

ỨNG DỤNG PHÂN TÍCH ĐỊA HÌNH TRÊN MÔ HÌNH LẬP THỂ SỐ KẾT HỢP GIẢI ĐOÁN ẢNH VIỄN THĂM ĐỘ PHÂN GIẢI CAO ĐỂ THÀNH LẬP BẢN ĐỒ HIỆN TRẠNG TRƯỢT LỞ ĐẤT ĐÁ

NGUYỄN HOÀNG NINH^{1*}, PHẠM VĂN SƠN¹, NGUYỄN THỊ HẢI VÂN¹, NGUYỄN ĐỨC HÀ¹, NGUYỄN THỊ HUYỀN¹, NGUYỄN QUỐC KHÁNH¹, NGUYỄN THỊ LIÊN¹, TRẦN VĂN TRỌNG¹, NGUYỄN VIỆT TUẤN¹, NGUYỄN HUY DƯƠNG¹

¹Trung tâm Viễn thám và Tai biến Địa chất, Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

* Tác giả liên hệ: ninh.dcks@gmail.com

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, sự tiến bộ về kỹ thuật đo vẽ địa hình và công nghệ bay chụp ảnh viễn thám đã tạo nên sự đa dạng của nhiều loại tư liệu địa hình số và ảnh vệ tinh. Sự phát triển của các công nghệ xử lý dữ liệu và ảnh số đã giúp việc khai thác các nguồn tư liệu nói trên dễ dàng hơn, đặc biệt hiệu quả khi phục vụ các hoạt động điều tra, nghiên cứu tai biến địa chất, trong đó có tai biến trượt lở đất đá. Trong bài báo này, các tác giả sẽ trình bày kết quả nghiên cứu ứng dụng phân tích địa hình trên mô hình lập thể số kết hợp giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao để thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá. Nghiên cứu được áp dụng thử nghiệm tại khu vực xã Tam Chung, huyện Mường Lát, tỉnh Thanh Hóa. Trên cơ sở kết hợp việc phân tích bề mặt địa hình nổi tạo ra từ DEM có độ phân giải 5x5 m, với việc phân tích các ảnh vệ tinh được tham khảo miễn phí từ Google Earth, các tác giả đã xác định được 4 khối trượt cổ từ phân tích bề mặt địa hình nổi và 222 khối trượt mới từ giải đoán các cảnh ảnh Google Earth. Công tác khảo sát thực địa đã tiếp cận được 97 khối để kiểm chứng kết quả giải đoán (chiếm 42,92% tổng số lượng khối trượt giải đoán) và đã xác nhận được 94/97 khối đã xảy ra trượt lở đất đá. Như vậy, tỷ lệ giải đoán chính xác đạt tới ~96,91%, chứng tỏ việc ứng dụng phương pháp có hiệu quả cao trong việc nhận dạng các khối trượt. Tuy vẫn còn một số tồn tại do phụ thuộc vào nguồn tư liệu sẵn có, kết quả của nghiên cứu cho thấy những thế mạnh của phương pháp khi được ứng dụng tại những khu vực điều tra có đủ nguồn tư liệu địa hình và viễn thám theo yêu cầu. Phương pháp này có thể tiếp tục được phát triển thêm nhằm giám sát sự biến đổi của bề mặt địa hình theo thời gian, phục vụ hiệu quả hơn cho công tác lập các bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá ở tỷ lệ lớn.

Từ khóa: viễn thám, giải đoán ảnh, phân tích mô hình lập thể số, thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá

1. Mở đầu

Việt Nam có hơn 70% diện tích lãnh thổ trên đất liền là địa hình đồi núi, lại nằm trong khu vực nhiệt đới gió mùa, nên hàng năm phải hứng chịu nhiều loại hình thiên tai, đặc biệt là trượt lở đất đá (Hùng và nnk., 2014). Vào các mùa mưa bão, hiện tượng trượt lở đất đá thường xuyên xảy ra trên diện rộng, gây nhiều thiệt hại cho cộng đồng. Vì vậy, các hoạt động nghiên cứu, điều tra, đánh giá, dự báo, phân vùng và cảnh báo nguy cơ và rủi ro do trượt lở đất đá đóng vai trò quan trọng trong công tác phòng, chống thiên tai tại các khu vực miền núi. Trong đó, công tác điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá đóng vai trò tiên quyết, làm cơ sở khoa học cho các công tác phân vùng tiếp theo (Hùng và nnk., 2015; Luu, Vu, 2017). Công tác này phổ biến được tiến hành bằng các phương pháp truyền thống như khảo sát thực địa, điều tra địa chất - địa hình - địa mạo và các yếu tố đóng vai trò là nguyên nhân gây ra trượt lở đất đá. Các phương pháp truyền thống thường dựa vào các thiết bị đo lường một hoặc nhiều đặc điểm tự nhiên của khu vực được điều tra. Do vậy, khả năng quan sát các biến dạng mặt đất gặp nhiều giới hạn về không gian và thời gian thực hiện khảo sát.

Sự tiến bộ về kỹ thuật đo vẽ địa hình và các công nghệ bay chụp trong những năm gần đây đã tạo nên sự đa dạng của các loại tư liệu địa hình số và các loại ảnh viễn thám. Sự phát triển của các công nghệ xử lý dữ liệu số đã mang lại nhiều giải pháp mới cho công tác thu thập, cập nhật và điều tra hiện trạng trượt lở đất đá, đặc biệt là cho các khu vực rộng lớn và/hoặc khó tiếp cận. Có sự hỗ trợ của các công nghệ phân cứng, phần mềm đã giúp việc khai thác các nguồn tư liệu địa hình số và ảnh viễn thám được dễ dàng hơn, phục vụ hiệu quả nhiều lĩnh vực nghiên cứu, đặc biệt đối với các hoạt động điều tra, nghiên cứu tai biến trượt lở đất đá, bao gồm cả công tác thành lập hiện trạng (Hùng và nnk., 2014).

Sử dụng các tư liệu địa hình, phương pháp phân tích trên mô hình lập thể số thường được thực hiện để tạo ra nhiều lớp bản đồ thông số địa hình, ví dụ như: độ dốc và phân bậc độ dốc theo lưu vực và tiêu lưu vực; hệ thống dòng chảy (mạng sông suối); hướng phơi sườn của bề mặt địa hình; chiều dài sườn theo lưu vực và tiêu lưu vực; mặt lồi và các mặt cắt của mặt lồi; mặt lõm và các mặt cắt của mặt lõm; phân cắt sâu theo lưu

vực và tiểu lưu vực; phân cắt ngang theo lưu vực và tiểu lưu vực; bản đồ lưu vực sông suối và tiểu lưu vực sông. Phương pháp này hiện nay đang rất có ưu thế khi mà các tiến bộ về kỹ thuật đo vẽ địa hình đã cho phép xây dựng được các mô hình số độ cao (DEM) có độ phân giải ngày càng lớn, từ đó tạo lập được các bề mặt địa hình nổi ngày càng chi tiết.

Sử dụng các tư liệu ảnh viễn thám, phương pháp giải đoán các loại ảnh đa thời kỳ có độ phân giải cao có thể cung cấp thông tin liên quan đến các giai đoạn trượt lở trong quá khứ tại những khu vực điều tra chi tiết. Hơn nữa, phương pháp giải đoán ảnh viễn thám có nhiều lợi thế hơn khi rút ngắn thời gian ở giai đoạn xử lý hậu kỳ, trong khi đó, các phương pháp khảo sát truyền thống thường mất rất nhiều thời gian để hiệu chỉnh số liệu nhằm loại bỏ những lỗi hệ thống hoặc hiệu chỉnh lại các thiết bị đo (Leopold et al., 2017).

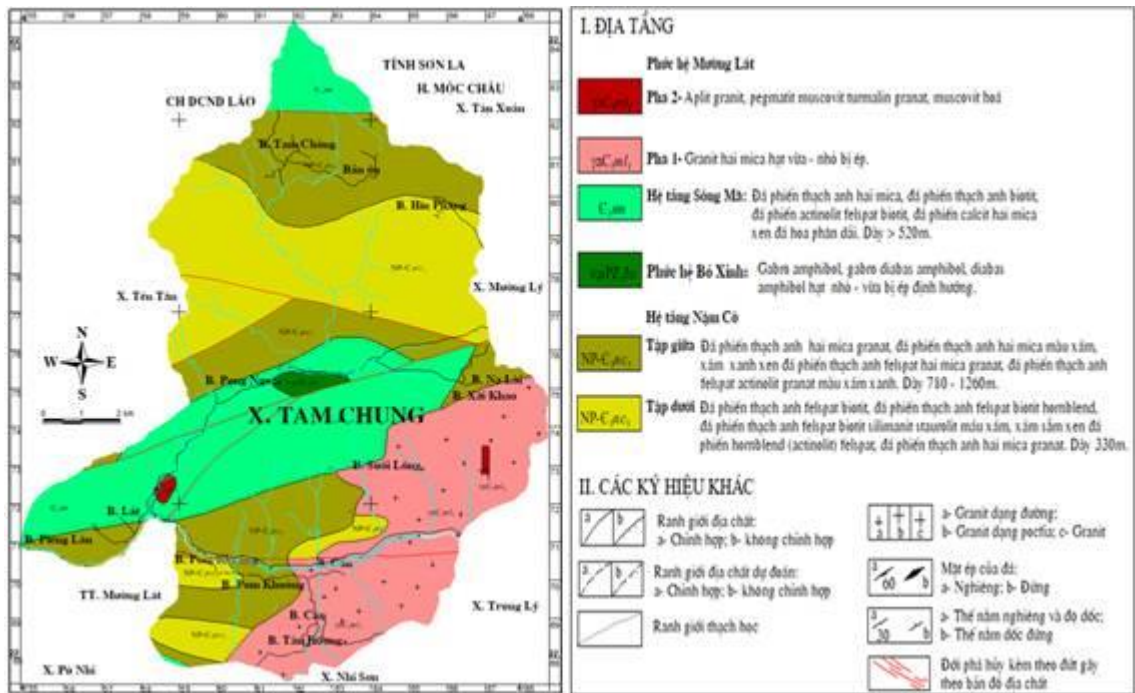
Tại Việt Nam, từ năm 2012 đến nay, việc ứng dụng phân tích địa hình trên mô hình lập thể số và giải đoán ảnh viễn thám quang học có độ phân giải cao đã và đang được áp dụng trong Đề án Chính phủ “*Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam*”. Tuy đã đạt được một số kết quả đáng khích lệ, nhưng các sản phẩm tạo ra mới chỉ phục vụ cho công tác thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá ở tỷ lệ trung bình (1:50.000 hoặc nhỏ hơn), chưa có sự đối sánh sự phát triển của khối trượt theo thời gian (Hùng et al., 2017; Luu, Vu, 2017). Để khắc phục tồn tại nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện với mục đích xác định khả năng ứng dụng phân tích hình trên mô hình lập thể số kết hợp giải đoán ảnh vệ tinh độ phân giải cao trong công tác thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá cho khu vực điều tra chi tiết (ở tỷ lệ 1:10.000 hoặc lớn hơn).

