất hiện khe suối nhỏ chạy ngang hướng sườn dốc. <i>Thảm phủ thực vật:</i> Lớp phủ thực vật xung quanh khối trượt khá phong phú, cây bụi đan xen với cây thân gỗ lớn. <i>Hoạt động nhân sinh:</i> Người dân sinh sống rải rác trên thân khối trượt.</p>	<p>26/28 ngôi nhà cùng nhiều tài sản của người dân ở bản Sáng Tùng, xã Tả Ngáo, huyện Sin Hồ, tỉnh Lai Châu bị xóa sổ hoàn toàn do TKL vào rạng sáng 27/06/2018. Trước đó, một người dân ở trên cao nhất của bản phát hiện vết nứt lớn và báo cho chính quyền địa phương. Sau đó, lực lượng chức năng đã di dời người dân khẩn cấp để đảm bảo an toàn tính mạng. Vụ việc không gây thiệt hại về người nhưng hầu hết các hộ dân nơi đây đều không mang theo được tài sản.</p> 	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Lớp phong hóa tàn tích lẫn thực vật Ⓑ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓒ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng Ⓓ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓔ Đá gốc trầm tích vụn núi lửa thành phần bazan tuf nứt nẻ mạnh Ⓕ Đá gốc trầm tích vụn núi lửa ít nứt nẻ thành phần bazan tuf
<p>9</p>	<p>Đường vào bản Pín Pé, xã Cát Thịnh, huyện Văn Chấn, Yên Bái</p> <p>Tọa độ: 21°26'54,32" - 104°42'11,91"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 190 m, rộng W ~ 150 m, cao H ~ 70 m <i>Thể tích:</i> 220.800m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá trung bình, trượt tốc độ nhanh, có xu hướng mở rộng nên vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn trượt rất cao. <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 12m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm. <i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc có thành phần thạch học gồm ryolit porphyr, ryolit thuộc hệ tầng Ngòi Thia. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên phải khối trượt có khe suối cạn, dòng suối lớn chảy phía dưới chân sườn dốc. <i>Thảm phủ thực vật:</i> cây thân gỗ lớn, thảm thực vật dày</p>	<p>Đoạn đường nhỏ hẹp là lối vào duy nhất để vào bản và đã phải sửa chữa nhiều lần. Đoạn đường thường xuyên bị vùi lấp bởi vật liệu trượt vào mùa mưa.</p>  <p>Hướng chụp: 5°</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu Ⓑ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓒ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo Ⓓ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓔ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần phiến sericit Ⓕ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần phiến sericit


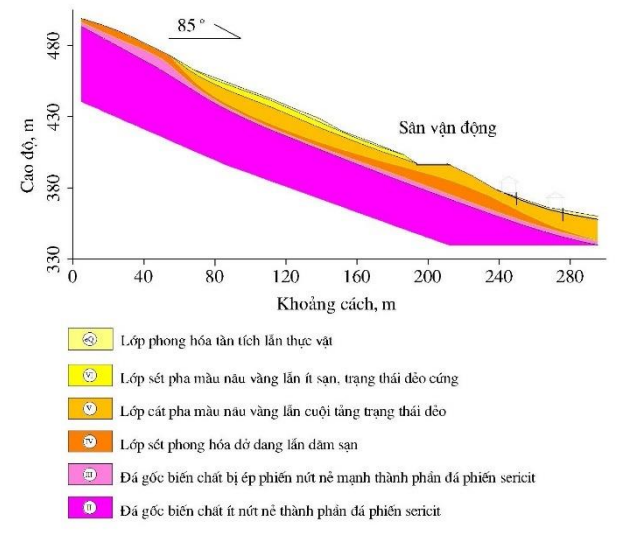

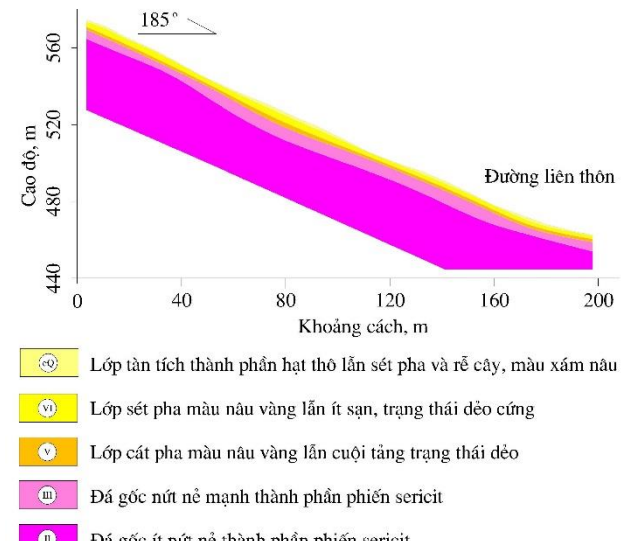
<p>10</p>	<p>Phường Phiên Ban, thị trấn Bắc Yên, Sơn La - Đường đi lên đỉnh Tà Xùa</p> <p>Tọa độ: 21°15'46,66" - 104°27'4,72"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 80m, rộng W ~ 120 m, cao H ~ 30 m Thể tích: 25.000m³ Kiểu trượt: trượt tịnh tiến với tốc độ dịch chuyển nhanh và khá bất ngờ sau khi mưa lớn, về sau có xu hướng mở rộng, vẫn còn nguy cơ tiếp tục trượt Mặt trượt: ở độ sâu 12m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng. Thành phần đá gốc: đá gốc gồm biến chất gneis, phân lớp mỏng quartzit, quartzit biotit và đá phiến thạch anh-biotit-granat. Điều kiện thủy văn: phía bên phải khối trượt xuất hiện khe suối nhỏ chạy ngang qua và đường giao thông phía dưới chân khối trượt. Thảm phủ thực vật: chủ yếu là cây bụi</p>	<p>Khối trượt xuất hiện các vết nứt từ đã lâu. Trận mưa tháng 7 năm 2018 đã kích hoạt hiện tượng trượt, vật liệu trượt dồn vào khe suối tạo thành dòng bùn đá đổ về thị trấn Bắc Yên, Sơn La</p>  <p>Hướng chụp: 10°</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ② Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ④ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ⑤ Lớp sét phong hóa đỏ dạng lẫn dăm sạn ⑥ Đá gốc biến chất bị ép phiến nứt nẻ mạnh thành phần rhyolit, porphyr thạch anh ⑦ Đá gốc biến chất ít nứt nẻ thành phần rhyolit, porphyr thạch anh
<p>11</p>	<p>Quốc lộ 37, đoạn qua Mường Khoa, Bắc Yên Sơn La</p> <p>Tọa độ: 21°11'35,29" - 104°14'11,31"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 80m, rộng W ~ 60 m, cao H ~ 25 m Thể tích: 17.000m³ Kiểu trượt: trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, và vẫn còn có xu thế mở rộng tiếp tục Mặt trượt: ở độ sâu 9m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu. Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm. Thành phần đá gốc: đá gốc thuộc hệ tầng Bản Cài gồm các tập bột kết, bột kết vôi có than xen đá phiến silic. Điều kiện thủy văn: phía bên phải khối trượt xuất hiện khe suối nhỏ chạy ngang và đường giao thông phía dưới chân khối trượt. Thảm phủ thực vật: chủ yếu là cây bụi</p>	<p>Ban đầu là khối trượt nhỏ, sau khi mở rộng đường QL37 khối trượt phát triển nhanh và nguy hiểm, bản phía dưới phải di chuyển toàn bộ sang bên cạnh tránh phạm vi ảnh hưởng của KTL này, đường QL37 qua đây phải sửa lại.</p>  <p>Hướng chụp: 330°</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ② Lớp phong hóa tàn tích lẫn thực vật ④ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ⑤ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo cứng ⑥ Lớp sét, bột phong hóa đỏ dạng lẫn dăm sạn ③ Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần bột kết, đá phiến silic ⑦ Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ thành phần bột kết, đá phiến silic


