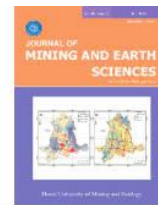




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Application of electrical resistivity tomography (ERT) method in the evaluation of landslide at the X urban area project, Da Lat City



Tuan Dang Tran¹, Phong Hop Lai¹, Dat Ngoc Pham¹, Trang Hong Pham^{1,*}, Toan Van Dinh¹, Ninh Thi Duong¹, Hieu Trung Tran¹, Thom Van Bui¹, Nghiep Duc Pham²

¹ Institute of Earth Sciences, Vietnam Academy of Science and Technology, Hanoi, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30th Nov. 2024

Revised 30th Mar. 2025

Accepted 24th Apr. 2025

Keywords:

Da Lat,
Electrical resistivity
tomography,
Landslide.

ABSTRACT

Landslides frequently occur during the rainy season in mountainous areas of our country with increasing intensity that results in significant loss of life and property. In this research, electrical resistivity tomography (ERT) is used to analyze the structural characteristics of shallow layers and evaluate their relationship with the landslide risk at the X urban area in western Da Lat city. Six geoelectrical profiles are carried out by using a four-electrode Wenner-Schlumberger configuration. The results found that the subsurface profile is divided into three layers: layer 1 is completely weathered reflecting a weak soil layer, layer 2 is a semi-weathered layer, and layer 3 characterizes the upper part of the solid rock layer. The fault and water-bearing zones possibly associated with landslide-prone areas are also detected by ERT. Notably, the connection with the current landslide conditions in this area demonstrates that landslides primarily occur in locations with a thick first layer, coinciding with fault zones that potentially contain water. The integrating resistivity results with topographic, geological - geomorphological data, as well as the physical properties of soil and rock collected from geotechnical boreholes, allows us to delineate and forecast landslide potentials of the studied area. The findings indicate that the high-risk zone is concentrated in the southeast of the study area, while the medium-risk zone is scattered in the western region, and the remaining areas are considered to have low potential.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: htrangkstdk52@gmail.com

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).05



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>

Sử dụng phương pháp thăm dò điện trở (ERT) trong nghiên cứu đánh giá tai biến trượt lở đất tại dự án khu đô thị X, Thành phố Đà Lạt

Trần Đăng Tuấn¹, Lại Hợp Phòng¹, Phạm Ngọc Đạt¹, Phạm Hồng Trang^{1,*}, Đinh Văn Toàn¹, Dương Thị Ninh¹, Trần Trung Hiếu¹, Bùi Văn Thơm¹, Phạm Đức Nghiệp²

¹ Viện các Khoa học Trái Đất- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

TÓM TẮT

Quá trình:

Nhận bài 30/11/2024

Sửa xong 30/3/2025

Chấp nhận đăng 24/4/2025

Từ khóa:

Đà Lạt,

Thăm dò điện trở,

Trượt lở.

Trượt lở đất xảy ra thường xuyên trong mùa mưa bão ở các vùng có địa hình dốc với mức độ ngày càng nghiêm trọng, gây nhiều thiệt hại cả về người và tài sản. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp thăm dò điện trở để xác định đặc điểm cấu trúc địa chất của các tầng nông và đánh giá mối quan hệ của nó với hiện tượng trượt lở tại khu vực dự án đô thị X phía tây thành phố Đà Lạt. Việc đo đạc thực địa sử dụng phương pháp đo sâu điện với 6 tuyến đo cùng hệ thiết bị 4 điện cực đối xứng (W-S). Kết quả đã xác định được môi trường dưới các tuyến đo gồm 3 lớp: lớp 1 là lớp phong hóa triệt để với tính chất cơ lý phản ánh là vùng đất yếu, lớp 2 là lớp bán phong hóa và lớp 3 là phần trên của lớp đá rắn chắc. Thêm vào đó, tài liệu điện còn phát hiện các đới phá hủy đứt gãy và vùng có khả năng chứa nước theo giá trị điện trở suất thấp là yếu tố liên quan đến trượt lở. Liên kết với hiện trạng trượt lở đã xảy ra trong vùng cho thấy, trượt lở xảy ra chủ yếu tại các điểm có bề dày lớp 1 lớn xuất hiện đồng thời với đới phá hủy đứt gãy có khả năng chứa nước. Các dấu hiệu trên được tích hợp với tài liệu địa hình, địa chất - địa mạo, liên kết với đặc tính cơ lý của đất đá thu thập từ các lỗ khoan để khoanh vùng dự báo nguy cơ trượt lở. Kết quả cho thấy vùng nguy cơ cao tập trung ở phần Đông Nam khu vực nghiên cứu, vùng nguy cơ trung bình phân bố rải rác ở khu vực phía tây, các vùng còn lại được coi là vùng có nguy cơ thấp.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trượt lở là tai biến địa chất nguy hiểm đang xảy ra với tần suất ngày càng lớn do biến đổi khí hậu, do hoạt động của con người trong thời gian