2. Khu vực nghiên cứu

Nghiên cứu được áp dụng thử nghiệm tại khu vực xã Tam Chung - là một trong các xã miền núi cao của huyện Mường Lát, tỉnh Thanh Hóa. Xã có diện tích tự nhiên khoảng 123,89km², được giới hạn trong tọa độ từ 20°29'54" đến 20°39'12" độ vĩ Bắc và từ 104°34'02" đến 104°41'58" độ kinh Đông.

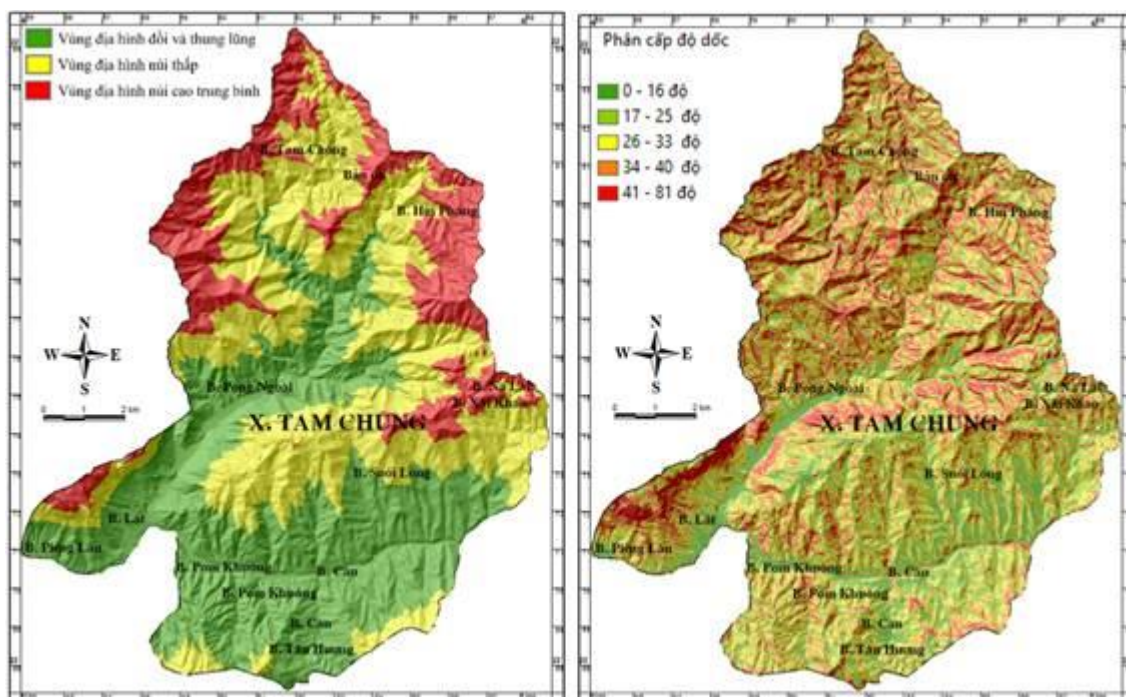
Về đặc điểm địa chất, cấu tạo nên bình đồ cấu trúc của khu vực xã Tam Chung bao gồm 4 thành tạo địa chất sau đây (Hình 1): (1) Hệ tầng Nậm Cô (NP-_{1nc}) chiếm diện tích khá lớn trên địa bàn xã, gồm tập giữa có thành phần thạch học chủ yếu là đá phiến thạch anh hai mica granat, đá phiến thạch anh hai mica màu xám, xám xanh xen đá phiến thạch anh feldspar hai mica granat, đá phiến thạch anh feldspar actinolit granat màu xám xanh; và tập dưới có thành phần thạch học chủ yếu là đá phiến thạch anh feldspar biotit, đá phiến thạch anh feldspar biotit hornblend (actinonit), đá phiến thạch anh hai mica granat; (2) Hệ tầng Sông Mã (_{1sm}) có diện tích chủ yếu ở trung tâm của xã, nằm xen kẹp với các thành tạo của Hệ tầng Nậm Cô, có thành phần thạch học chủ yếu là đá phiến thạch anh hai mica, đá phiến thạch anh biotit, đá phiến actinolit fenspat biotit, đá phiến calcit hai mica xen đá hoa phân dải; (3) Phức hệ Mường Lát (_{1ml}) xuất lộ với dạng khối nhỏ và đai mạch chủ yếu ở phía tây nam của xã, có thành phần chủ yếu là aplit granit, pegmatit muscovit turmalin granat, muscovit hóa; (4) Phức hệ Bó Xinh (_{1bx}) chỉ lộ khối nhỏ ở phần trung tâm xã, có thành phần thạch học chủ yếu là gabro amphibol, gabro diabas amphibol, diabas amphibol hạt nhỏ - vừa bị ép định hướng (Hùng và nnk., 2002). Kết quả khảo sát thực địa trên địa bàn xã Tam Chung cho thấy hiện tượng trượt lở đất đá phân lớn xuất hiện tại các khu vực phân bố trên các thành tạo thuộc Hệ tầng Nậm Cô và rải rác một số vị trí trên các thành tạo thuộc Hệ tầng Sông Mã và Phức hệ Mường Lát.

Về đặc điểm kiến tạo, trong khu vực xã Tam Chung phát triển chủ yếu hệ thống đứt gãy chính theo phương theo phương tây bắc - đông nam. Hệ thống đứt gãy này phát triển xuyên cắt qua các thành tạo địa chất thuộc Hệ tầng Nậm Cô và Hệ tầng Sông Mã (Hùng và nnk., 2002).



Hình 1. Sơ đồ phân bố các thành tạo địa chất khu vực xã Tam Chung theo tài liệu bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000 Từ Bản Na San+Bản Na Tao - Nhóm từ Mường Lát (Hùng và nnk., 2002).

Về đặc điểm địa hình, xã Tam Chung có địa hình chủ yếu là núi cao liên kết tạo thành các dãy núi liên hoàn, bị chia cắt bởi các con suối tạo thành từng vùng riêng biệt (Hình 2). Địa hình toàn vùng có hình lòng chảo nghiêng theo 3 hướng: đông bắc, tây bắc và đông nam. Độ cao tuyệt đối trung bình từ 650-700m; độ dốc lớn trung bình từ 25-35°, có nơi >35°. Nơi thấp nhất tại khu vực cửa sông Mã, ở rìa đông nam của xã với độ cao tuyệt đối ~135 m; nơi cao nhất tại vùng núi ở rìa tây bắc của xã với độ cao tuyệt đối ~1.574 m. Địa hình xã Tam Chung có thể chia làm 3 vùng đặc trưng như sau: (1) Vùng địa hình đồi và thung lũng: có độ cao tuyệt đối ~135-569 m, chiếm ~43% diện tích tự nhiên toàn xã, phân bố chủ yếu ở phía nam và rìa tây nam của xã, và một dải hẹp ở vùng trung tâm của xã, bao gồm phần lớn các điểm dân cư của xã; (2) Vùng địa hình núi thấp: có độ cao tuyệt đối ~572-956 m, chiếm ~39% diện tích tự nhiên toàn xã, phân bố chủ yếu ở vùng trung tâm của xã, và một số dải nhỏ ở rìa phía nam của xã, bao gồm một số điểm dân cư thuộc bản Tam Chông, bản Ón 3 và bản Suối Lóng; (3) Vùng địa hình núi cao trung bình: có độ cao tuyệt đối từ ~957-1.574 m, chiếm ~18% diện tích tự nhiên toàn xã, phân bố chủ yếu ở vùng núi rìa tây bắc và đông bắc của xã, bao gồm một số điểm dân cư thuộc bản Ón, bản Tam Chông và bản Sài Khao. Hoạt động trượt lở đất đá được ghi nhận xảy ra nhiều nhất ở vùng địa hình đồi và núi thấp. Đặc biệt ở vùng địa hình đồi là nơi tập trung dân cư, diễn ra nhiều hoạt động nhân sinh gây nguy cơ trượt cao như san gạt sườn đồi, tạo các vách taluy cao để xây dựng các công trình giao thông, nhà cửa...



Hình 2. Sơ đồ phân bố các vùng địa hình theo độ cao (hình trái) và sơ đồ phân cấp độ dốc địa hình (hình phải) khu vực nghiên cứu xã Tam Chung.

Nhìn chung, xã Tam Chung có địa hình phân cắt mạnh, sườn dốc, đất đá bị phong hóa và đập vỡ mạnh, độ ổn định sườn thấp... Những đặc điểm này đã hội tụ khá đầy đủ các điều kiện thuận lợi cho sự phát sinh và phát triển hiện tượng trượt lở đất đá, gây ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống dân cư và các công trình xây dựng trong vùng. Hơn nữa, trên địa bàn xã còn có hệ thống giao thông dễ bị tổn thương bởi hiện tượng trượt lở đất đá và các thiên tai liên quan, nên khi xuất hiện sạt, trượt sẽ dẫn đến cô lập cả khu vực dân cư, ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống và sinh hoạt của người dân địa phương. Điển hình nhất là các sự kiện thiên tai xảy ra vào tháng 8/2018 và tháng 7/2019: do ảnh hưởng của các đợt mưa bão lớn, với lượng mưa trung bình hơn 200mm/ngày đã gây ra trượt lở đất đá, lũ quét, lũ bùn đá tại nhiều khu vực. Nhiều bản và các điểm dân cư đã bị cô lập hoàn toàn, gây ra thiệt hại lớn trên địa bàn xã.