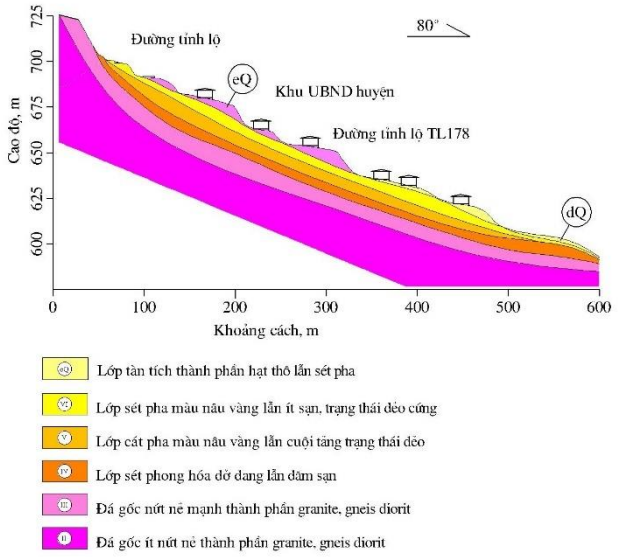

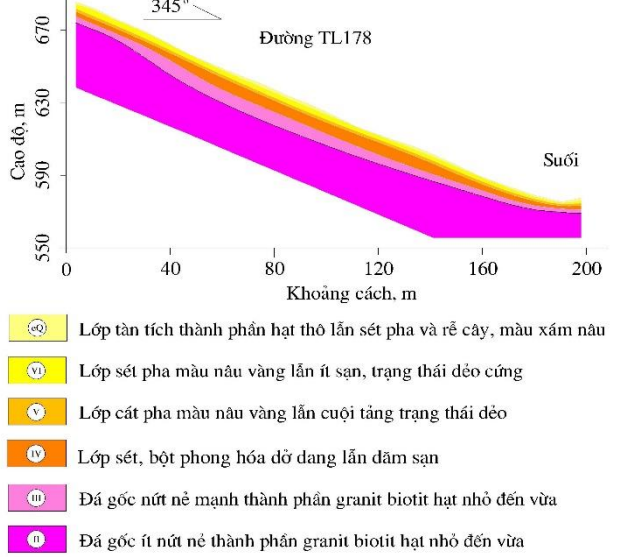
12	<p>Thác Khanh, xã Phú Cường, Tân Lạc, Hòa Bình</p> <p>Tọa độ: 20°37'44,08" - 105°10'33,11"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 190 m, rộng W ~ 215 m, cao H ~ 85 m, khoảng lán xa L_f ~ 360m</p> <p><i>Thể tích:</i> 320.000 m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ nhanh sau mưa kéo dài nhiều ngày</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 14m, để lộ ra hoàn toàn sau khi trượt, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu, thân khối trượt chủ yếu là thành phần travertine phong hóa từ đá vôi, mặt bên dưới của mặt trượt lộ ra thành phần cát bột kết, sét kết thuộc hệ tầng Tân Lạc.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng.</p> <p><i>Thành phần đá gốc:</i> bên trên là trầm tích cacbonat thuộc hệ tầng Đồng Giao thành phần chủ yếu là phong hóa mạnh, bên dưới là trầm tích biến hệ tầng Tân Lạc thành phần cát bột kết, sét kết.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> Giữa khối trượt là dòng thác chảy với lưu lượng rất lớn, dưới chân thác là dòng suối chảy ngang qua. Bên trên đỉnh thác là một bề mặt khá bằng phẳng được người dân sử dụng để trồng cây hoa màu.</p> <p><i>Thảm phủ thực vật:</i> Thảm phủ thực vật rất phát triển xung quanh khu vực thác</p> <p><i>Hoạt động nhân sinh:</i> Ít tác động bên trên mái dốc mà chủ yếu hoạt động bên dưới, chân khối trượt là một khối sườn tích tích tụ đã lâu được sử dụng làm ruộng lúa</p>	<p>Vào lúc 1h10 rạng sáng 12/10/2017, KTL dịch chuyển nhanh làm chặn dòng suối nhỏ bên dưới và vượt qua khu ruộng nhanh chóng vùi lấp nhà cửa bên phía sườn đối diện, thiệt hại làm 18 người chết, 6 hộ dân bị đất đá vùi lấp nhà hoàn toàn. Theo một số người dân địa phương, trước khi sự cố xảy ra 1 ngày, thác Khanh cũng đã có những dấu hiệu của sự dịch chuyển với biểu hiện đất đá lở, và trượt nhỏ trong thác.</p>  <p>Hướng chụp: 320°</p>	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓔ Lớp phong hóa tàn tích lần thực vật Ⓕ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓖ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn mảnh dăm trạng thái dẻo Ⓜ Đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng bị nứt nẻ mạnh Ⓜ Đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng ít nứt nẻ Ⓡ Đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng còn tươi
13	<p>Xã Chè Cu Nha, Mù Cang Chải, Yên Bái</p> <p>Tọa độ: 21°49'38,28" - 104°7'54,48"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 320 m, rộng W ~ 160 m, cao H ~ 120 m</p> <p><i>Thể tích:</i> 428.000 m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến, trượt tốc độ nhanh sau mưa kéo dài và mưa lớn, có xu hướng mở rộng nên vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn trượt rất cao.</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 15m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh, bên dưới mặt trượt là bề mặt đá gốc bị phân phiến.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng.</p>	<p>Từ trước năm 2009, đây mới chỉ là một khối trượt nhỏ xuất hiện trên sườn dốc ruộng bậc thang, xong sau mỗi đợt mưa kéo dài thì diện tích bị trượt ngày càng mở rộng. Diện tích bị trượt ngày càng mở rộng về phía bên trên và dịch sang bên trái làm mất nhiều diện tích đất ruộng của người dân. Khối trượt đã phát triển với diện tích quá lớn nên hiện thời không có biện pháp để hạn chế và cải tạo.</p>	

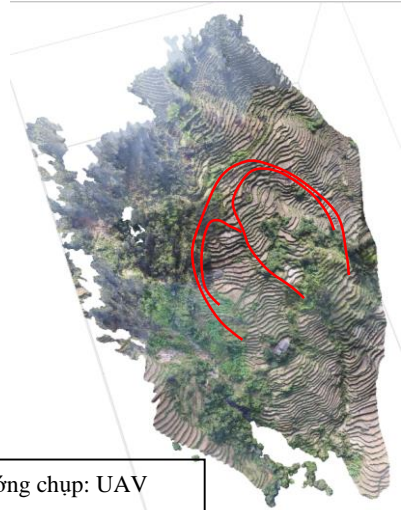
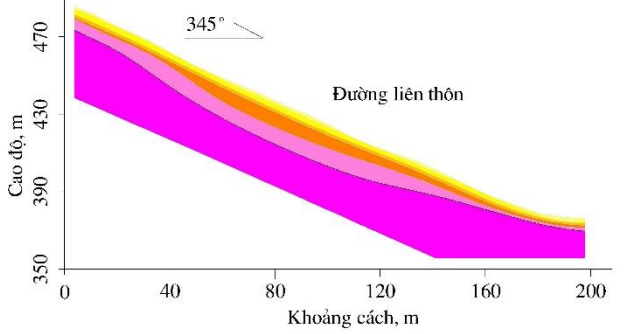

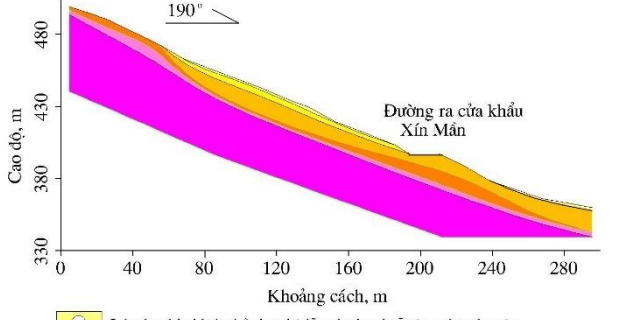
		<p>Thành phần đá gốc: đá gốc có thành phần thạch học gồm ryolit porphy, ryolit thuộc hệ tầng Tú Lệ.</p> <p>Điều kiện thủy văn: hầu như không chịu ảnh hưởng lớn của chế độ thủy văn quanh vùng do KTL nằm trên cao của sườn dốc, dòng suối chảy qua nằm cách khá xa chân khối trượt. Tuy nhiên, ở mặt trượt có xuất hiện dòng nước tạm thời chảy trong thân khối trượt cho thấy nước trong thân khối trượt rất phong phú.</p> <p>Thảm phủ thực vật: Ngoài ruộng bậc thang hoặc một ít cây bụi, phía trên đỉnh là thảm thực vật dày của rừng cây thân gỗ lớn.</p> <p>Hoạt động nhân sinh: Làm ruộng bậc thang</p>	 <p>Hướng chụp: 5°</p>	 <p>180°</p> <p>dQ</p> <p>IAI</p> <p>Đường đất</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ② Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ③ Lớp sét phong hóa dở dang lẫn dăm sạn ④ Đá gốc biến chất bị ép phiến nứt nẻ mạnh thành phần ryolit, porphyrit thạch anh ⑤ Đá gốc biến chất ít nứt nẻ thành phần ryolit, porphyrit thạch anh
<p>14</p>	<p>Xã Bản Rịa, huyện Quang Bình, Hà Giang</p> <p>Tọa độ: 22°26'7,98" - 104°28'32,81"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 180 m, rộng W ~ 80 m, cao H ~ 60 m</p> <p>Thể tích: 65.500m³</p> <p>Kiểu trượt: trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá trung bình, trượt tốc độ chậm, có xu hướng mở rộng nên vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn trượt rất cao.</p> <p>Mặt trượt: ở độ sâu 9m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa yếu.</p> <p>Hình dạng KTL: kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm.</p> <p>Kiểu trượt: trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá trung bình</p> <p>Thành phần thạch học: Đá gốc là đá granite 2 mica bị nghiền vụn đập vỡ mạnh thành cát sạn, kích thước hạt nhỏ đến vừa.</p> <p>Điều kiện thủy văn: KTL nằm trong một lưu vực nhỏ phía dưới chân có khe suối nhỏ nước chảy liên tục.</p> <p>Thảm phủ thực vật: cây thân gỗ to, thảm thực vật khá dày</p>	<p>KTL xuất hiện bất ngờ sau cơn mưa lớn ngày 22/10/2018, tạo thành dòng bùn đá dày lấp vào trong ruộng của dân trong bản.</p>  <p>Hướng chụp: 10°</p>	 <p>150°</p> <p>Khe suối hẹp</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu ② Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ③ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ④ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn ⑤ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần phiến sericit ⑥ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần phiến sericit