qua. Trượt lở gây ra thiệt hại nghiêm trọng về người, tài sản, phá hủy các công trình dân dụng. Hiện tượng trượt lở xảy ra thường chịu ảnh hưởng của các yếu tố tác động như độ phân cắt địa hình, sườn dốc, mật độ sông suối, đặc điểm cấu trúc và thành phần vật chất của các lớp đất đá gần bề mặt, đặc điểm phân bố các đới phá hủy đứt gãy, đặc điểm địa chất thủy văn, lượng mưa, lớp phủ

*Tác giả liên hệ

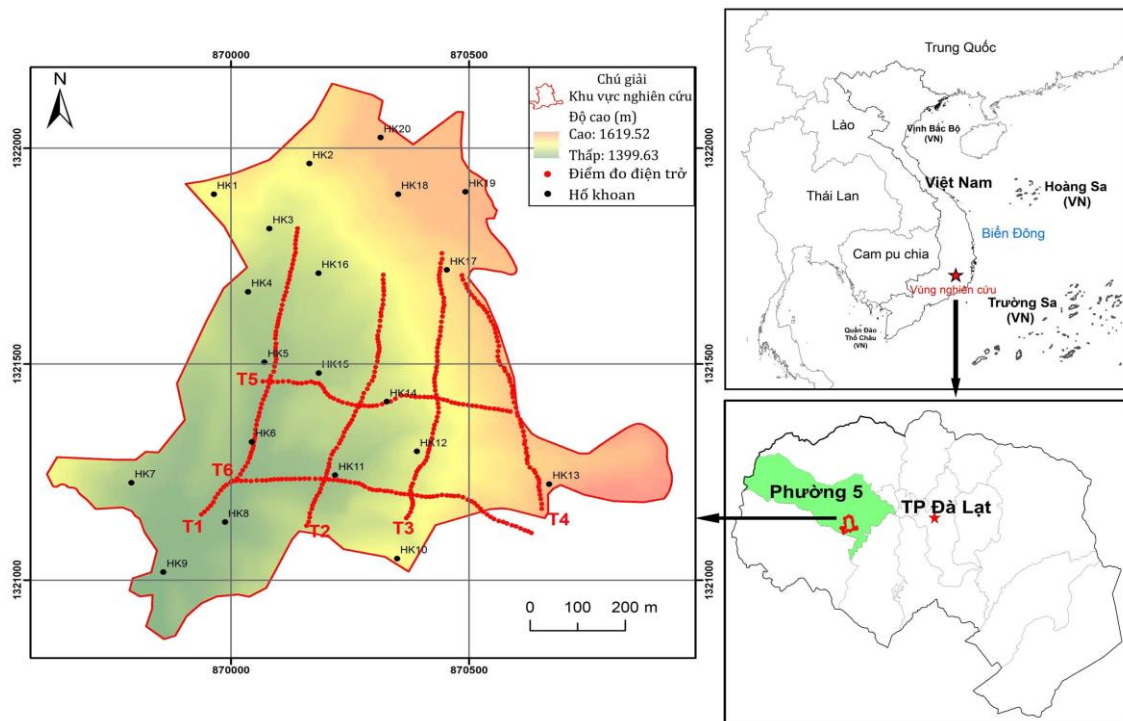
E - mail: htrangkstdk52@gmail.com

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(3).05

thực vật. Tuy nhiên tác động của các yếu tố trên đến tai biến trượt lở không phải nơi nào cũng giống nhau mà vai trò của từng yếu tố phụ thuộc nhiều vào điều kiện địa phương, thậm chí có những yếu tố trong một vùng nhỏ thì vai trò của nó ở các điểm khác nhau cũng không giống nhau. Đặc biệt ở Việt Nam, nơi có nhiều vùng núi và cao nguyên thì khoanh vùng dự báo nguy cơ trượt lở luôn là một nhiệm vụ rất cần thiết. Theo kết quả khảo sát, có 197 điểm trượt lở tại khu vực Tây Nguyên trong đó có nhiều điểm ở thành phố Đà Lạt (Nguyễn và nnk., 2024). Đáng lưu ý vào đầu năm 2022 tại dự án khu đô thị X nằm trên địa bàn Phường 5, phía tây thành phố Đà Lạt xuất hiện một số điểm trượt lở đất quy mô lớn gây thiệt hại về hoa màu, tài sản của nhân dân, đặc biệt là gây mất ổn định xã hội, làm chậm tiến độ khởi công các dự án xây dựng. Để sớm ổn định tình hình, nhiệm vụ đánh giá, khoanh vùng dự báo các vị trí tiềm ẩn nguy cơ trượt lở nhằm phục vụ quy hoạch xây dựng và đề xuất giải pháp phòng tránh giảm nhẹ thiệt hại trên toàn bộ khu vực dự án là việc làm cấp bách.