Trong khuôn khổ Đề án “Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam”, toàn bộ diện tích khu vực xã Tam Chung đã từng được điều tra, đánh giá hiện trạng và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá ở tỷ lệ 1:50.000 trong giai đoạn 2012-2014. Theo kết quả điều tra hiện trạng (do Liên đoàn Địa chất Tây Bắc thực hiện vào năm 2012), xã Tam Chung đã ghi nhận được 16 vị trí đã xảy ra trượt lở đất đá. Theo kết quả thành lập bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá (do Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản thực hiện vào năm 2014), xã Tam Chung được đánh giá là một trong các xã có nguy cơ trượt lở đất đá rất cao của huyện Mường Lát, với tổng diện tích khu vực có nguy cơ cao và rất cao chiếm khoảng 2/3 diện tích tự nhiên toàn xã.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Dữ liệu đầu vào chính

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng hai nguồn dữ liệu chính sau đây:

- Dữ liệu mô hình số độ cao (DEM) có độ phân giải 5m x 5m, được thành lập từ nền bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000 do Tổng Công ty Tài nguyên và Môi trường xây dựng từ trước năm 2012.

- Dữ liệu ảnh viễn thám quang học độ phân giải cao (từ 0,5m đến 5m) được truy cập miễn phí từ phần mềm Google Earth. Trong thời gian thực hiện nghiên cứu này (2019-2020), các tác giả đã tham khảo được 04 cảnh ảnh có diện tích bay chụp khu vực xã Tam Chung. Thông tin cụ thể về 04 cảnh ảnh này được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông tin 4 cảnh ảnh Google Earth được sử dụng cho khu vực nghiên cứu xã Tam Chung.

Ngày bay chụp ảnh	Độ che phủ của cảnh ảnh trên diện tích xã	Chất lượng ảnh
27/6/2014	100%	Ảnh có nhiều mây
31/3/2015	70%	Ảnh rõ nét, không mây
12/10/2018	30%	Ảnh rõ nét, nhiều mây
26/4/2019	90%	Ảnh tối, không mây

3.2. Phương pháp thực hiện

Nghiên cứu được thực hiện trên cơ sở áp dụng kết hợp hai phương pháp chính, bao gồm: phân tích địa hình trên mô hình lập thể số và giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao. Kết quả phân tích, giải đoán sau đó được tiến hành kiểm chứng bằng công tác khảo sát thực địa. Trình tự thực hiện trong nghiên cứu này tuân theo một quy trình như thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Quy trình thực hiện ứng dụng phân tích địa hình trên mô hình lập thể số và giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao để thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá.

Quy trình này có thể áp dụng mở rộng cho nhiều nguồn dữ liệu sẵn có (ví dụ: ảnh hàng không, ảnh vệ tinh độ phân giải cao, các loại ảnh truy cập miễn phí như từ Google Earth, các bản đồ địa hình 1:10.000, 1:5.000...) và cho các công nghệ viễn thám mới cập nhật (ví dụ như tạo ảnh lập thể, các loại mô hình số...). Kết quả thực hiện theo quy trình sẽ rút ngắn thời gian phân tích, giải đoán trong phòng cũng như thời gian khảo sát ngoài thực địa. Từ đó sẽ giảm bớt chi phí và nhân lực thực hiện công tác điều tra hiện trạng trượt lở đất đá tại các khu vực điều tra chi tiết. Nội dung thực hiện từng phương pháp cụ thể như sau:

3.2.1. Phương pháp phân tích địa hình trên mô hình lập thể số

Phân tích địa hình trên mô hình lập thể số tỷ lệ 1:10.000 là phương pháp phân tích dựa trên nền Bản đồ địa hình cơ sở tỷ lệ 1:10.000 (đã xuất bản) kết hợp với công nghệ đo vẽ lập thể nhằm chi tiết hóa một cách đồng bộ nền địa hình, biên tập ghép mảnh và cơ sở dữ liệu 3D theo đơn vị hành chính (từ cấp tỉnh đến cấp xã), tạo ứng dụng ảnh lập thể, tạo mô hình số độ cao (DEM) chi tiết theo đơn vị hành chính và thực hiện các bài toán ứng dụng. Do vậy, phương pháp này cho phép tạo các ảnh lập thể từ các ảnh viễn thám quang học (ảnh hàng không, ảnh vệ tinh độ phân giải cao), tạo thuận lợi và tăng độ chính xác cho việc phân tích, giải đoán tại văn phòng, giảm khối lượng đo vẽ và khảo sát thực địa, đặc biệt đối với các khu vực đi lại khó khăn ở các vùng miền núi Việt Nam. Bên cạnh đó, mô hình số địa hình chi tiết là cơ sở tài liệu quan trọng để phục vụ các bài toán dự báo nguy cơ và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá và các tai biến địa chất khác liên quan.

Để tạo ảnh lập thể cho các loại ảnh viễn thám quang học, trước tiên ảnh phải được nắn chỉnh hình học (ảnh hàng không, ảnh vệ tinh) và nắn chỉnh phổ (ảnh vệ tinh). Ảnh sau nắn chỉnh sẽ được xử lý cùng với mô hình số độ cao trong phần mềm GIS để tạo ảnh lập thể (hình ảnh 3 chiều - 3D). Ảnh lập thể là cặp ảnh giả lập chụp cùng một khu vực nhưng ở hai góc chụp khác nhau. Hai ảnh này sẽ sử dụng để chồng ghép và phủ hai lớp màu xanh dương - đỏ (hoặc xanh lá cây - đỏ) tương ứng với mỗi ảnh, để tạo ra hiệu ứng sâu của ảnh. Để xem được ảnh nổi cần phải sử dụng kính ảnh nổi hai màu, với mỗi mắt kính là màu đối lập nhau, thường là đỏ và xanh dương (Westen et al., 2010).

Việc phân tích địa hình trên mô hình lập thể số để giải đoán các khối trượt chủ yếu là thực hiện phân tích bề mặt địa hình nổi được tạo lập từ DEM (Westen et al., 2010). Các khối trượt được giải đoán bằng

phương pháp này chủ yếu là khối trượt cổ, xảy ra từ trước thời điểm bản đồ địa hình (để thành lập DEM) được xây dựng. Phương pháp này đã được Leopold và các cộng sự áp dụng để thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá cho khu vực Tây Trung Quốc, và được đánh giá có hiệu quả cao sau khi so sánh kết quả với phương pháp thực địa (Leopold et al., 2017). Khi tiến hành phương pháp phân tích địa hình trên mô hình lập thể số, các lớp bản đồ về các thông số địa hình (ví dụ: độ dốc, bóng đổ, độ nhám, mức độ lồi lõm của địa hình...) cũng sẽ được chiết xuất từ DEM. Trong đó, lớp bản đồ độ lồi lõm địa hình khi kết hợp với lớp bản đồ bóng đổ địa hình sẽ tạo nên lớp bản đồ bề mặt địa hình nổi. Sau đó, các khối trượt giải đoán sẽ được phân tích dựa trên các đặc điểm địa mạo được thể hiện rõ nét trên bề mặt địa hình nổi, hoặc dựa trên sự biến đổi của hệ thống dòng chảy.

3.2.3. Phương pháp giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao

Phương pháp này được thực hiện bằng mắt thường, chủ yếu dựa trên các "chìa khóa giải đoán" với sự trợ giúp của các thiết bị máy tính, phần mềm... Chìa khóa giải đoán là các dấu hiệu, đặc trưng để phân biệt một đối tượng trên bề mặt Trái đất, được thiết lập chủ yếu dựa vào kinh nghiệm và kiến thức chuyên gia của người giải đoán (Hùng và nnk., 2014). Các chìa khóa giải đoán chính bao gồm:

- *Tone ảnh*: Là tổng hợp lượng sáng được phản xạ bởi bề mặt đối tượng, hay nói cách khác, nó là sự thể hiện màu ở các cường độ khác nhau. Ví dụ: những khu vực đất trống hay khu vực mới xảy ra trượt lở thường có tone ảnh sáng; các vùng thảm phủ thì tone ảnh tối. Đây là một yếu tố quan trọng để đánh giá tuổi của khối trượt.

- *Hình dạng (shape)*: Là đặc trưng bên ngoài tiêu biểu cho từng đối tượng. Ví dụ: rừng trồng hay ruộng lúa thường có hình đa giác hoặc ô vuông; các vách trượt có dạng cung bán nguyệt; chân khối trượt có dạng lồi hình nan quạt.

- *Màu sắc (color)*: Màu sắc của đối tượng trên ảnh thường là kết quả của một tổ hợp màu, giúp cho người giải đoán dễ dàng phân biệt các đối tượng hơn. Tùy theo mục đích nghiên cứu mà người giải đoán lựa chọn tổ hợp màu sao cho các đối tượng quan tâm được hiển thị tốt nhất.

- *Kiến trúc (pattern)*: Thể hiện mối liên quan đến sự sắp xếp của các đối tượng về mặt không gian. Ví dụ: sự sắp xếp về mặt không gian của cây trong vườn thường trái ngược với cây ở rừng (vườn cây: rời rạc, rừng: mảng lớn); các đối tượng ảnh dạng tuyến (đường thẳng) thường là đường quốc lộ, các đứt gãy, khe nứt...

- *Cấu trúc (texture)*: Là tần số lặp lại của sự thay đổi tone ảnh, được tạo ra bởi tập hợp nhiều đặc trưng rất nhỏ của từng đối tượng riêng biệt, thể hiện là đối tượng có cấu trúc mịn hay thô. Ví dụ: thảm cỏ có cấu trúc hạt mịn, thảm thực vật có tán có cấu trúc hạt thô.