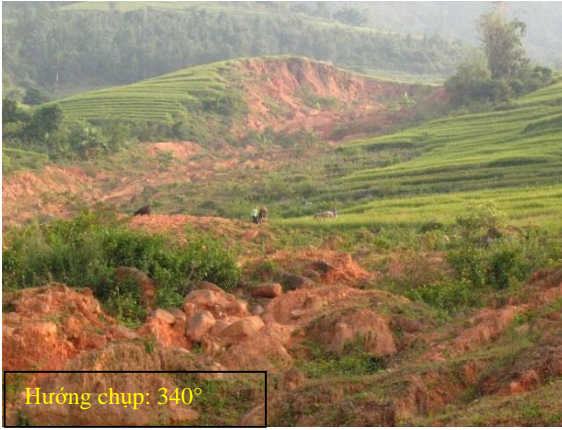
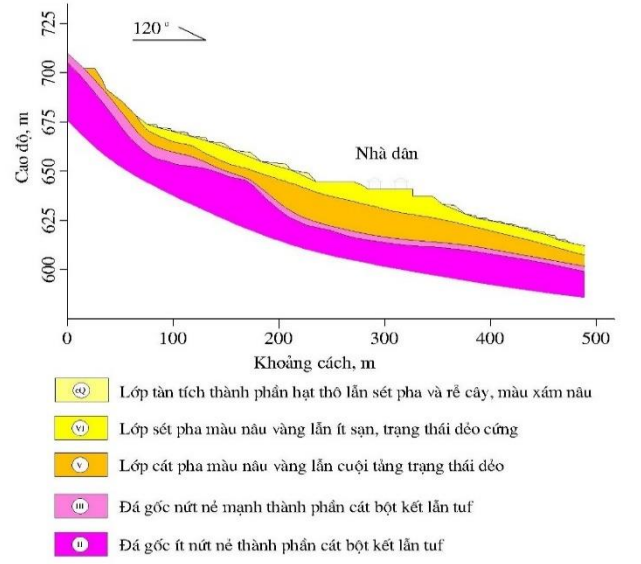
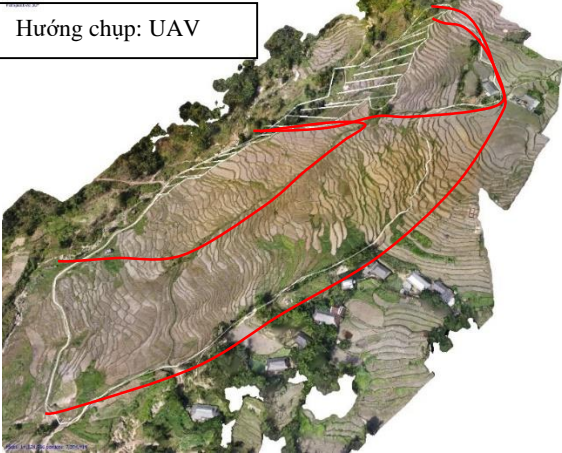
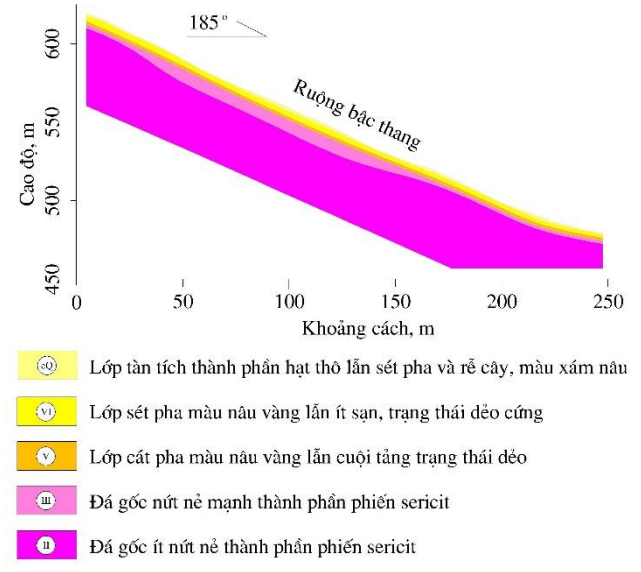
<p>15</p>	<p>Đường đi lên Tú Lệ, xã Nậm Búng huyện Văn Chấn, Yên Bái</p> <p>Tọa độ: 21°45'33,96" - 104°20'17,69"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 170 m, rộng W ~ 130 m, cao H ~ 45 m, chiều sâu mặt trượt khoảng 10m</p> <p><i>Thể tích:</i> 15.000m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến trong vỏ phong hoá trung bình, trượt tốc độ chậm, có xu hướng mở rộng nên vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn trượt rất cao.</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 13m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm.</p> <p><i>Thành phần thạch học:</i> : đá gốc có thành phần thạch học gồm ryolit porphyr, ryolit thuộc hệ tầng Tú Lệ.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên trái khối trượt có khe suối cạn</p> <p><i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ, bề mặt còn được người dân cải tạo để trồng cây rau màu</p>	<p>Đoạn đường này liên tục bị sụt lún, phải tu sửa thường xuyên.</p>  <p>Hướng chụp: 90°</p>	 <p>Đường QL32</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Lớp phong hóa tàn tích lần thực vật ② Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ③ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ④ Lớp sét phong hóa dở dang lẫn dăm sạn ⑤ Đá gốc biến chất bị ép phiến nứt nẻ mạnh thành phần ryolit, porphyr thạch anh ⑥ Đá gốc biến chất ít nứt nẻ thành phần ryolit, porphyr thạch anh
<p>16</p>	<p>Quốc lộ 6, Chiềng Hắc, Sơn La</p> <p>Tọa độ: 20°55'3,70" - 104°29'1,10"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 280m, rộng W ~ 150 m, cao H ~ 90 m</p> <p><i>Thể tích:</i> 330.000m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến, trượt tốc độ chậm sau mưa kéo dài, có xu hướng mở rộng nên vẫn còn nguy cơ tiềm ẩn trượt rất cao.</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 17m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng.</p> <p><i>Thành phần đá gốc:</i> đá gốc thuộc hệ tầng Yên Châu gồm cuội kết, cát kết, bột kết, sét kết màu nâu đỏ.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> phía dưới chân khối trượt xuất hiện khe suối nhỏ, trên sườn có xuất hiện rãnh xói lớn và đường giao thông chạy ngang thân khối trượt. Tuy đã được cải tạo bằng kè bê tông và điều chỉnh dòng chảy nhưng hiện tượng dịch chuyển chậm vẫn xảy ra.</p> <p><i>Thảm phủ thực vật:</i> chủ yếu là cây bụi và một ít cây ăn trái</p>	<p>KTL dịch chuyển chậm kéo dài làm phá hủy tường kè phía taluy dương, khối trượt dịch chuyển còn làm nứt tường nhà, sân vườn nhiều nhà dân phía taluy âm.</p>  <p>Hướng chụp: 70°</p>	 <p>Đường QL.6</p> <p>Nhà dân</p> <ul style="list-style-type: none"> ① Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu ② Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ③ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái nửa cứng ④ Đá gốc trầm tích nứt nẻ mạnh thành phần cát bột kết, sét kết màu nâu đỏ ⑤ Đá gốc trầm tích ít nứt nẻ mạnh thành phần cát bột kết, sét kết màu nâu đỏ

<p>17</p>	<p>Đầu cầu Tràng Hương, Giàng Chú Phìn, Mèo Vạc, Hà Giang</p> <p>Tọa độ: 23°13'15,74"- 105°26'34,31"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 200 m, rộng W ~ 180 m, cao H ~ 80 m <i>Thể tích:</i> 207.300m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến, trượt tốc độ nhanh. <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 11m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng. <i>Thành phần thạch học:</i> Đá gốc là đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng, nứt nẻ mạnh. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên phải khối trượt có khe suối cạn <i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ trong hốc đá</p>	<p>Khối trượt dịch chuyển làm một lượng lớn đất đá tràn xuống, đe dọa nhà của công nhân xây dựng đầu cầu</p> 	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓦ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓔ Đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng bị nứt nẻ mạnh Ⓜ Đá vôi, sét vôi phân lớp mỏng ít nứt nẻ
<p>18</p>	<p>Khối trượt trên đường vào thôn Lũng Cháng, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°36'19,23"- 104°30'24,52"</p>	<p>Kích thước KTL: dài L ~ 70 m, rộng W ~ 36.3 m, cao H ~ 25.5 m, <i>Thể tích:</i> 4830m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 6m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm <i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc là đá biến chất thuộc phức hệ sông Chảy, đá gốc có thành phần thạch học gồm granit 2 mica, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, cấu tạo dạng gneis. Thành phần vật liệu trong thân khối trượt gồm: cát pha xen lẫn cuội tầng phong hóa. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Chính giữa khối trượt có một rãnh xói nhỏ, chỉ xuất hiện dòng chảy khi có mưa lớn. <i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ</p>	<p>Khối trượt này xuất hiện phá hủy đường vào thôn Ngam Lâm nên người dân thường xuyên phải sửa chữa vào mùa mưa</p> 	 <ul style="list-style-type: none"> Ⓐ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu Ⓥ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng Ⓦ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo Ⓦ Lớp sét, bột phong hóa dở dang lẫn dăm sạn Ⓜ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần granit biotit hạt nhỏ đến vừa Ⓜ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần granit biotit hạt nhỏ đến vừa