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng phương pháp thăm dò điện trở là một trong những phương pháp địa vật lý phổ biến và hiệu quả trong nghiên cứu trượt lở đất (Perrone và nnk., 2014; Kamiński, 2015; Pasierb và nnk.,

2019; Kamiński và nnk., 2021; Olabode và nnk., 2022; Sun và nnk., 2024). Ưu điểm của phương pháp thăm dò điện trở là chi phí hợp lý, dễ triển khai trong điều kiện địa hình phân cắt mạnh, có sự thay đổi rõ rệt về điện trở suất giữa các tác nhân gây trượt với môi trường xung quanh (đứt gãy, vùng dập vỡ chứa nước, thành phần khoáng hóa, độ ẩm, độ bão hòa của đất...), có thể xác định được bề mặt trượt hay ranh giới giữa mặt đá gốc với lớp đất phủ dựa trên sự biến đổi nhanh chóng về giá trị điện trở suất (Archie, 1942; Reynolds, 1997; Park và Kim, 2005; Panek và nnk., 2008; Bièvre và nnk., 2012; Holec và nnk., 2013; Dostál và nnk., 2014; Tomecka-Suchoń và nnk., 2017; Crawford và Bryson, 2018). Tại Việt Nam, cũng đã có các nghiên cứu về trượt lở sử dụng phương pháp điện trở nhưng số lượng chưa nhiều ví dụ như nghiên cứu của Nguyễn và nnk. (2011) nghiên cứu xác định nguyên nhân trượt lở ở cầu Móng Sến hay Lê và Nguyễn (2012) xác định nguyên nhân sạt lở bờ sông Tiền, sông Sài Gòn. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào phương pháp thăm dò điện, kết hợp với các tài liệu địa hình - địa chất - địa mạo và tài liệu địa kỹ thuật để đưa ra một bức tranh tổng thể, đánh giá toàn diện vùng có nguy cơ sạt lở cao ở dự án khu đô thị X, thành phố Đà Lạt (Hình 1).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

2. Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu nằm trên địa bàn phường 5 phía tây thành phố Đà Lạt, trước đây là khu vực chứa rác thải của thành phố với diện tích khoảng 50 ha. Các thành tạo địa chất chủ yếu là các trầm tích bờ rời (edQ, pQ, aQ) liên kết yếu gồm cát pha, dăm sạn thạch anh, xen lẫn ít cát pha sét, các tầng lẫn sắp xếp hỗn độn, chiều dày tương đối lớn, đá gốc là granit thuộc phức hệ Cà Ná (γK2 cn) (Nguyễn và nnk., 1995). Trong vùng nghiên cứu và lân cận, hoạt động tân kiến tạo diễn ra khá mạnh tạo nên các kiến trúc nâng hạ có biên độ khác nhau. Hoạt động của các đứt gãy cũng khá rõ theo các phương Đông Bắc-Tây Nam, Tây Bắc-Đông Nam và phương á kinh tuyến. Các đứt gãy trong khu vực đều là đứt gãy nội khối bậc 4 (F4-3, F4-4, F4-5,...), trong đó hai đứt gãy nằm ở rìa phía đông và phía tây của dự án có quy mô lớn hơn và khống chế hệ thống các kiến trúc, các đứt gãy ở trung tâm, có xu hướng cắm vào nhau tạo nên một đới địa hình dạng địa hào kéo dài cùng phương (Hình 2). Khu vực dự án nằm trong khối kiến trúc Đà Lạt có quá trình hoạt động kiến tạo phức tạp, là một đới kiến trúc nâng mạnh dạng tuyến với biên độ > 1.500 m trong Pliocen-Đệ tứ. Chuyển động nâng này không đồng đều: khu vực nâng yếu nhất là phía Nam với độ cao tuyệt đối là 1.200 m, dạng lòng chảo; khu vực rìa phía bắc và tây bắc nâng mạnh nhất với bề mặt san bằng còn sót lại những đỉnh núi cao 2.000 m; khu vực phía nam và đông nam có độ cao từ 1.300÷1.500 m. Kiến trúc này bị khống chế ở phía tây bắc là đứt gãy (ĐG) Tuy Hoà - Củ Chi (FII-1), phía đông nam là ĐG Nha Trang-Tánh Linh (Trần và nnk., 2006). Cũng chính sự hoạt động tích cực của các đứt gãy mà chúng đã tạo điều kiện cho quá trình phong hóa mạnh theo chiều sâu và theo chiều ngang thúc đẩy nhanh quá trình trượt lở đất xảy ra.

Về mặt địa hình, khu vực nghiên cứu nằm trong một phần đỉnh của một bồn thu nước của nhánh suối lớn thuộc sông Cam Ly bên trong bồn là các dải địa hình chạy gần song song tạo thành các dải địa hình âm, dương đan xen nhau, độ cao của địa hình thấp dần về phía thung lũng. Quá trình xâm thực - bóc mòn chiếm chủ đạo, với hai bên sườn có độ dốc lớn, và được phủ bởi lớp vỏ phong hóa có độ dày khác nhau và có xu hướng tăng dần về phía lòng suối.

Các đặc điểm khí tượng và địa lý cho thấy Đà Lạt thuộc loại khí hậu nhiệt đới gió mùa, với hai

mùa rõ rệt trong năm. Mùa mưa ở Đà Lạt thường kéo dài khoảng hơn 6 tháng (từ cuối tháng 4 đến tháng 10 hàng năm) và tập trung mưa nhiều khoảng 4 tháng từ tháng 7 đến tháng 10. Lượng mưa trung bình khá cao, thay đổi từ 1.800÷1.900 mm cũng là yếu tố đóng vai trò quan trọng trong phát sinh trượt lở đất (Lê và nnk., 2021).

3. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, để khoanh vùng các khu vực có nguy cơ trượt lở cao, chúng tôi tích hợp kết quả của phương pháp thăm dò điện với kết quả đo vẽ địa chất - địa mạo, phân tích tài liệu hồ khoan và tài liệu địa hình. Các bước thực hiện được trình bày chi tiết như sau (Hình 3):

Bước (1) tiến hành lập sơ đồ kiến tạo dựa trên cơ sở phân tích tài liệu về địa hình - địa chất - địa mạo và các biểu hiện về khe nứt, mặt trượt hay vết xước để có thông tin sơ bộ cho việc xác định các vị trí tồn tại đới dập vỡ, đứt gãy và phán đoán xu hướng phát triển của chúng.