- *Vị trí (site)*: Liên quan đến vị trí địa lý của đối tượng, là một yếu tố quan trọng để phân biệt các đối tượng, nhất là với các loại thực vật, bởi vì cùng một dấu hiệu ảnh nhưng ở các vị trí khác nhau có thể là các đối tượng khác nhau.

- *Tổ hợp các mối quan hệ*: Là yếu tố liên quan đến một vài đặc trưng của đối tượng cần nghiên cứu với các đối tượng xung quanh nó. Bên cạnh đó, các thông tin về thời gian chụp hay mùa chụp ảnh cũng được đặc biệt quan tâm như một chìa khóa giải đoán.

Ngoài việc dựa vào các chìa khóa giải đoán nêu trên, người giải đoán còn cần phải có kiến thức về địa hình, địa mạo, thảm phủ và mạng lưới dòng chảy để có thể xác định chính xác các kiểu trượt. Một số tiêu chuẩn giải đoán được các tác giả tham khảo và áp dụng trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 2.

3.2.4. Kiểm chứng thực địa

Để các kết quả phân tích, giải đoán ảnh viễn thám đạt độ chính xác cao, công tác kiểm tra, đối sánh với các tài liệu khác hiện có và/hoặc kiểm chứng thực địa đóng vai trò quan trọng. Việc kiểm chứng thực địa chủ yếu được tiến hành tại những ô chìa khóa, bởi phần lớn địa hình khu vực nghiên cứu có độ phân cắt phức tạp, không có đường để tiếp cận, hoặc không thể quan sát rõ do rừng rậm hoặc sương mù che khuất.

Bảng 2. Một số tiêu chuẩn giải đoán trên ảnh viễn thám tương ứng với hình thái các kiểu trượt phổ biến trong khu vực nghiên cứu làm cơ sở nhận diện các khối trượt (Stumpf et al., 2011).

Kiểu trượt	Tiêu chuẩn giải đoán		
	Địa mạo	Thảm phủ	Dòng chảy
Đổ, lở, rơi	<ul style="list-style-type: none"> - Các vách đá có bề mặt lộ đá gốc liên kết với một sườn đá dăm sắc cạnh (độ dốc của vách: 20°-30°) và nón phóng vật. - Các vách đá nứt nẻ (độ dốc >50°) nối liền với máng trượt. 	<ul style="list-style-type: none"> - Thực vật xuất hiện theo dạng tuyến phía trên các vách trượt lộ đá gốc. - Mật độ thảm phủ rất thấp (gần như không có) trên các sườn đá dăm. 	Không có đặc điểm đặc biệt.
Trượt xoay	<ul style="list-style-type: none"> - Có sự thay đổi đột ngột trong hình thái của sườn, đặc trưng bởi hình thái dạng lồi (chân khối trượt) và lõm (hốc, cung trượt). - Thường có kiểu sườn dạng bậc. - Đỉnh khối trượt có hình bán nguyệt, phần chân thì lồi ra phía trước. - Mặt dốc, vách nghiêng về sau, hình thái gò đồng ở phân tích tụ. - Tỷ lệ chiều sâu/chiều dài của khối trượt từ 0,3 đến 0,1. Độ dốc của vách trượt từ 20° đến 40°. 	<ul style="list-style-type: none"> - Thực vật thưa thớt so với khu vực xung quanh. - Thực vật có khác biệt do thay đổi môi trường dòng chảy. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tương phản với những sườn không bị phá hủy. - Thoát nước mặt kém, hoặc đọng nước trong các hốc đá hoặc những khu vực nghiêng về sau. - Có sự rỉ nước ở trực diện vách lồi.
Trượt tịnh tiến, trượt phẳng, trượt theo mặt lớp	<ul style="list-style-type: none"> - Xuất hiện các khe nứt ở phần đỉnh, mặt trượt bằng phẳng. - Độ sâu khối trượt tương đối nông, ở lớp bề mặt phong hóa ngay trên đá gốc. - Tỷ lệ chiều sâu/chiều dài của khối trượt <0,1 và khối trượt có chiều rộng lớn. - Trượt tịnh tiến dịch chuyển như một khối cố kết chặt chẽ, thường xuất hiện các đường gân song song trên mặt trượt. 	Khu vực đỉnh khối trượt và khu vực vận chuyển vật liệu khối trượt bị bóc mòn. Thảm thực vật khác biệt trên phần thân khối trượt.	- Dòng chảy bị lệch hoặc bị chặn bởi vật liệu khối trượt.
Trượt dòng, lũ bùn đá	<ul style="list-style-type: none"> - Dòng vật liệu khối trượt bao phủ một diện tích lớn, với hàm lượng bùn và cuội tăng cao trong một dạng hình quạt (nón phóng vật). - Vật liệu lắng đọng cả ở nón phóng vật tại cửa thung lũng và ở chân sườn dốc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Thảm thực vật ở bị chôn vùi bởi dòng bùn đá; - Đôi khi còn nhìn thấy các cây to vẫn còn đứng vững trong dòng bùn đá, hoặc gốc cây vẫn còn đó. 	<ul style="list-style-type: none"> - Xáo trộn trên thân trượt. - Dòng nguyên thủy bị chặn hoặc bị đổi dòng bởi dòng vật liệu khối trượt.

Công tác kiểm chứng thực địa thường được tiến hành theo một trình tự như sau: (1) Xác định các vị trí có biểu hiện trượt lở đất đá đã được phân tích, giải đoán trong phòng; (2) Nhận dạng các đối tượng đó ngoài thực tế, đối sánh với kết quả giải đoán; (3) Xác định các dấu hiệu địa hình cụ thể phát sinh khối trượt mới, sơ bộ tìm hiểu nguyên nhân và các yếu tố thúc đẩy quá trình trượt lở đất đá; (5) Nhận dạng lại các dấu hiệu địa hình trên ảnh viễn thám và bề mặt địa hình nổi để làm cơ sở cho việc nâng cao chất lượng và độ chính xác của công tác giải đoán tiếp theo.

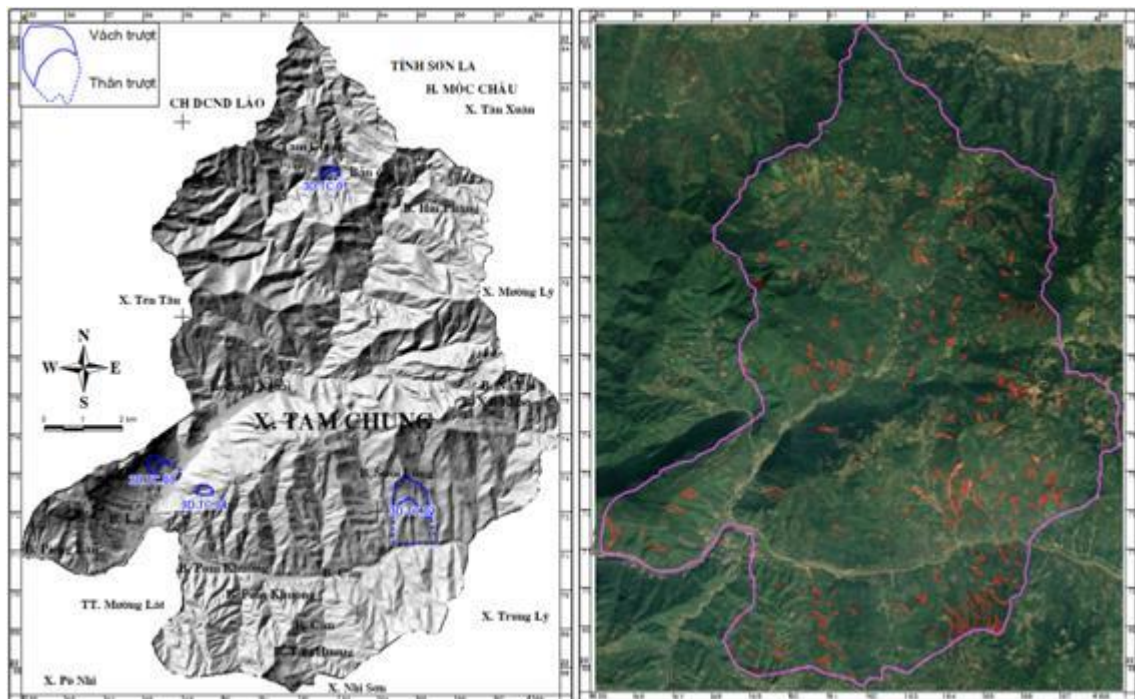
4. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

4.1. Kết quả phân tích địa hình và giải đoán ảnh viễn thám

Từ kết quả phân tích địa hình trên mô hình lập thể số (dựa trên bề mặt địa hình nổi tạo lập từ DEM), các tác giả đã khoanh định được 4 khối trượt với tổng diện tích ~2,05km² (Hình 4). Trong đó, khối trượt 3D.TC.02 ở bản Suối Lóng có diện tích lớn nhất với diện tích vách trượt ~0,53km² và thân trượt ~0,97km²; khối trượt 3D.TC.04 ở bản Lát có diện tích nhỏ nhất ~0,09km² do chỉ xác định được vách trượt, còn thân khối trượt đã

bị dòng chảy đã cuốn trôi hết vật liệu trên bề mặt. Chúng có thể được coi là 4 “khối trượt cổ”, bởi vì dữ liệu DEM tạo lập từ bản đồ địa hình tỷ lệ 1:10.000 được xây dựng từ trước năm 2012.