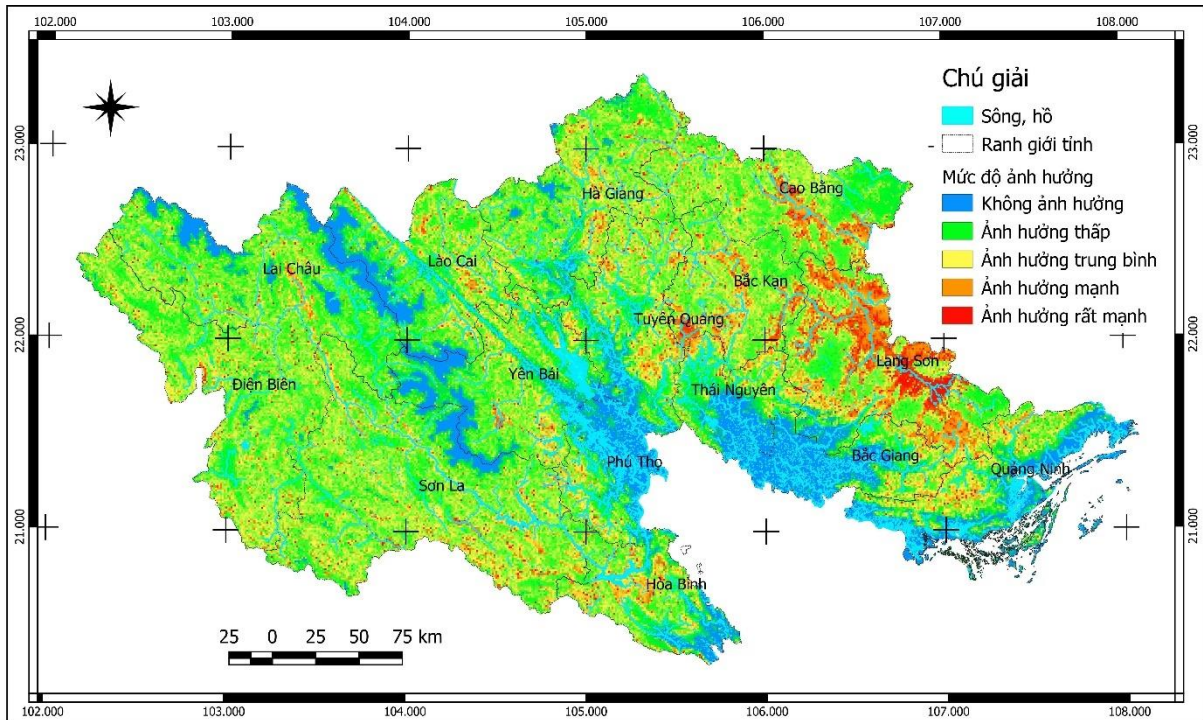
<p>19</p>	<p>KTL nằm phía trên sân vận động thị trấn Cốc Pài</p> <p>Tọa độ: 22°40'44,62" - 104°27'33,11"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 90 m, rộng W ~ 80 m, cao H ~ 35 m</p> <p><i>Thể tích:</i> 30.160m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 8m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng</p> <p><i>Thành phần thạch học:</i> được cấu tạo từ phức hệ Sông Chảy với thành phần chủ yếu là đá biến chất bị ép phiến, gồm granit 2 mica, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, thể nằm 290° < 30°. Lớp phong hóa mạnh có thành phần đất sét màu vàng nâu nhạt, dày khoảng 2 – 3m xen lẫn mảnh vụn sắc cạnh kích thước 1 x 2 cm là sản phẩm phong hóa từ đá phiến sét với màu xám.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> có ở khe suối có nước chảy rất nhỏ, vào mùa khô kiệt thì gần như không có nước chảy.</p> <p><i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ</p>	<p>Khối trượt này nằm trên sườn tích của khu vực trượt cổ xuất hiện từ nhiều năm trước, khi mùa mưa có nhiều nước mặt, làm cho lớp phong hoá kém kết dính, nước chảy vào mặt trượt, vào khe nứt, gây hiện tượng trượt đất đá. Do việc đào bới tạo mái taluy để làm sân vận động nên hiện tượng trượt bị thúc đẩy phát triển mạnh hơn. Khối trượt này phía dưới đã được xử lý sơ bộ bằng biện pháp kê khung bê tông cốt thép nhưng chỉ được một thời gian lại bị phá hủy.</p>  <p>Hướng chụp: 210°</p>	
<p>20</p>	<p>KTL ngoài thôn Dú Hạ, xã Bản Dú, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°44'19,48"- 104°33'27,70"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 210 m, rộng W ~ 100 m, cao H ~ 60 m</p> <p><i>Thể tích:</i> 54.950m³</p> <p><i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa</p> <p><i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 5m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh.</p> <p><i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng</p> <p><i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc là đá biến chất thuộc phức hệ sông Chảy, thành phần gồm granit 2 mica, granit muscovit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa tương đối đồng đều, cấu tạo dạng gneis. Lớp phong hóa mạnh trong thân khối trượt gồm: cát, sét pha lẫn sạn, sỏi rui màu vàng nhạt, dày khoảng gần 8m, xen lẫn các tầng lẫn đá gốc có kích thước khác nhau từ 0,1-0,2m cho đến 0,5-1,0m.</p> <p><i>Điều kiện thủy văn:</i> Khối trượt bị chia cắt bởi các rãnh xói cạn trên bề mặt địa hình.</p> <p><i>Thảm phủ thực vật:</i> cây bụi nhỏ và ruộng bậc thang</p>	<p>Khu vực này gồm nhiều khối trượt tịnh tiến liên tiếp trên ruộng bậc thang, KTL này diễn ra liên tiếp trong nhiều năm và đang có xu hướng mở rộng. Phía trên đỉnh khối trượt xuất hiện rất nhiều khe nứt và vách trượt kéo dài 20-30m, có khe nứt rộng đến 30cm. Một số ngôi nhà nằm phía trên đỉnh khối trượt có nguy cơ bị ảnh hưởng nếu các khối trượt mở rộng thêm.</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p>	

<p>21</p>	<p>Thị trấn Cốc Pài, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°40'54,75" - 104°27'34,54"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 400 m, rộng W ~ 180 m, cao H ~ 95 m <i>Thể tích:</i> 593.000m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa. <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 16m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lồi <i>Thành phần đá gốc:</i> chủ yếu là đá biến chất bị ép phiến dạng gneis, đá granitbiotit, phía trên đỉnh khối trượt có một phần cấu tạo đá sét với phân lớp mỏng, phía trên đỉnh khối trượt là đá gốc thuộc hệ tầng Hà Giang có cấu tạo thạch học từ đá sét với phân lớp mỏng. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng; <i>Điều kiện thủy văn:</i> khi mưa lớn có nước ngầm xuất lộ khá dồi dào phía trên đỉnh KTL. <i>Hoạt động nhân sinh:</i> việc bố trí hệ thống công thoát nước mặt chưa tốt cũng dẫn đến KTL mất ổn định.</p>	<p>Làm phá hủy tương đài liệt sĩ phía trên đỉnh, đe dọa mất ổn định khối nhà làm việc của UBND huyện. Phần trung tâm khối trượt tuy đã được kè kiên cố nhưng về phía hai bên của khối trượt vẫn xảy ra các khối trượt nhỏ cục bộ làm phá hủy đường đi sang Bắc Hà Lào Cai. Ngoài ra, trên thân khối trượt hiện đang có nhiều công trình dân sinh quan trọng của thị trấn Cốc Pài làm gia tăng ảnh hưởng đến nguy cơ dịch chuyển KTL này.</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p>	
<p>22</p>	<p>KTL tại km 22 TL 178 đường lên đèo Gió xã Năm Dăn, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°36'7,07" - 104°29'19,65"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 140 m, rộng W ~ 87 m, cao H ~ 50 m <i>Thể tích:</i> 55.400m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 9m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm <i>Thành phần đá gốc:</i> đá gốc có thành phần granit diorit có kích thước hạt nhỏ đến vừa cấu tạo dạng gneis thuộc phức hệ Sông Chảy. <i>Điều kiện thủy văn:</i> có khe suối nhỏ chảy bên cạnh, trong thân khối trượt xuất lộ mạch nước ngầm. <i>Thảm phủ thực vật:</i> ruộng bậc thang xen lẫn cây bụi nhỏ</p>	 <p>Hướng chụp: UAV</p> <p>KTL dịch chuyển chậm làm tuyến đường đi qua liên tục bị nứt tách, sụt lún, ruộng bậc thang bị sập sứt không thể trồng cây</p>	

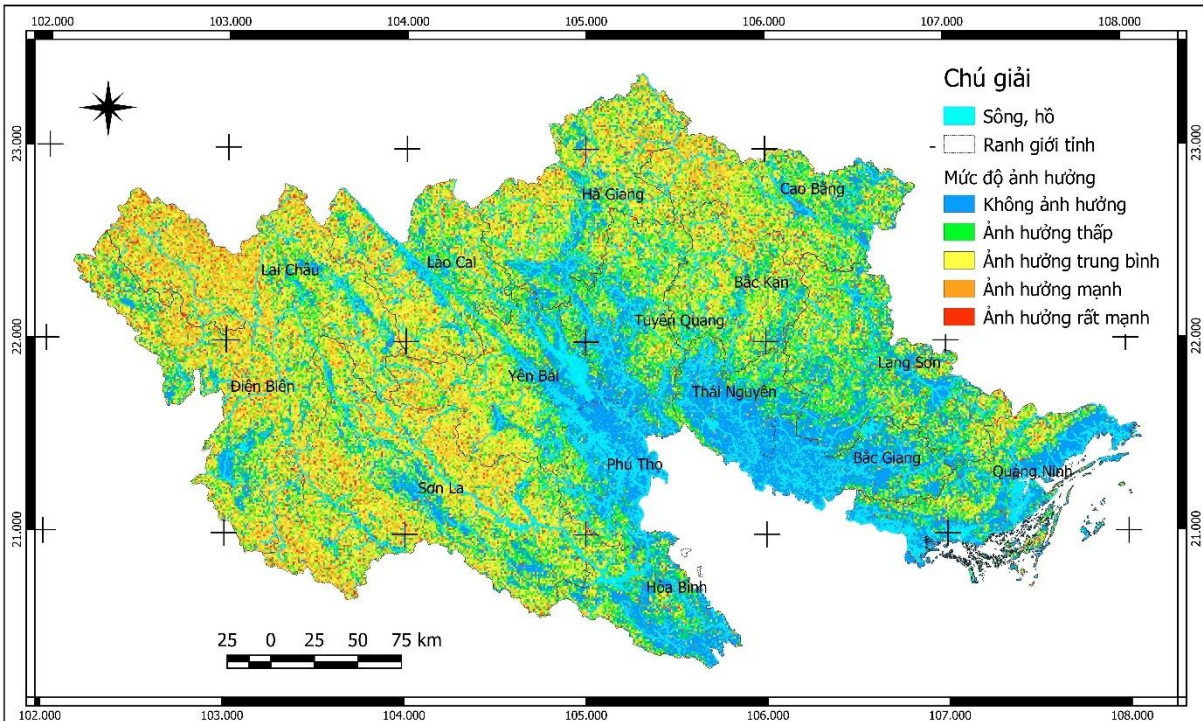
<p>23</p>	<p>KTL trong thôn Lũng Cháng, Năm Dăn, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°36'19,23"-104°30'24,52"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 150 m, rộng W ~ 80 m, cao H ~ 45 m <i>Thể tích:</i> 50.100m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 8m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm <i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc là đá biến chất thuộc phức hệ Sông Chảy, đá gốc có thành phần thạch học gồm: granit diorit, granit biotit có kích thước hạt nhỏ đến vừa có nhiều mạch thạch anh xuyên cắt. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên cạnh thân khối trượt có rãnh xói khá sâu trên bề mặt địa hình, bên phải khối trượt có một khe suối chảy rất dồi dào nước <i>Thảm phủ thực vật:</i> ruộng bậc thang xen lẫn cây bụi nhỏ</p>	<p>Khối trượt hình thành trên khu vực ruộng bậc thang của người dân có độ dốc khoảng 18°, ruộng bậc thang thường xuyên bị sụt lún vào mùa mưa.</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p>	 <p>Đường liên thôn</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <ul style="list-style-type: none"> ④ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu ⑤ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ⑥ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ⑦ Lớp sét, bột phong hóa dờ dang lẫn dăm sạn ⑧ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần granit biotit hạt nhỏ đến vừa ⑨ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần granit biotit hạt nhỏ đến vừa
<p>24</p>	<p>KTL bản Pố Cồ, xã Thèn Phàng</p> <p>Tọa độ: 22°42'12,90" - 104°30'52,17"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 210 m, rộng W ~ 90 m, cao H ~ 60 m <i>Thể tích:</i> 89.050m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp, khối trượt có xu hướng mở rộng hơn nữa <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 15m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm <i>Thành phần thạch học:</i> đá gốc là đá biến chất thuộc phức hệ Sông Chảy, đá gốc có thành phần granit diorit có kích thước hạt nhỏ đến vừa có nhiều mạch thạch anh xuyên cắt. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Một số điểm có xuất lộ nước ngầm bên cạnh vị trí khối trượt. <i>Thảm phủ thực vật:</i> ruộng bậc thang xen lẫn cây bụi nhỏ</p>	<p>Khu vực này hiện tượng trượt đất đá diễn ra liên tục từ trước và sau khi mở rộng đường lên cửa khẩu Xín Mần. KTL khu vực này tạo thành nhiều vách trượt liên tiếp nhau và kéo dài theo các bậc địa hình của đường đi lên dốc Pố Cồ.</p>  <p>Hướng chụp: 80°</p>	 <p>Đường ra cửa khẩu Xín Mần</p> <p>Cao độ, m</p> <p>Khoảng cách, m</p> <ul style="list-style-type: none"> ④ Lớp tàn tích thành phần hạt thô lẫn sét pha và rễ cây, màu xám nâu ⑤ Lớp sét pha màu nâu vàng lẫn ít sạn, trạng thái dẻo cứng ⑥ Lớp cát pha màu nâu vàng lẫn cuội tầng trạng thái dẻo ⑦ Lớp sét phong hóa dờ dang lẫn dăm sạn ⑧ Đá gốc nứt nẻ mạnh thành phần granit diorit hạt nhỏ đến vừa ⑨ Đá gốc ít nứt nẻ thành phần granit diorit hạt nhỏ đến vừa