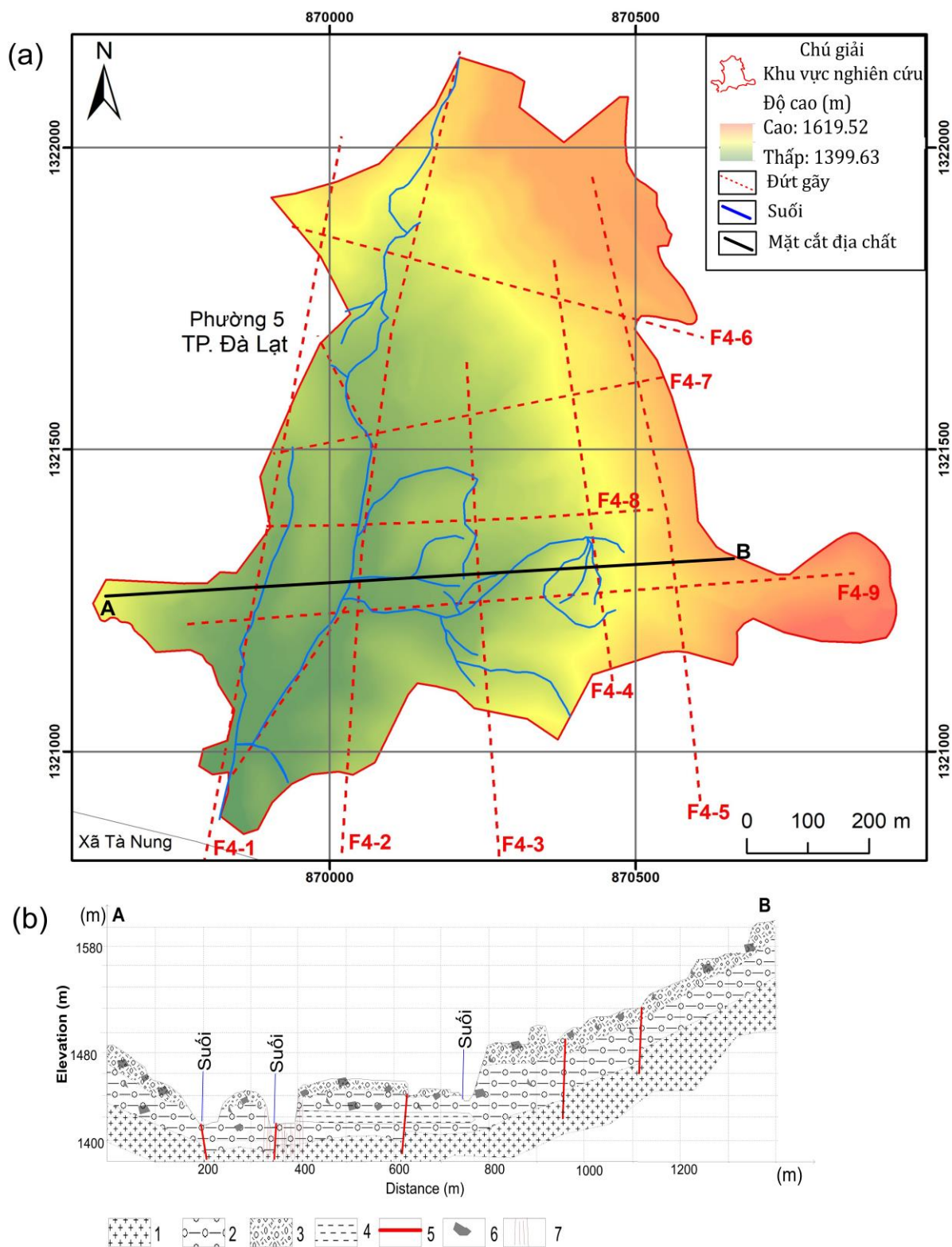
Bước (2) tiến hành các khảo sát điện trở, luận giải và đánh giá cấu trúc địa chất, phát hiện dị thường liên quan đến đứt gãy, đới dập vỡ phá hủy ẩn dưới bề mặt hay xác định ranh giới giữa mặt đá gốc và lớp đất phủ dựa trên sự khác biệt về điện trở suất tại các tuyến đo điện trở.

Bước (3) phân tách các lớp đất đá tại các lỗ khoan điển hình có tuyến đo điện trở cắt qua, xác định tính chất cơ lý của từng lớp từ đó kết hợp bước (2) xây dựng sơ đồ vỏ phong hóa cho toàn khu vực nghiên cứu.