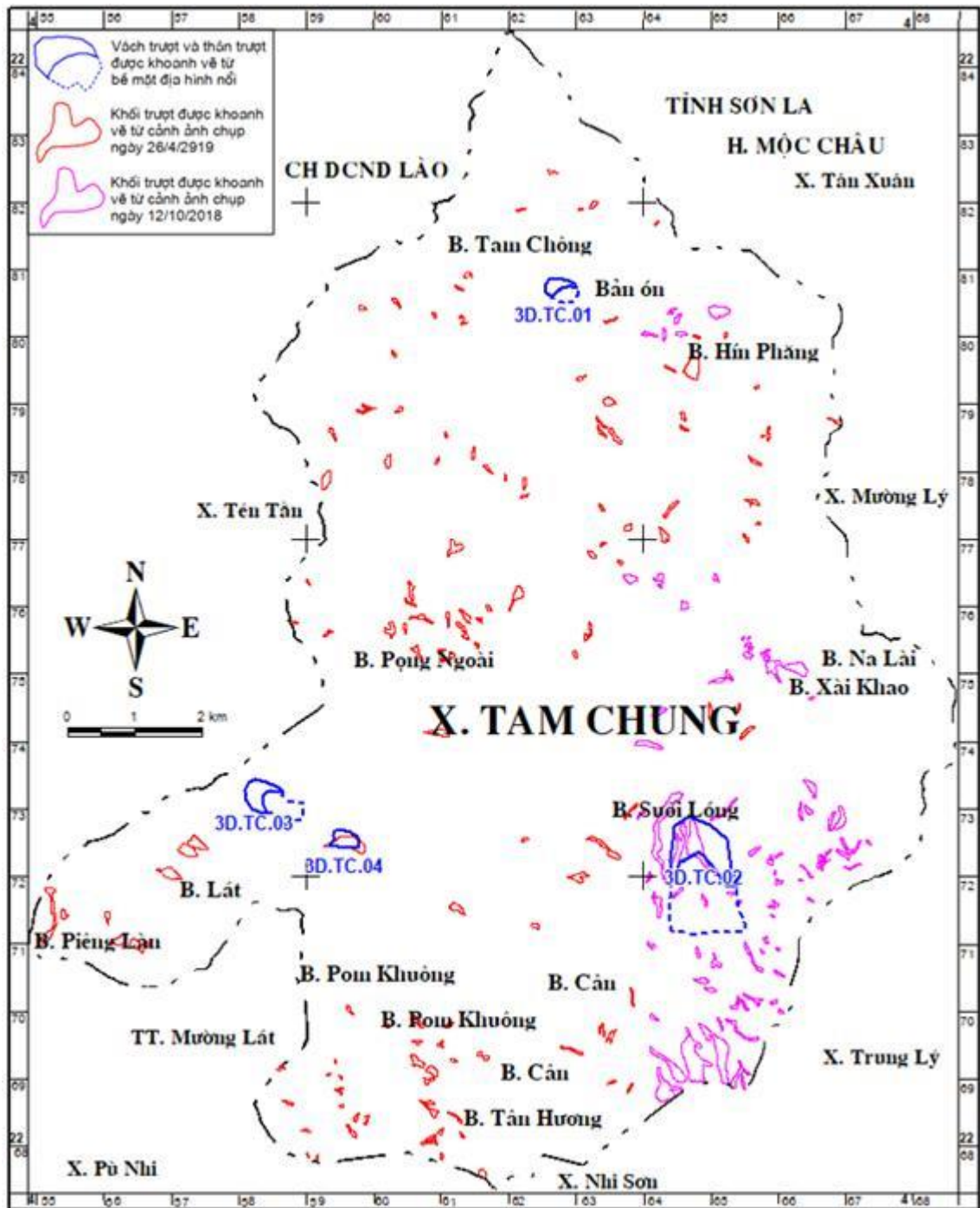
Từ kết quả giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao (dựa trên 4 cảnh ảnh Google Earth), các tác giả đã khoanh định được 222 diện tích có biểu hiện trượt lở đất đá (hay còn gọi là “khối trượt giải đoán”) trên địa bàn xã Tam Chung, với tổng diện tích ~2,56km² (Hình 4). Khối trượt giải đoán có diện tích lớn nhất ~155.535m² và bé nhất ~571m². Trong số 222 khối trượt giải đoán, có 86 khối được xác định từ cảnh ảnh bay chụp ngày 12/10/2018; 136 khối được xác định từ cảnh ảnh chụp ngày 26/4/2019; còn lại không xác định được diện tích hay vị trí nào có biểu hiện trượt lở đất đá từ các cảnh ảnh bay chụp ngày 27/6/2014 và 31/3/2015. Do vậy, 222 diện tích khối trượt giải đoán này, nếu được kiểm chứng đã xảy ra trượt lở đất đá, thì có thể được coi là các “khối trượt mới”.



Hình 4. Kết quả giải đoán các vị trí/ diện tích có biểu hiện trượt lở đất đá khu vực nghiên cứu xã Tam Chung dựa trên phương pháp phân tích địa hình trên mô hình lập thể số (hình trái) và phân tích ảnh viễn thám độ phân giải cao Google Earth (hình phải).

Có thể thấy có sự khác nhau rõ rệt trong kết quả mang lại từ phân tích bề mặt địa hình nổi (xác định được 4 khối trượt cổ) và giải đoán ảnh Google Earth (xác định được 222 khối trượt mới). Sự chênh lệch này có thể được lý giải như sau:

- Việc khoanh vẽ các khối trượt bằng phương pháp phân tích địa hình trên mô hình lập thể số chủ yếu dựa vào sự thay đổi của các yếu tố địa hình (như sự xuất hiện nón phóng vật dưới chân khối trượt, sự thay đổi địa hình đột ngột tạo các vách trượt dốc đứng, sự uốn dòng của sông suối dưới chân khối trượt...). Để làm thay đổi được các yếu tố địa hình hoặc để lại các dấu vết rất rõ ràng về địa hình, địa mạo thì chỉ có các khối trượt có quy mô từ lớn đến đặc biệt lớn. Tuy nhiên, trong một khu vực nghiên cứu nhỏ (trong phạm vi một xã) thì các khối trượt có quy mô như vậy thường có số lượng rất ít (như chỉ xác định được 4 khối trượt cổ ở xã Tam Chung).

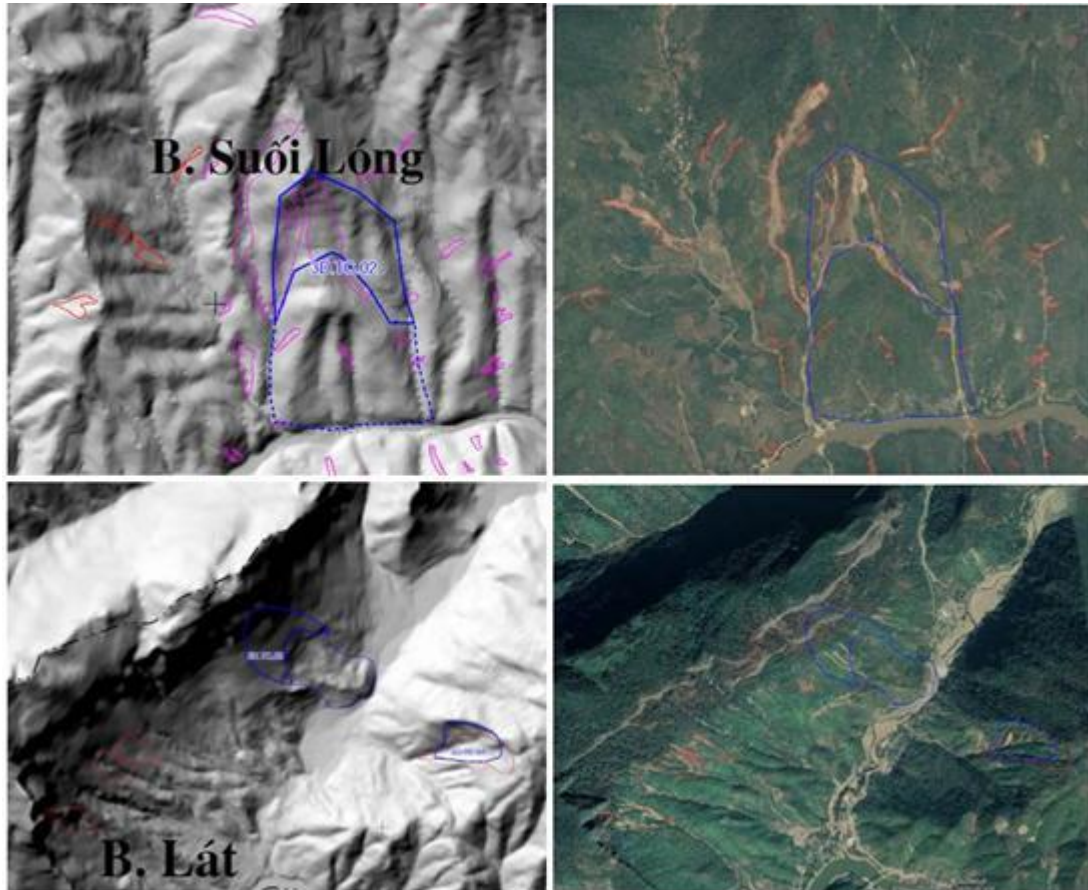


Hình 5. Sơ đồ phân bố các khối trượt giải đoán khu vực nghiên cứu xã Tam Chung, bao gồm: 4 khối (màu xanh) được xác định từ phân tích mô hình lập thể số; 86 khối (màu hồng) xác định từ cảnh ảnh Google Earth chụp ngày 12/10/2018 và 136 khối (màu đỏ) được khoanh vẽ trên cảnh ảnh Google Earth chụp ngày 26/4/2019.

- Việc khoanh vẽ các khối trượt bằng phương pháp giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao chủ yếu dựa vào các yếu tố ảnh (các chìa khóa giải đoán, sự thay đổi đột ngột của thảm phủ, sự xuất hiện bùn đất trong khu vực dân cư hay sông suối...). Các yếu tố này thường rất dễ quan sát trên ảnh đối với những khối trượt mới xảy ra (đang hoạt động) bao gồm tất cả loại quy mô từ nhỏ đến đặc biệt lớn, nhưng lại khó nhận dạng trên ảnh đối với các khối trượt lở xảy ra đã lâu, ít hoặc không hoạt động tại thời điểm bay chụp ảnh, dù chúng có quy mô từ lớn đến đặc biệt lớn do có thể đã bị lớp thảm phủ xóa nhòa. Do vậy số lượng khối trượt mới được giải đoán từ ảnh viễn thám độ phân giải cao có thể xác định được rất nhiều nếu khai thác được các nguồn ảnh đa thời kỳ.