<p>25</p>	<p>Bản Ngàn Vàng Trên, xã Đồng Tâm, Bình Liêu, Quảng Ninh</p> <p>Tọa độ: 21°35'51,17" - 107°25'19,64"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 120 m, rộng W ~ 60 m, cao H ~ 30 m <i>Thể tích:</i> 56.500m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt hỗn hợp với tốc độ nhanh <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 11m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở lõm <i>Thành phần đá gốc:</i> cát kết, bột kết lẫn tuf thuộc hệ tầng Bình Liêu. <i>Kiểu trượt:</i> Trượt hỗn hợp trong đới phong hóa mạnh <i>Điều kiện thủy văn:</i> có khe suối nhỏ chảy dưới chân khối trượt. <i>Thảm phủ thực vật:</i> ruộng bậc thang xen lẫn cây bụi nhỏ</p>	<p>Sau một đêm mưa lớn khoảng 6 giờ 30, một khoảnh núi Co Sầu từ từ dịch chuyển làm một gia đình dân tộc Sán Chi gồm 11 người bị vùi lấp vào ngày 09/06/2005.</p>  <p>Hướng chụp: 340°</p>	
<p>26</p>	<p>KTL trên thôn Dú Hạ, xã Bản Dú, XM-HG</p> <p>Tọa độ: 22°44'33,11"- 104°33'44,12"</p>	<p><i>Kích thước KTL:</i> dài L ~ 240 m, rộng W ~ 80 m, cao H ~ 60 m, chiều sâu mặt trượt khoảng 5m <i>Thể tích:</i> 80.500m³ <i>Kiểu trượt:</i> trượt tịnh tiến với tốc độ chậm, vẫn còn khả năng trượt tiếp <i>Mặt trượt:</i> ở độ sâu 8m, trùng với ranh giới lớp phong hóa trung bình với phong hóa mạnh. <i>Hình dạng KTL:</i> kiểu hình sườn dốc kiểu mở phẳng <i>Thành phần thạch học:</i> Đá gốc là đá biến chất thuộc phức hệ sông Cháy, đá bị ép phiến mạnh, thành phần chủ yếu là đá phiến thạch anh, phiến sericit gồm granit 2 mica, granit diorit có kích thước hạt vừa tương đối đồng đều, cấu tạo dạng gneis. Vật liệu VPH hoàn toàn chủ yếu có gồm cát pha, sét pha màu nâu vàng, lẫn tầng lẫn, chiều dày nhỏ hơn 10m. <i>Điều kiện thủy văn:</i> Bên phải khối trượt có khe suối hẹp, rãnh xói phát triển khá sâu trên bề mặt địa hình <i>Thảm phủ thực vật:</i> ruộng bậc thang xen lẫn cây bụi nhỏ</p>	<p>Hướng chụp: UAV</p>  <p>Hướng chụp: UAV</p> <p>Khối trượt này nằm trên khu vực ruộng bậc thang của người dân có độ dốc khoảng 23°, phía bên phải khối trượt có một khe suối hẹp có nước chảy. Khối trượt thường xuyên bị mất nước nên chỉ có thể trồng ngô, chỉ một số ruộng phía dưới chân là trồng được lúa. Vật liệu trượt có xu hướng trượt về phía suối nhỏ phía bên phải.</p>	

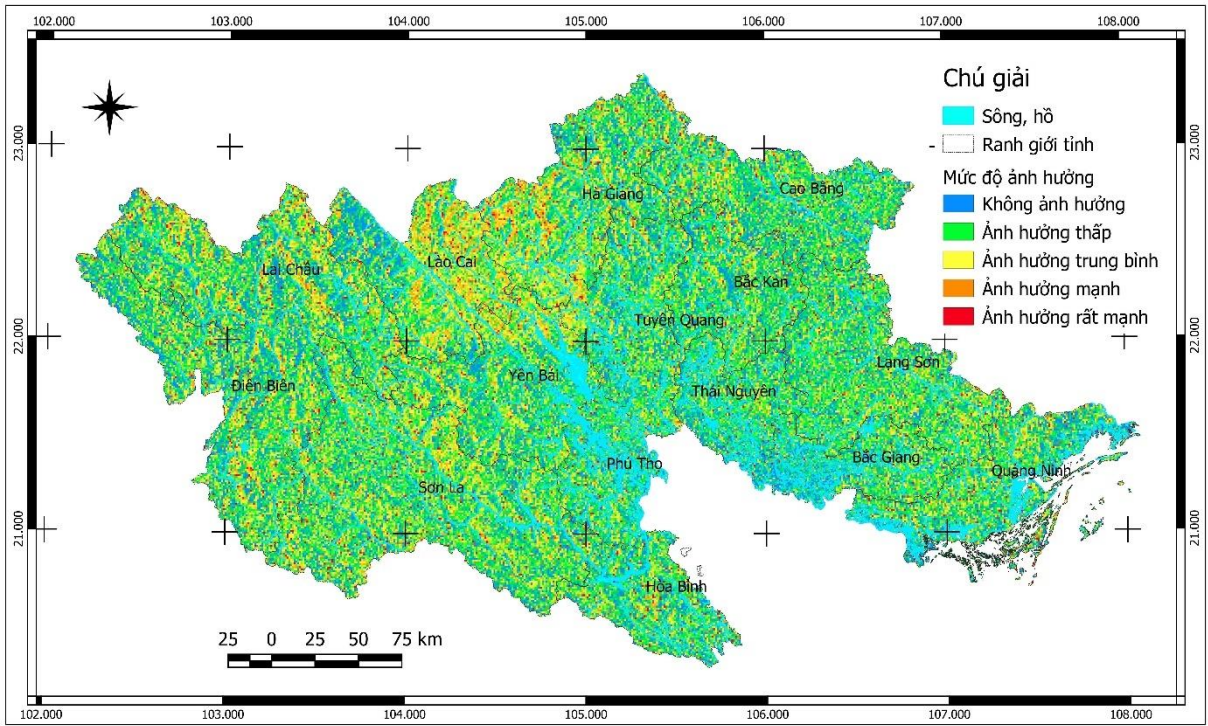
Phụ lục 2: Bản đồ mức độ ảnh hưởng của các yếu tố đến sự hình thành KTL ở MNPB