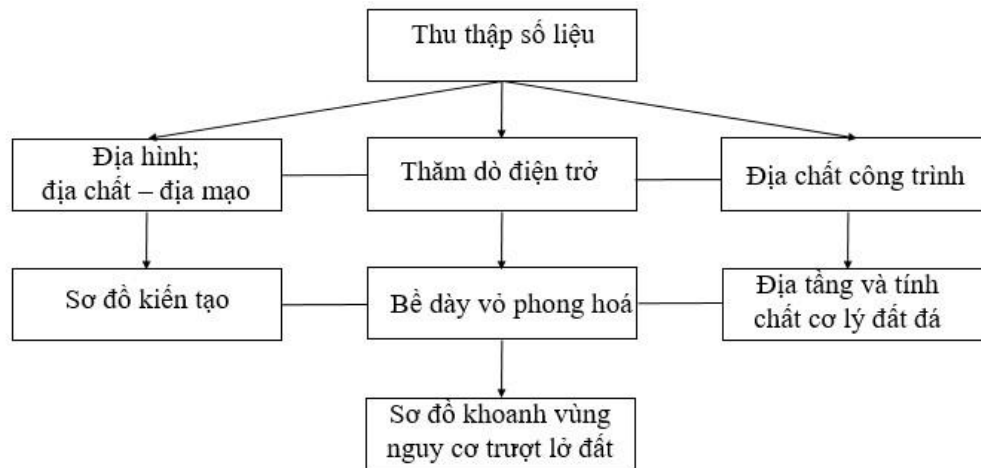
Cuối cùng, xây dựng sơ đồ dự báo nguy cơ trượt lở đất cho toàn vùng nghiên cứu bằng phương pháp tích hợp các kết quả (sơ đồ kiến tạo - sơ đồ vỏ phong hóa - địa chất công trình).

3.1. Phương pháp thăm dò điện trở

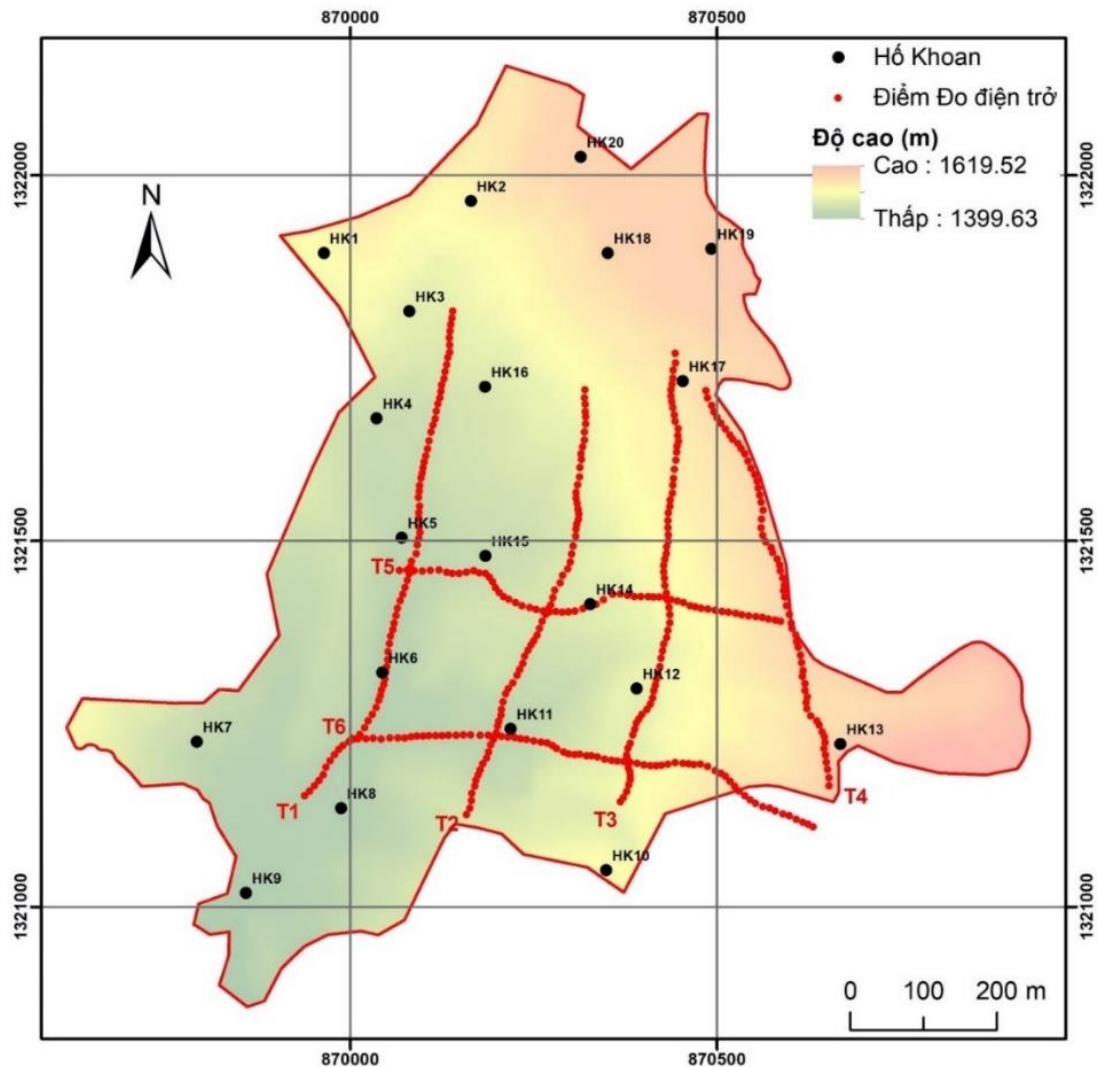
Trong nghiên cứu này, phương pháp thăm dò điện trở được thực hiện bởi thiết bị thăm dò điện trở Model ES2 sản xuất tại Việt Nam. Tại đây, chúng tôi bố trí 6 tuyến đo bao gồm 4 tuyến theo phương vị Nam - Bắc (T1, T2, T3, T4) và 2 tuyến vuông góc (T5, T6), với 408 điểm cách đều nhau 10 m một điểm, chiều sâu nghiên cứu đến 70 m đảm bảo bao phủ được diện tích nghiên cứu và tập trung vào các khu vực đã xảy ra trượt lở đất để xác định cấu trúc địa chất khu vực (Hình 4). Khối lượng chi tiết các điểm đo tại từng tuyến