Sau khi phân tích, giải đoán độc lập theo từng phương pháp, tất cả 4 khối trượt cổ xác định từ bề mặt địa hình nổi và 222 khối trượt mới xác định từ ảnh Google Earth được tích hợp trên *Sơ đồ phân bố các khối trượt*

giải đoán khu vực nghiên cứu xã Tam Chung (Hình 5). Kết quả thể hiện trên sơ đồ cho thấy: có 7 khối trượt mới nằm gọn trong diện tích của 2 khối trượt cổ 3D.TC.02 và 3D.TC.04 (Hình 6). Đặc biệt trong đó có 3 khối trượt mới thể hiện trên ảnh với diện tích rất lớn nằm tại vách của 2 khối trượt cổ nêu trên, còn lại 4 khối trượt mới có diện tích nhỏ hơn trên ảnh nằm tại thân của khối trượt cổ 3D.TC.02. Điều đó chứng tỏ các khối trượt cổ có khả năng tái hoạt động (nhiều lần) là rất lớn.



Hình 6. Hai khối trượt cổ 3D.TC.02 và 3D.TC.04 giải đoán từ phân tích địa hình trên mô hình lập thể số nằm trùng với các khối trượt mới được giải đoán từ ảnh viễn thám Google Earth.

Bên cạnh đó, do cảnh ảnh Google Earth bay chụp ngày 12/10/2018 chỉ bao phủ ~30% diện tích xã Tam Chung, nên có thể xác nhận có ít nhất 86 khối trượt xuất hiện trước năm 2018. Tuy nhiên, các cảnh ảnh bay chụp ngày 27/6/2014 và 31/3/2015 đều phủ phần lớn diện tích xã Tam Chung, nhưng công tác giải đoán không xác định được diện tích nào có biểu hiện trượt lở đất đá từ hai cảnh ảnh này. Do vậy, số lượng 86 khối trượt giải đoán từ cảnh ảnh bay chụp ngày 12/10/2018 có thể ghi nhận được xuất hiện từ năm 2015 đến 2018; và số lượng 136 khối trượt giải đoán từ cảnh ảnh bay chụp ngày 26/4/2019 có thể ghi nhận được xuất hiện từ sau năm 2018. Sự gia tăng khá lớn về số lượng điểm trượt giữa hai thời điểm trước và sau năm 2018 hoàn toàn phù hợp với các hiện tượng thiên tai khắc nghiệt gây ra do cường độ mưa đặc biệt lớn tại khu vực nghiên cứu trong hai năm 2018 và năm 2019 (Hình 7).



Hình 7. So sánh các cảnh ảnh Google Earth chụp ngày 27/6/2014 (hình trái) và ngày 12/10/2018 (hình phải) cho thấy sự xuất hiện dày đặc các khối trượt trong năm 2018 tại thôn Suối Lóng, xã Tam Chung.

IV.1. Kết quả khảo sát và kiểm chứng thực địa

Công tác khảo sát thực địa để điều tra hiện trạng trượt lở đất đá trên địa bàn xã Tam Chung đã được tiến hành vào các tháng 9-10/2019. Trong quá trình thực địa, các tác giả đã tiến hành kiểm chứng các kết quả phân tích địa hình trên mô hình lập thể số (bề mặt địa hình nổi) và giải đoán ảnh viễn thám Google Earth (Hình 8). Do địa hình xã Tam Chung bị phân cắt phức tạp, nên chỉ có 4 khối trượt cổ được phân tích từ bề mặt địa hình nổi và 93 khối trượt mới được giải đoán từ ảnh Google Earth được kiểm chứng (tỷ lệ kiểm chứng đạt 42,92% tổng điểm giải đoán) (Bảng 3). Các diện tích giải đoán còn lại (chiếm 50,08% tổng điểm giải đoán) không thể kiểm chứng được do không có đường giao thông để tiếp cận, hoặc do chúng ở khu vực núi cao, rừng rậm, cây cối che khuất nên không thể quan sát rõ.



Hình 8. Khối trượt có quy mô đặc biệt lớn xảy ra tại bản Sài Khao, xã Tam Chung được giải đoán từ ảnh Google Earth chụp ngày 12/10/2018 (hình trái), được hiệu chỉnh lại trên ảnh Google lập thể (hình giữa) và được kiểm chứng từ khảo sát thực địa (hình phải).

Bảng 3. Kết quả phân tích, giải đoán và kiểm chứng thực địa các khối trượt trong khu vực nghiên cứu.

Kết quả phân tích, giải đoán các khối trượt	Loại tư liệu được sử dụng phân tích, giải đoán			Tổng cộng
	Mô hình lập thể số	Ảnh Google Earth	Ảnh Google Earth	
Ngày thu nhận dữ liệu	Trước 2012	12/1/2018	26/4/2019	3 thời kỳ
Số lượng khối trượt giải đoán	4	86	136	226

Kết quả phân tích, giải đoán các khối trượt	Loại tư liệu được sử dụng phân tích, giải đoán			Tổng cộng
	Mô hình lập thể số	Ảnh Google Earth	Ảnh Google Earth	
Diện tích khối trượt bé nhất (m ²)	85.250	720	571	
Diện tích khối trượt lớn nhất (m ²)	1.505.918	155.535	82.784	
Tổng diện tích các khối trượt (m ²)	2.053.502	1.373.092	1.183.453	4.610.047
Số lượng khối trượt giải đoán tiếp cận được để kiểm chứng	4	41	52	97
Số lượng khối trượt giải đoán tiếp cận được để kiểm chứng, và được xác nhận đã xảy ra trượt lở đất đá	4	41	49	94
Tỷ lệ giải đoán chính xác các khối trượt	100%	100%	94,23%	96,91%

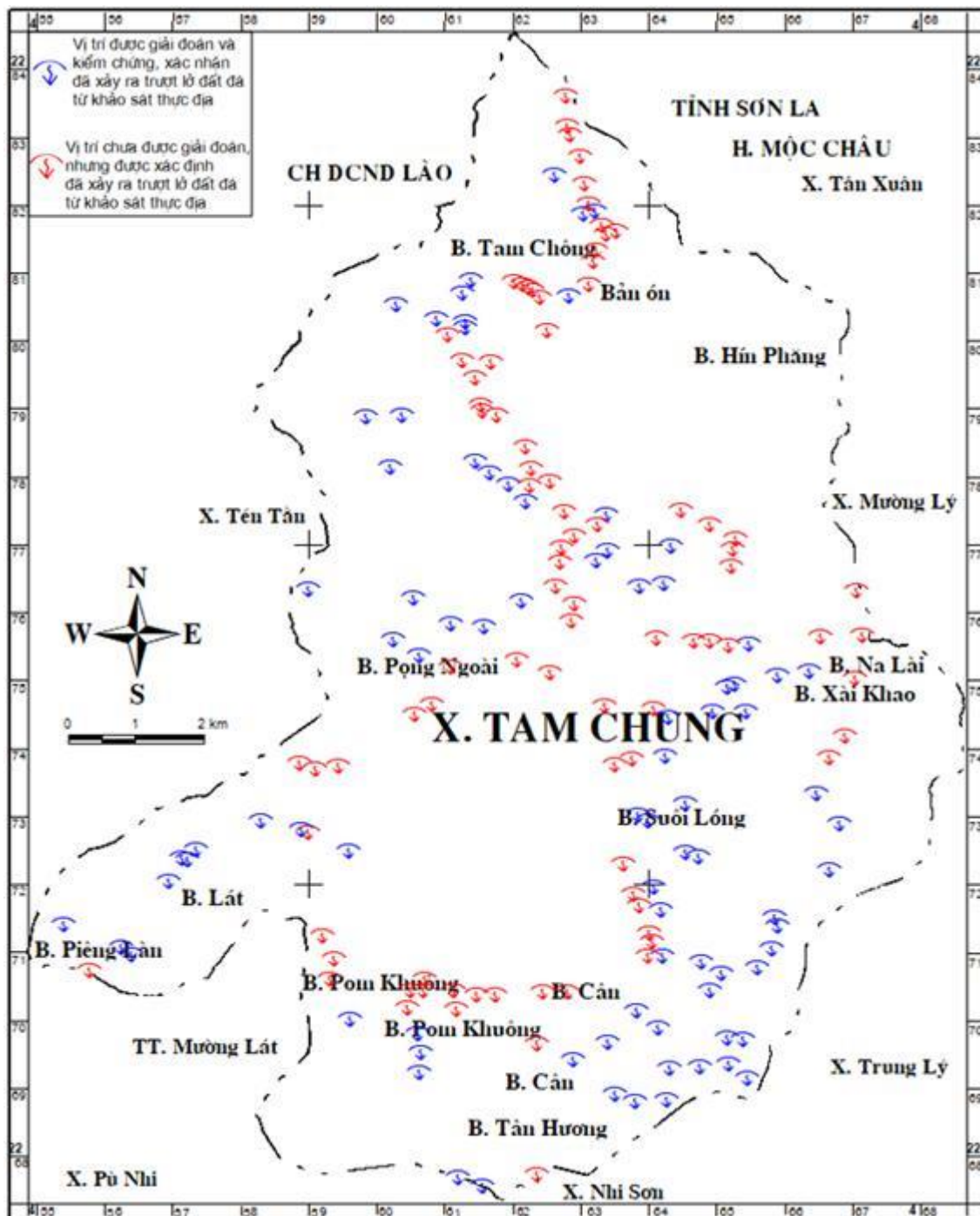
Kết quả khảo sát thực địa đã xác nhận có 86 khối trượt là các vị trí kiểm chứng cho 4 khối trượt cổ được phân tích từ bề mặt địa hình nổi và 90 khối trượt mới được giải đoán từ ảnh Google Earth. Như vậy, công tác phân tích địa hình trên mô hình lập thể số và giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao đạt tỷ lệ chính xác ~96,91%, chứng tỏ tại hầu hết các vị trí khảo sát đều được xác nhận đã xảy ra các hoạt động trượt lở đất đá. Duy chỉ có 3 khối trượt giải đoán từ ảnh Google Earth - nằm tại một khu vực sườn dốc thuộc bản Poọng - không thể quan sát được các dấu vết của hoạt động trượt lở đất đá tại thời điểm khảo sát thực địa. Nguyên nhân là do các diện tích này đã được san gạt, bóc hết lớp đất đá trên bề mặt sườn dốc cũ, tạo nên một đoạn taluy cao ~25m và dốc ~50°-60° để làm lại tuyến đường liên thôn (Hình 9). Như vậy, các hoạt động cải tạo, sửa chữa đường giao thông và taluy đường có thể là nguyên nhân làm xóa nhòa các dấu vết của các khối trượt đã từng xảy ra trên các sườn dốc trước đây.