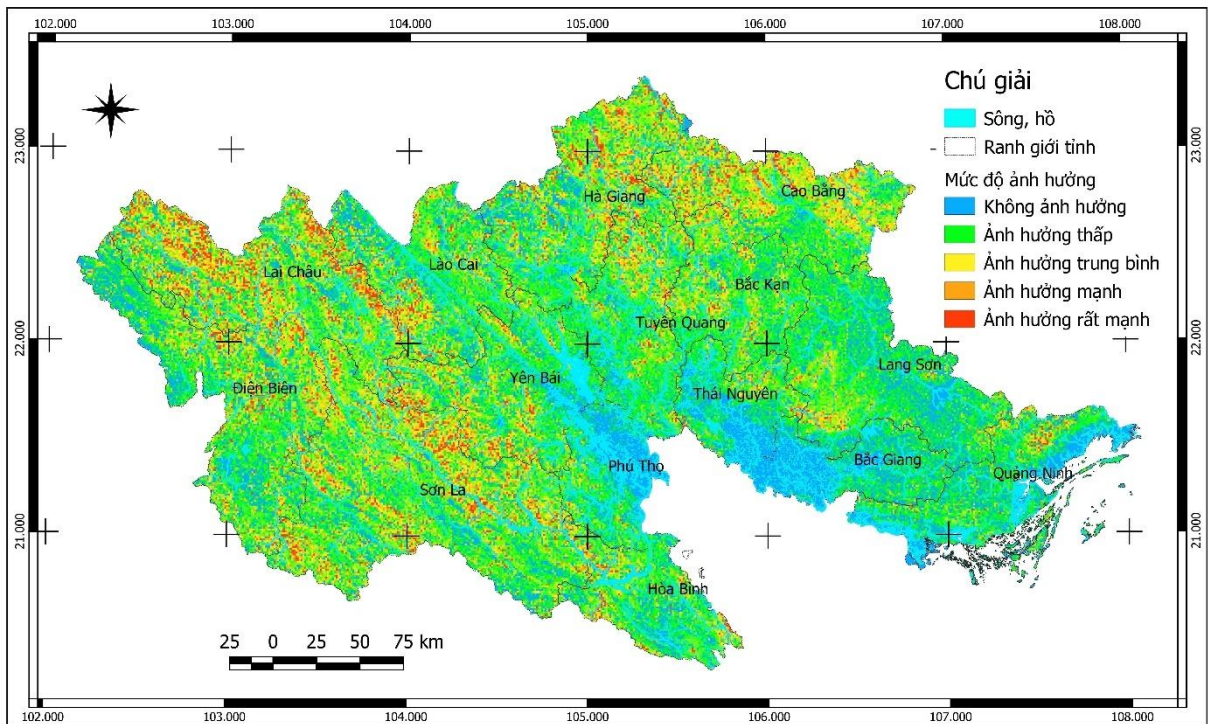
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố cao độ địa hình tới sự hình thành KTL.



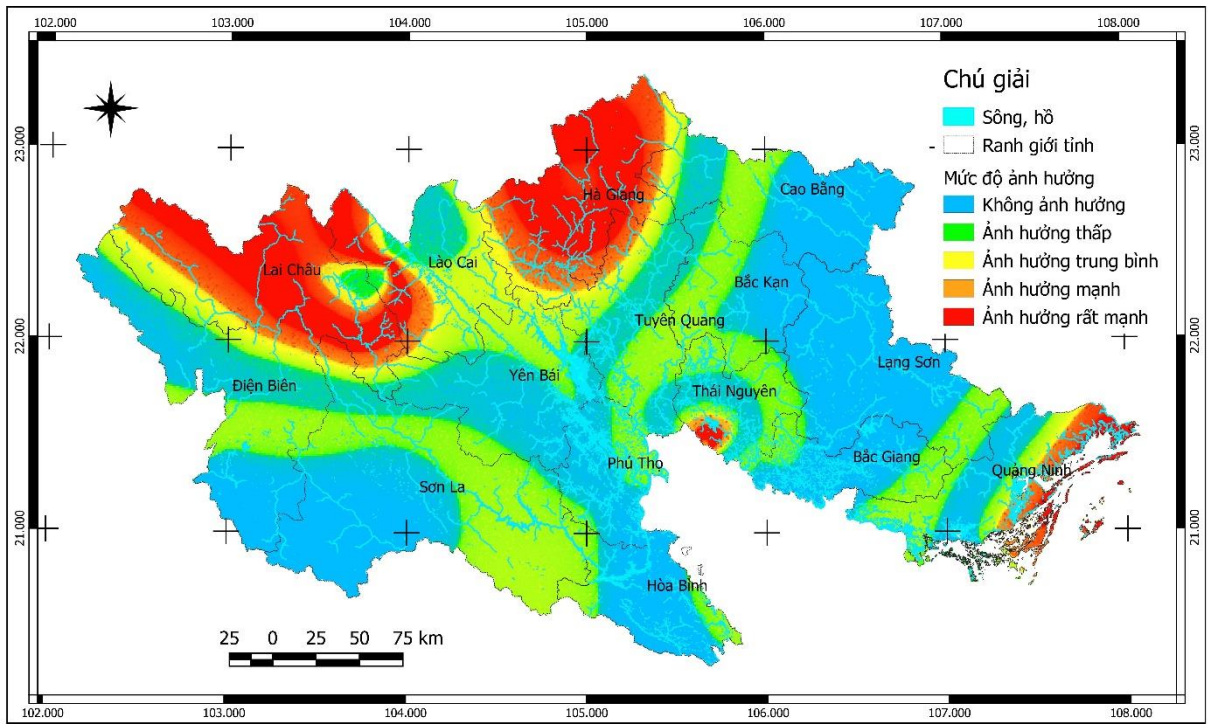
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố độ dốc địa hình tới sự hình thành KTL



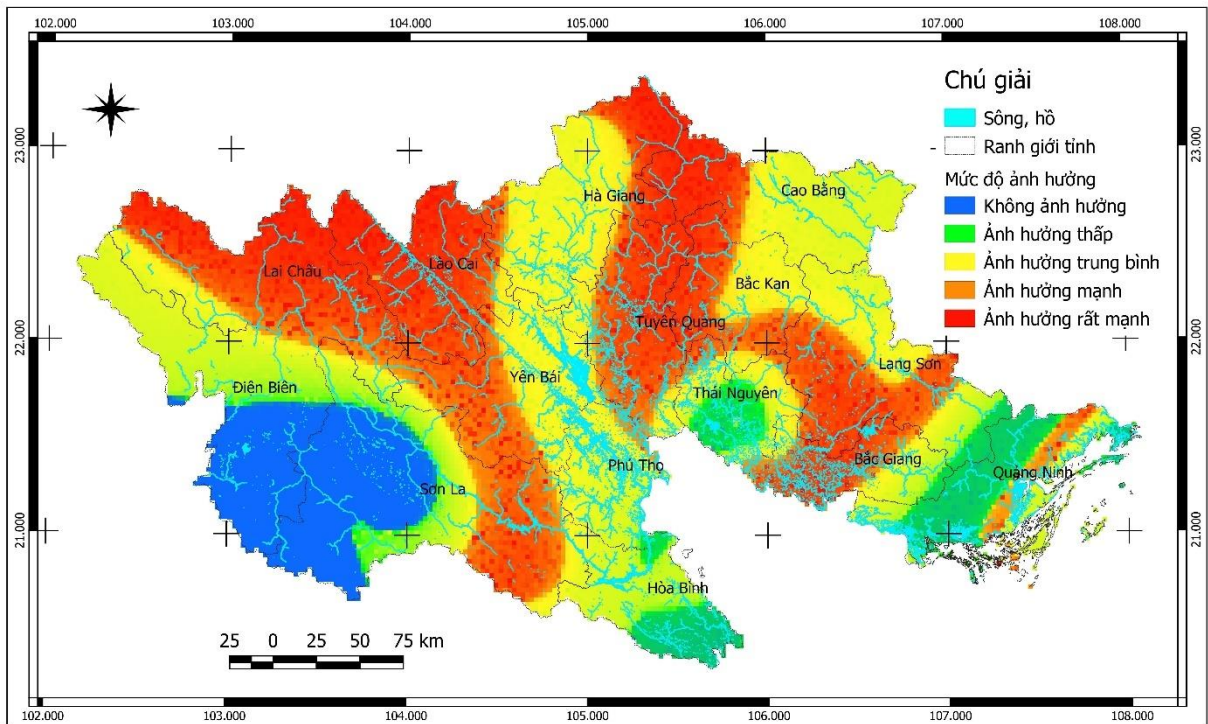
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố hướng dốc địa hình tới sự hình thành KTL



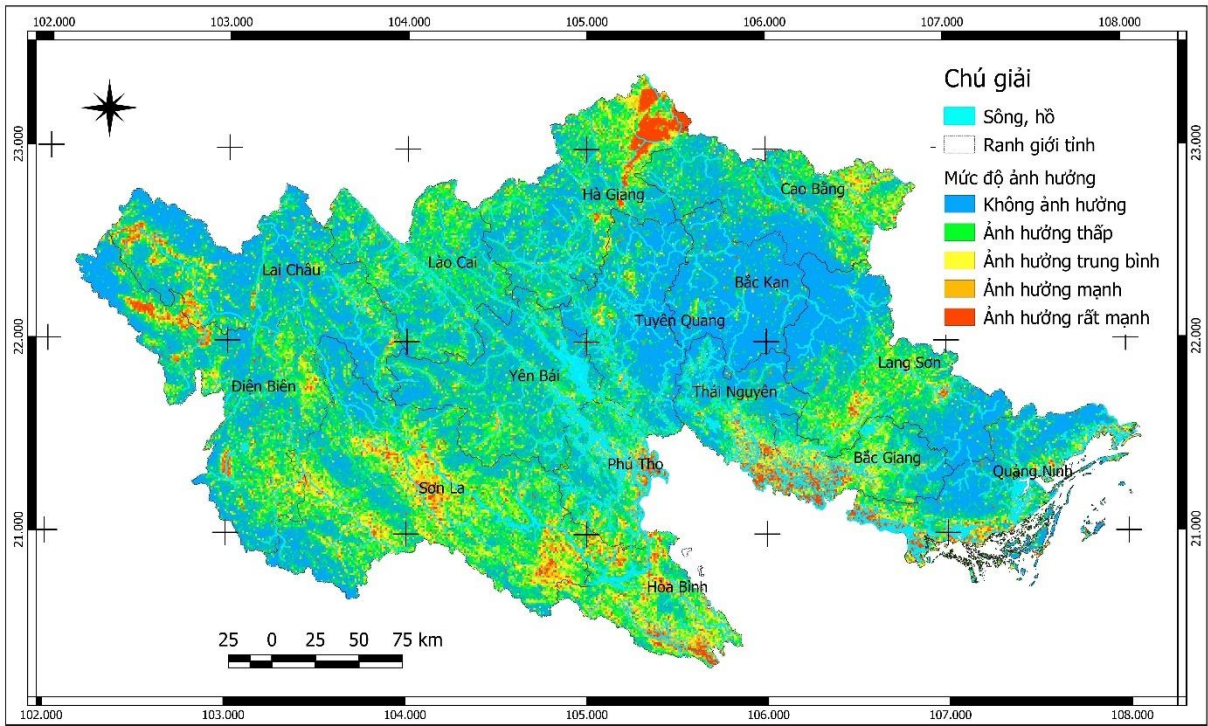
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố độ sâu thung lũng tới sự hình thành KTL