Hình 9. Ba khối trượt giải đoán từ ảnh Google Earth - nằm tại một khu vực sườn dốc thuộc bản Poọng - không thể quan sát được các dấu vết của hoạt động trượt lở đất đá tại thời điểm kiểm chứng thực địa, do sườn dốc cũ đã bị san gạt, bóc hết lớp đất đá trên bề mặt.

Ngoài 86 khối trượt là kết quả kiểm chứng các khối trượt giải đoán, còn có tới 87 khối trượt khác được ghi nhận từ khảo sát thực địa trên địa bàn xã Tam Chung mà chưa được phân tích, giải đoán từ các tư liệu mô hình lập thể số và ảnh viễn thám. Sơ đồ phân bố toàn bộ 173 khối trượt đã khảo sát, kiểm chứng ngoài thực địa được thể hiện trong Hình 10.

Như vậy có sự chênh lệch khá lớn giữa số lượng các khối trượt được phân tích, giải đoán (bao gồm: 4 khối cổ và 222 khối mới), trong đó được kiểm chứng xác nhận đã xảy ra trượt tại 4 khối cổ và 90 khối mới) so với số lượng các khối trượt được xác định từ khảo sát thực địa (86 khối kiểm chứng kết quả giải đoán và 87 khối trượt mới).



Hình 10. Sơ đồ phân bố các vị trí đã xảy ra trượt lở đất đá được xác định từ khảo sát thực địa trong khu vực nghiên cứu xã Tam Chung, trong đó có 86 khối trượt (màu xanh) là các vị trí được giải đoán và kiểm chứng, còn 87 khối trượt (màu đỏ) là các vị trí chưa được giải đoán nhưng được xác định đã xảy ra trượt.

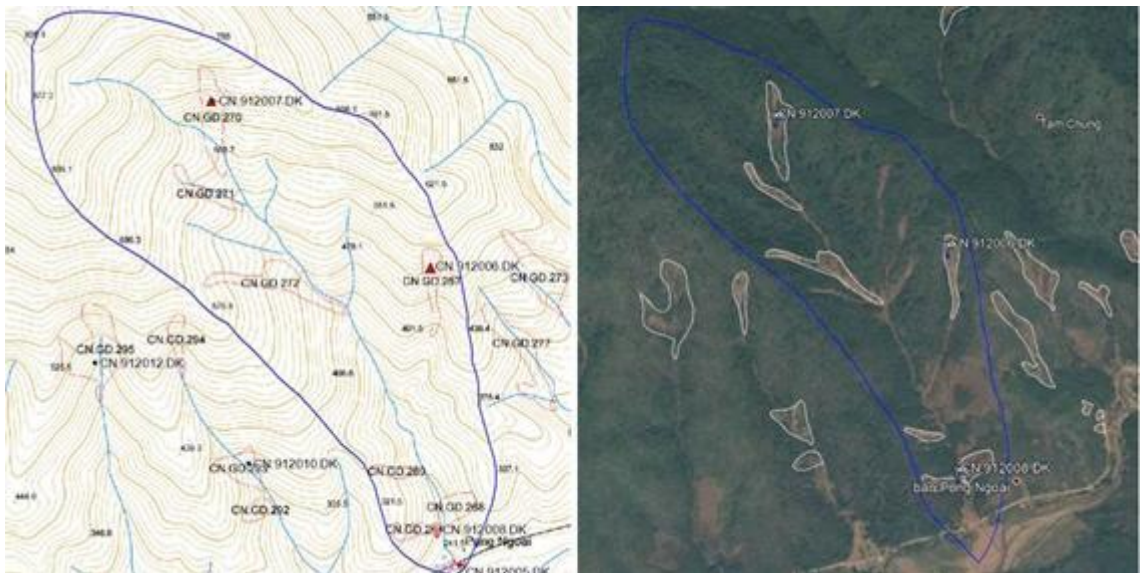
Sự chênh lệch này có thể do sự khác nhau giữa thời gian chụp ảnh (trước năm 2012, 12/10/2018 và 26/4/2019) với thời gian kiểm chứng thực địa (tháng 9-10/2019). Có nhiều khối trượt mới xảy ra trong và sau mùa mưa 2019 (tức là sau ngày thu nhận dữ liệu địa hình và bay chụp hai cảnh ảnh Google Earth để xác định các khối trượt giải đoán), nên chúng không được thể hiện trên ảnh. Do đó, chúng không có trong kết quả giải đoán ảnh viễn thám mà chỉ được xác định được từ khảo sát thực địa. Có thể lý giải một nguyên nhân khác nữa là do có nhiều khối trượt đã xảy ra khá lâu, hiện trạng khu vực đã bị thay đổi do các hoạt động nhân sinh, nên tại thời điểm khảo sát các khối trượt đã bị xóa mờ dấu vết, do đó chúng có trong kết quả giải đoán ảnh viễn thám mà không được xác định được từ khảo sát thực địa. Mặc dù các tác giả đã thu thập được dữ liệu mô hình lập thể

số và ảnh viễn thám tại 05 thời kỳ khác nhau, nhưng nguồn dữ liệu không đa dạng (chỉ có 2 loại), không liên tục theo chu kỳ (ảnh Google có 2 cảnh trước mùa mưa 2015 và 2019, 1 cảnh trong mùa mưa 2014 và 1 cảnh sau mùa mưa 2018), chất lượng ảnh không đều (độ phân giải chưa cao, hoặc do mây phủ, hoặc chỉ phủ một phần diện tích khu vực nghiên cứu...) (Bảng 1). Các tồn tại nêu trên cũng là những nguyên nhân dẫn đến sự chênh lệch về kết quả phân tích, giải đoán với hiện trạng thực tế khi khảo sát thực địa.

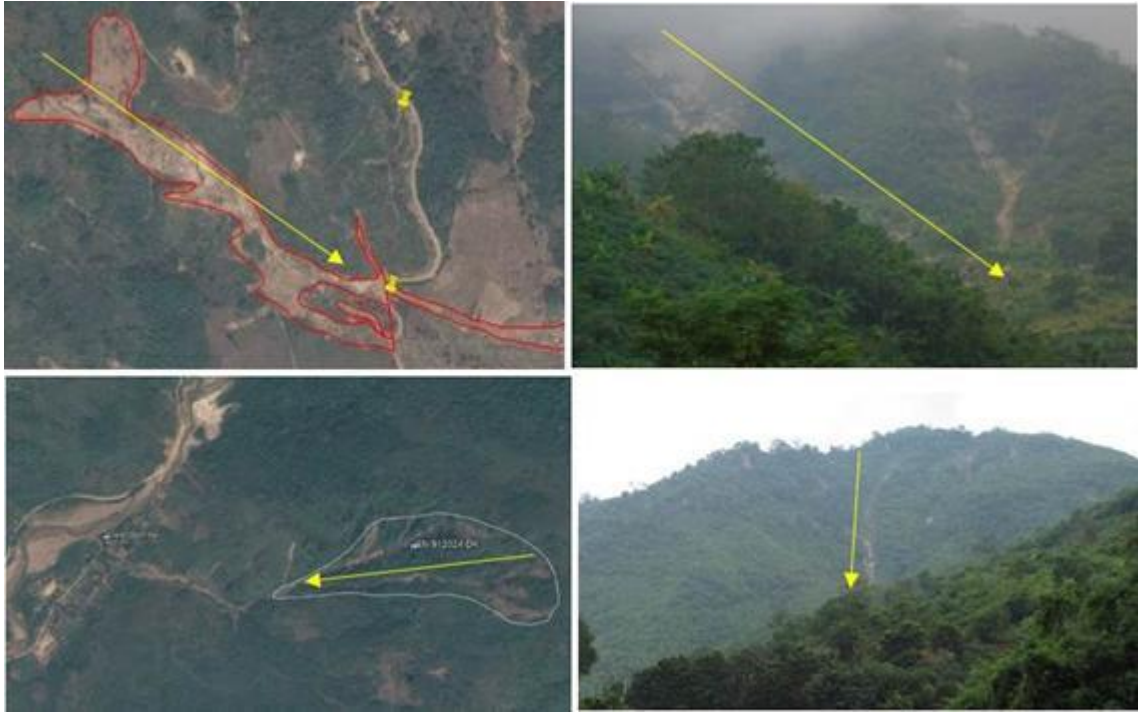
Công tác khảo sát và kiểm chứng thực địa cũng đã ghi nhận được trên địa bàn xã Tam Chung có một số khu vực nguy hiểm do sự xuất hiện của các khối trượt tại những vùng núi cao, không có dân cư và không có đường giao thông dễ tiếp cận, chỉ có thể xác định từ phân tích địa hình hoặc giải đoán ảnh viễn thám. Những khối trượt này khi xảy ra có thể chưa gây ảnh hưởng trực tiếp tới người dân, nhưng có thể tạo đập tạm thời chặn dòng các con suối. Đến khi đập vỡ sẽ có khả năng tạo ra lũ quét, lũ bùn đá, gây thiệt hại tới các khu dân cư ở khu vực hạ lưu. Hình ảnh một số khối trượt giải đoán điển hình đã được kiểm chứng và xác định có nguy cơ gây lũ quét, lũ bùn đá được thể hiện trong các Hình 11÷13.