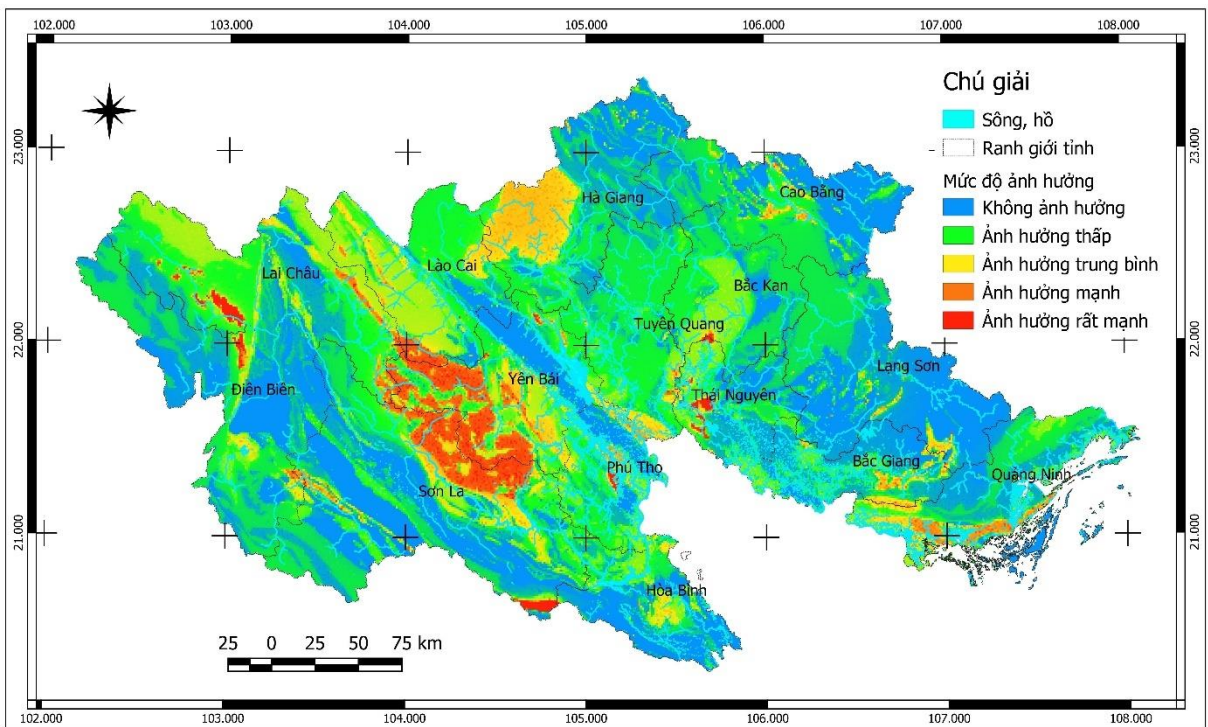
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố lượng mưa trung bình năm tới sự hình thành KTL



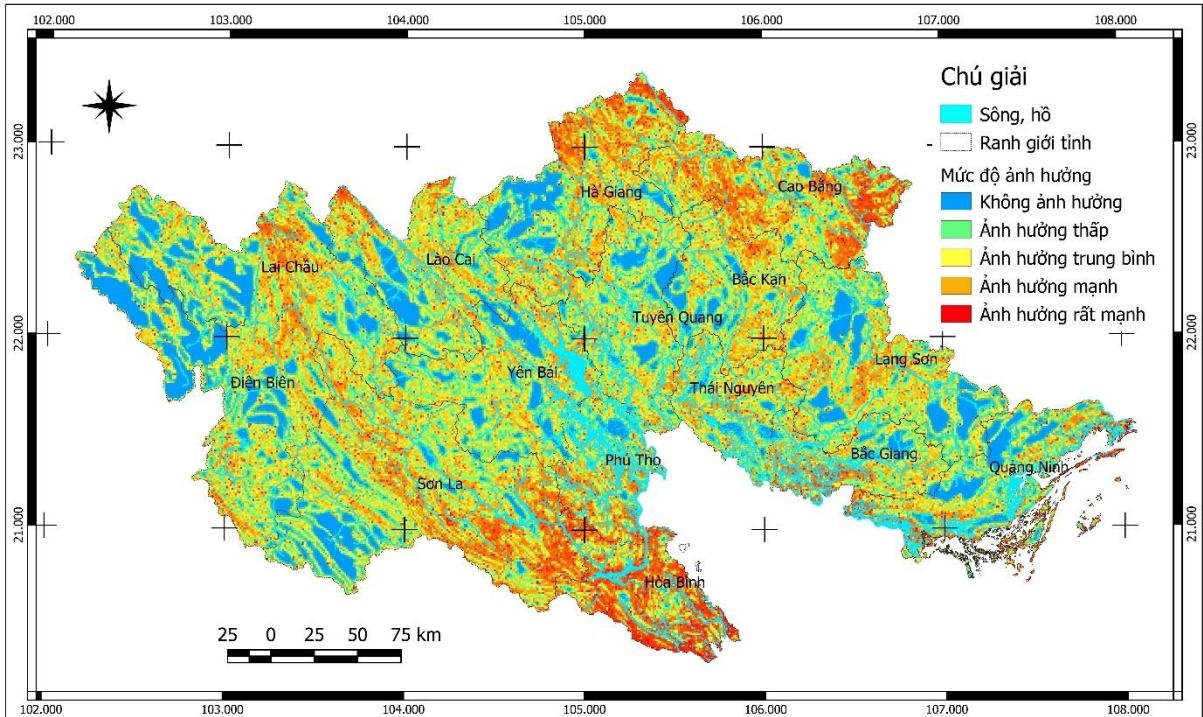
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố lượng mưa trận lớn nhất tới sự hình thành KTL



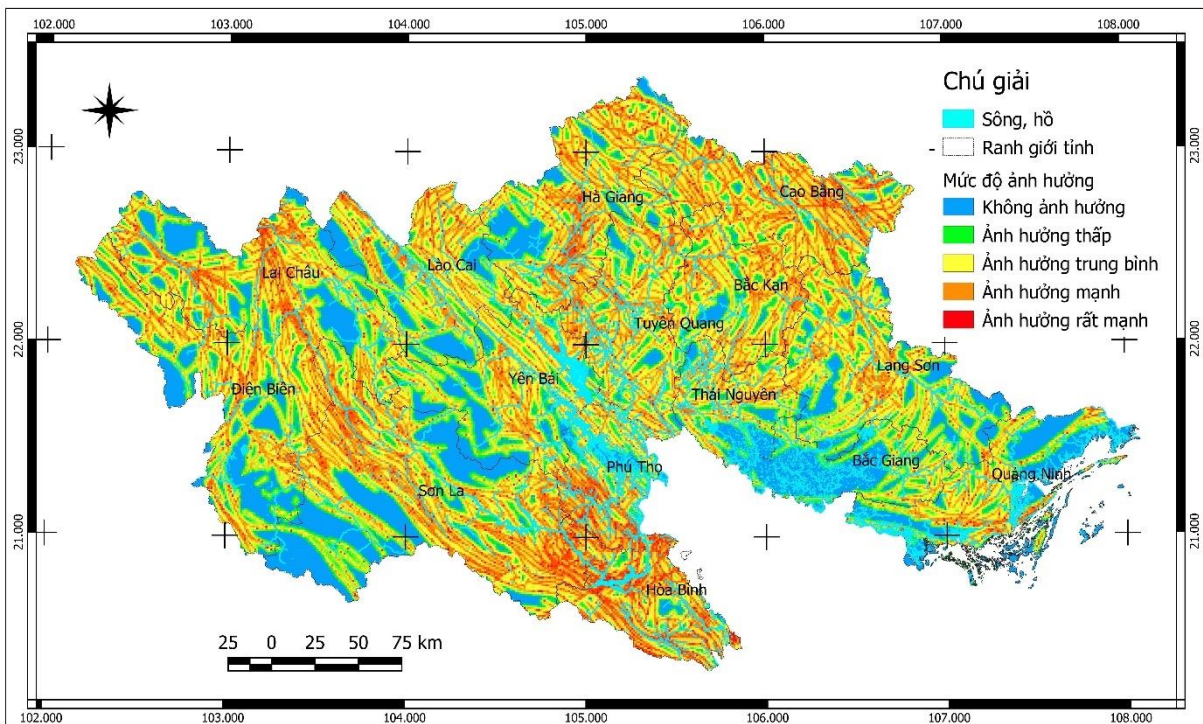
Bản đồ mức độ ảnh hưởng theo chỉ số khác biệt thực vật tới sự hình thành KTL



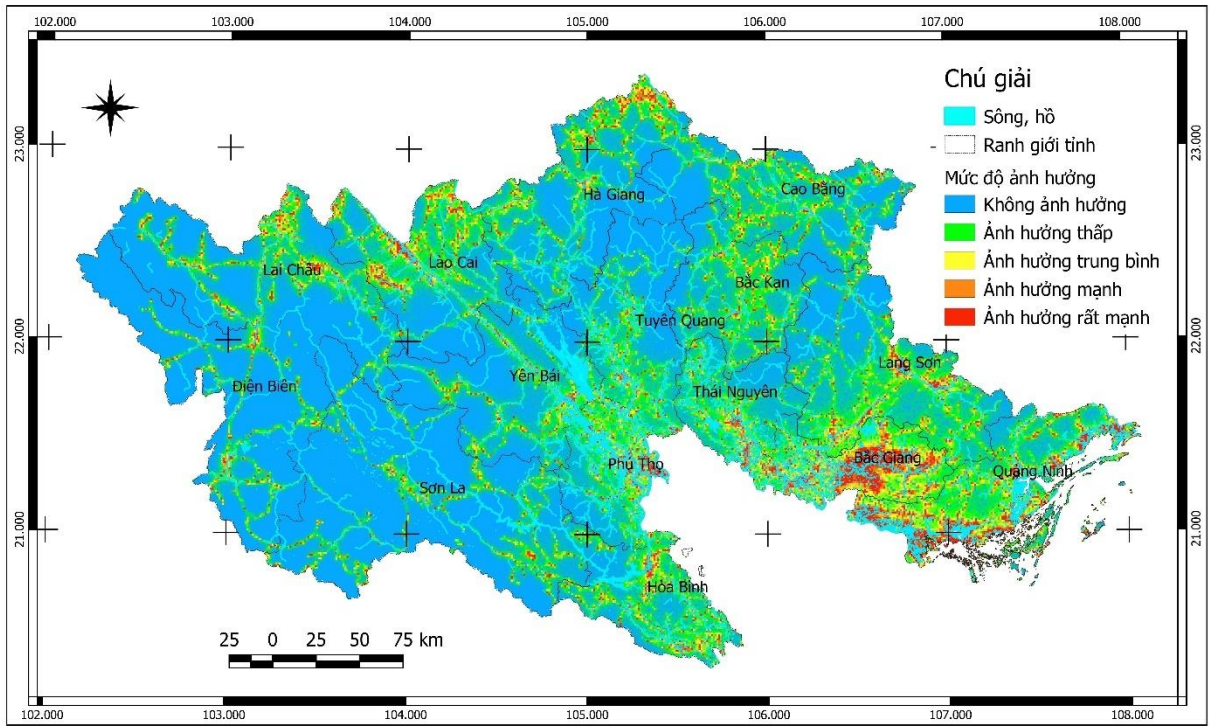
Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố thạch học tới sự hình thành KTL



Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố ranh giới thạch học tới sự hình thành KTL



Bản đồ mức độ ảnh hưởng của yếu tố khoảng cách tới đứt gãy tới sự hình thành KTL



Bản đồ mức độ ảnh hưởng của khoảng cách đến đường giao thông tới sự hình thành KTL

Phụ lục 3: Tổng hợp đặc điểm động học các KTL trong khu vực XM-HG

Stt	Tọa độ		Địa điểm	Kiểu trượt	Kích thước khối trượt lớn (m)			Thể tích (m ³)	Khoảng ảnh hưởng trung bình (m)	Tính khoảng cách tối đa phạm vi ảnh hưởng theo các công thức kinh nghiệm (m)			Log10 (Tan α)	Log10 (V)
	X	Y			L	R	H			V	Corominas (1996)	Rickenmann, (2005)		
CP202	104,45999	22,66895	Đầu cầu Nậm Dẩn thị trấn Cốc Pài	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	30	100	20	5.712	58,5	46,5	91,1	37,7	-0,466	3,757
CP207	104,46585	22,68029	Dưới trường dân tộc nội trú, thị trấn Cốc Pài	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	50	60	30	8.568	88,4	72,2	136,2	56,8	-0,469	3,933
CP32	104,45964	22,68163	Khu vực đài tưởng niệm thị trấn Cốc Pài	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	420	100	20	79.968	78,3	58,2	139,0	37,7	-0,593	4,903
CP30	104,46080	22,68627	Trượt vách taluy tại tổ 1 thị trấn Cốc Pài	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	100	80	10	7.616	32,1	23,8	53,7	18,8	-0,507	3,882
CP09	104,46065	22,69218	KTL tại thôn Vũ Khí	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	200	150	30	85.680	113,8	87,8	196,8	56,8	-0,579	4,933
TP10	104,46641	22,69389	Đầu cầu Cốc Pài cũ, thôn Vũ Khí	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	100	80	10	7.616	32,1	23,8	53,7	18,8	-0,507	3,882
TP3	104,46748	22,68396	Đầu cầu Cốc Pài mới tại thôn Cốc Sọc	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	50	50	20	4.760	57,3	45,8	88,5	37,7	-0,457	3,678
TP5	104,46509	22,69315	Bên vai phải đập thủy điện Sông Cháy 6 phía hạ lưu	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	150	100	15	21.420	52,0	39,0	88,7	28,3	-0,540	4,331
CP232	104,42565	22,68637	Đường vào thôn Na Pan	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	100	60	10	5.712	31,1	23,2	51,3	18,8	-0,493	3,757
CP55	104,41689	22,68184	Khối trượt tại suối Nậm Bản, thôn Na Pan	Trượt tịnh tiến theo sườn kéo theo vật liệu lũ tích trong suối	180	100	15	25.704	53,1	39,6	91,3	28,3	-0,549	4,410
CP56	104,41412	22,68138	KTL bờ phải suối Nậm Bản, thôn Na Pan	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	100	150	30	42.840	105,2	82,8	176,1	56,8	-0,545	4,632

CP01	104,45341	22,66999	Khối trượt cổ cuối thôn Cốc Cọc giáp với Cốc Pù	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	120	350	60	109.956	219,4	179,3	364,1	114,7	-0,563	5,041
CP06	104,45477	22,67083	KTL tại thôn Cốc Cọc, Tả Nhiu	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	70	120	40	31.987	132,3	107,6	213,4	76,0	-0,520	4,505
CP04	104,45944	22,67964	KTL nằm phía trên sân vận động thị trấn Cốc Pài	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	150	100	30	42.840	105,2	82,8	176,1	56,8	-0,545	4,632
TN03	104,46748	22,68396	Trượt lở cổ thôn Cốc Cam, Tả Nhiu	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	200	150	20	57.120	75,3	56,5	131,7	37,7	-0,576	4,757
TP02	104,46298	22,69534	KTL nằm trên sườn trượt cổ đầu thôn Cốc Sọc	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	200	150	15	42.840	56,2	41,4	99,1	28,3	-0,574	4,632
NX1	104,44051	22,66940	Trượt hỗn hợp trên đường vào xã Nàn Xin	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	50	100	20	9.520	61,7	48,6	98,9	37,7	-0,489	3,979
BD03	104,56597	22,74593	Khối trượt tịnh tiến tại khu vực bản Nà Lóng, xã Bản Dú	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	150	400	20	114.240	81,6	60,0	147,2	37,7	-0,611	5,058
BD05	104,55104	22,73455	Khối trượt lớn thôn Dú Hạ, xã Bản Dú	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	350	150	30	149.940	121,4	92,1	215,2	56,8	-0,607	5,176
BD06	104,55432	22,73815	Nhiều khối trượt liên tiếp thôn Dú Hạ, xã Bản Dú	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	250	100	20	47.600	73,8	55,7	127,9	37,7	-0,567	4,678
BD09	104,56036	22,74910	Khối trượt lớn thôn Mào Phố, xã Bản Dú	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	279	106	35	98.540	132,9	103,6	228,7	66,4	-0,579	4,994
ND01	104,51686	22,60880	KTL tại thôn Nậm Trà, Nậm Dẩn	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa hoàn toàn	50	100	20	9.520	61,7	48,6	98,9	37,7	-0,489	3,979
ND02	104,50159	22,60398	Ranh giới giáp ranh thôn Lũng Cháng và Ngam Lâm, Nậm Dẩn	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	120	80	20	18.278	66,3	51,3	109,8	37,7	-0,520	4,262
ND62	104,50012	22,60568	Khối trượt thôn Lũng Cháng	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	60	36,3	25,5	5.287	72,4	58,9	110,1	48,2	-0,453	3,723
ND64	104,51425	22,60565	Khối trượt lớn trong thôn Lũng Cháng	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	200	80	35	53.312	124,0	98,4	207,3	66,4	-0,549	4,727

TP35	104,52278	22,71428	Khối trượt lớn bản Pố Cồ xã Thèn Phàng	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	250	100	20	47.600	73,8	55,7	127,9	37,7	-0,567	4,678
ND21	104,48466	22,61500	Trượt đất khu vực cầu Năm Dẩn đường TL178	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	200	100	30	57.120	108,7	84,8	184,4	56,8	-0,559	4,757
XM31	104,49562	22,73306	Trượt lớn đầu xã Xín Mần	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	50	80	20	7.616	60,3	47,6	95,4	37,7	-0,479	3,882
XM42	104,49889	22,73056	Trượt trên đường vào xã Xín mần	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	85	125	30	30.345	101,3	80,4	166,7	56,8	-0,528	4,482
ND37	104,48754	22,62813	Khối trượt lên bãi đá cổ, gần vai đập thủy điện Năm Dẩn	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	90	120	30	30.845	101,5	80,5	167,1	56,8	-0,529	4,489
ND11	104,48443	22,60448	Đường vào thôn Năm Chanh	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	100	80	30	22.848	98,2	78,5	159,3	56,8	-0,515	4,359
ND5	104,48496	22,61084	Khối trượt phía sau chợ Tân Sơn, xã Năm Dẩn	Trượt hỗn hợp trong lớp phong hóa mạnh	250	130	45	139.230	173,5	137,2	297,8	85,6	-0,586	5,144
BD15	104,55202	22,74715	Khối trượt lớn thôn Díu Thượng xã Bản Díu	Trượt tịnh tiến trong lớp phong hóa hoàn toàn	150	50	30	21.420	97,5	78,0	157,7	56,8	-0,512	4,331