Hình 11. Một số khối trượt giải đoán từ ảnh Google Earth đã được kiểm chứng thực địa, và được xác nhận đã gây ra lũ bùn đá, làm ảnh hưởng tới khu vực dân cư ở phía dưới sườn núi thuộc bản Suối Lóng vào mùa mưa năm 2018.



Hình 12. Cụm khối trượt giải đoán xảy ra phía trên thượng nguồn lưu vực được kiểm chứng thực địa và xác nhận đã gây ra lũ bùn đá, gây ảnh hưởng đến điểm dân cư ở phía dưới hạ lưu thuộc bản Pọng Ngoài.



Hình 13. Các khối trượt gây lũ bùn đá tại bản Suối Lóng (hình trên) và tại bản Kha Khoài (hình dưới) được quan sát trên ảnh Google Earth (hình trái) và kiểm chứng ngoài thực địa (hình phải).

Đánh giá về các yếu tố nguyên nhân gây nên hiện tượng trượt lở đất đá trong khu vực nghiên cứu, kết quả điều tra cho thấy, phần lớn những khối trượt giải đoán đều xảy ra trên diện phân bố của các đá xâm nhập thuộc Hệ tầng Sông Mã và Phức hệ Mường Lát. Biểu hiện trên ảnh viễn thám tại khu vực này là mật độ điểm trượt rất dày, xảy ra trên hầu hết các suối nhánh, suối chính của vùng, vật liệu trượt tạo thành các dòng bùn, đá kéo dài theo các thung lũng suối. Các đá xâm nhập trong khu vực nghiên cứu thường tạo ra các sản phẩm phong hóa chủ yếu là các tầng sót, tầng lăn tròn cạnh trộn lẫn trong hỗn hợp sét, bột, mảnh vụn đá, vụn thạch anh. Do vậy, mức độ ổn định sườn dốc giảm đi rất nhiều khi gặp mưa lớn hoặc mưa kéo dài nhiều ngày. Bên cạnh đó, một số khối trượt giải đoán cũng được ghi nhận xảy ra trên diện phân bố của các đá thuộc Hệ tầng Nậm Cồ. Nguyên nhân có thể nhận định bởi các đá thuộc Hệ tầng Nậm Cồ có mức độ phong hóa mạnh, tạo ra các sản phẩm phong hóa chủ yếu là sét xen lẫn mảnh vụn thạch anh. Đây là các vật liệu dễ bị tác động của nước làm giảm độ gắn kết, gây mất ổn định sườn dốc, tạo ra các dòng chảy bùn, đá tại các khu vực sườn dốc. Ngoài ra, tại một số vị trí tập trung vật liệu tích tụ sườn của các dãy núi đá vôi cũng có thể xảy ra trượt lở đất đá, bởi kết quả giải đoán cũng đã ghi nhận được một số khối trượt dạng này tại sườn dãy núi đá vôi gần trung tâm xã Tam Chung.

5. Kết luận

Khả năng ứng dụng của việc phân tích địa hình trên mô hình lập thể số kết hợp với giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao đã được nghiên cứu chi tiết, và được áp dụng thử nghiệm tại khu vực xã Tam Chung, huyện Mường Lát, tỉnh Thanh Hóa. Các kết quả đạt được, sau khi khảo sát và kiểm chứng thực địa đã được hiệu chỉnh, tích hợp với các lớp bản đồ nền khác trong các phần mềm GIS để thành lập nên bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá cho khu vực nghiên cứu. So với phương pháp điều tra thực địa truyền thống, phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu này có ưu điểm lớn là tiết kiệm thời gian và nhân lực thực hiện trong công tác điều tra hiện trạng trượt lở đất đá. Đặc biệt, việc ứng dụng rất có hiệu quả khi cần phải xác định các khối trượt đã xảy ra ở những khu vực rộng lớn và/hoặc khó tiếp cận, hoặc cảnh báo nguy cơ lũ bùn đá tại các lưu vực có xuất hiện các khối trượt trên vùng thượng nguồn. Cụ thể đối với khu vực nghiên cứu xã Tam Chung, quá trình giải đoán các khối trượt trên toàn bộ diện tích của xã được thực hiện trong khoảng một tuần với một chuyên gia giải đoán có kinh nghiệm, với độ chính xác đạt tới ~96,92%. Trong khi đó, công tác điều tra hiện trạng bằng khảo sát thực địa trên toàn diện tích xã mất tới gần 2 tháng với hơn 10 cán bộ điều tra, nhưng chỉ cũng chỉ tiếp cận được những nơi có đường giao thông mà không thể thực hiện được trên toàn khu vực nghiên cứu.

Tuy nhiên, hệ phương pháp thực hiện trong nghiên cứu cũng có một số hạn chế do phụ thuộc vào nguồn tư liệu mô hình lập thể số và ảnh viễn thám. Đối với các khu vực có nguồn dữ liệu ảnh bị giới hạn (tư liệu không đa dạng, chỉ có một vài thời kỳ mà không được cập nhật thường xuyên, chất lượng ảnh kém, không

che phủ toàn bộ diện tích...), thì công tác xác định các khối trượt mới hoặc theo dõi mức độ phát triển của các khối trượt sẽ gặp khó khăn hoặc không thể thực hiện được. Một số hạn chế vật lý khác như độ phân giải ảnh và góc chụp của ảnh viễn thám, việc giải đoán các khối trượt có quy mô nhỏ (dưới 200m³) hay các khối trượt tại các taluy đường giao thông sẽ khó đạt được độ chính xác cao. Bên cạnh đó, độ chính xác của hai phương pháp này còn phụ thuộc rất nhiều vào kinh nghiệm và kiến thức chuyên gia của người giải đoán.

Mặc dù còn có một số khó khăn nêu trên, nhưng việc ứng dụng phân tích địa hình trên mô hình lập thể số kết hợp giải đoán ảnh viễn thám độ phân giải cao vẫn được coi là một hệ phương pháp hiệu quả, có thể hỗ trợ đắc lực, trực quan cho công tác thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá và các nghiên cứu khác liên quan (phát hiện các yếu tố biến dạng địa hình, thay đổi dòng chảy, xác định nguyên nhân gây hiện tượng trượt lở đất đá, dự báo nguy cơ lũ bùn đá...). Đặc biệt, trong hoàn cảnh hiện nay, công nghệ phần mềm xử lý ảnh và mô hình lập thể ngày càng tiến bộ, nguồn tư liệu địa hình và ảnh viễn thám trở nên rất đa dạng, độ phân giải ngày càng chi tiết, có nhiều khả năng được truy cập miễn phí hoặc chi phí thấp... Kết quả của nghiên cứu này có thể phát triển mở rộng, tiến tới khả năng xây dựng mô hình tính toán, phân loại địa hình để có thể tự động hóa từng phần công tác giải đoán kết hợp giữa ảnh viễn thám với nền địa hình số, phục vụ tốt hơn nữa cho các công tác điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá tại các vùng miền núi Việt Nam.

4. Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành trên cơ sở kết quả nghiên cứu và nguồn kinh phí của các đề tài mã số: CS.2020.03.07; NVTX.2020.03.15. Số liệu được sử dụng từ kết quả của Đề án Chính phủ “Điều tra, đánh giá và phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất đá các vùng miền núi Việt Nam”. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn.

Văn liệu

Đình C. Hùng và nnk, 2002. Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:50.000 nhóm tờ Mường Lát.

Lê Q. Hùng và nnk., 2014. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ WebGIS, phân tích ảnh radar phân giải cao và mô hình không gian GIS để xây dựng hệ thống cảnh báo TBĐC và thảm họa môi trường tự nhiên Việt Nam. Thử nghiệm tại Bắc Kạn. *Đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ. Lưu trữ Trung tâm Thông tin KHCN quốc gia, Bộ KHCN. Hà Nội.*

Lê Q. Hùng, Nguyễn T. H. Vân, Nguyễn Tâm, Phạm V. Sơn, Nguyễn H.g Ninh, Lê M. Sơn, Lưu T. Bình, 2015. Tổng quan công tác điều tra và thành lập bản đồ hiện trạng trượt lở đất đá tỷ lệ 1:50.000 khu vực miền núi Việt Nam giai đoạn 2012-2014. *Tuyển tập Địa chất và Khoáng sản. Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản. Hà Nội. ISBN: 978-604-904-677-3. Tập 11. Trang 154-160*

Hung LQ, Van NTH, Son PV, Ninh NH, Tam N, Huyen NT, 2017. Landslide Inventory Mapping in the Fourteen Northern Provinces of Vietnam: Achievements and Difficulties. In: *Sassa K, Mikoš M, Yin Y (eds) Advancing Culture of Living with Landslides: Volume 1 ISDR-ICL Sendai Partnerships 2015-2025. Springer International Publishing, Cham, pp 501-510. doi:10.1007/978-3-319-59469-9_44.*

Leopold P, Tao W, Perko R, Heiss G, Jun M, Oblin A, Zhang Y, 2017. Comparing Landslide Mapping from DTM Satellite Derived Data and Field Based Studies of Loess Sediments in Western China. In: *Mikos M., Tiwari B., Yin Y., Sassa K. (eds) Advancing Culture of Living with Landslides. WLF 2017. Springer, Cham.*

Luu T.B., Vu T.T., 2017. Landslide inventory mapping using GIS and field investigations in Tuong Duong district, Nghe An province. *Proceedings of the annual conference of Thuyloi University.*

Stumpf A, Malet J, and Kerle N, 2011. Creation and updating of landslide inventory maps, landslide deformation maps and hazard maps as inputs for QRA using remotesensing technology. *Edited for the SafeLand European project. Available at <http://www.safeland-fp7.eu>*

Van Westen CJ, Alkema D, Jetten VG, Hazarika MK, 2010. Tài liệu đào tạo của dự án Hỗ trợ kỹ thuật về Công nghệ Địa - Tin học trong Đánh giá Rủi ro do Thiên tai (Technical Assistance on Geo-Information Technology for Hazard Risk Assessment - GITHRA Project). *Trường Đại học Twente.*