Hình 2. (a) Sơ đồ cấu trúc kiến tạo khu vực nghiên cứu, (b) Mặt cắt tổng hợp địa hình, địa chất theo phương Tây Đông.



Hình 3. Sơ đồ quy trình thực hiện.



Hình 4. Sơ đồ bố trí tuyến đo điện trở.

Bảng 1. Khối lượng chi tiết các điểm đo theo từng tuyến.

Tuyến	Chiều dài tuyến (m)	Khối lượng (Điểm)	Điểm bắt đầu-kết thúc	Phương vị
T1	750	76	D1-D76	B-N
T2	650	66	D77- D142	
T3	710	72	D143- D214	
T4	600	61	D215 - D275	
T5	590	60	D276- D335	Đ-T
T6	720	73	D336- D408	
Tổng	4020	408		

được trình bày ở Bảng 1.

Phương pháp thăm dò điện trở suất được xây dựng dựa trên mối quan hệ của đặc điểm phân bố mật độ dòng điện được phát vào môi trường dưới bề mặt Trái Đất phụ thuộc vào thành phần vật chất và trạng thái của đất đá. Phương pháp điện trở có ưu việt là khả năng đáp ứng yêu cầu nghiên cứu chi tiết cần thiết nhờ có phân giải cao với dải điện trở suất từ đơn vị đến hàng trăm, hàng nghìn Ohm, là tính chất dẫn điện của hầu hết các đối tượng trong môi trường địa chất và địa kỹ thuật. Máy móc thiết bị đơn giản, dễ thực hiện, chi phí thấp so với các phương pháp địa vật lý khác. Việc đo đặc bằng phương pháp điện trở có thể thực hiện bằng sử dụng các hệ điện cực khác nhau như: 2 cực (pole-pole), 3 cực (pole-dipole), lưỡng cực (dipole-dipole), 4 cực đối xứng Wenner-Schlumberger (W-S) gồm 2 cực phát và 2 cực thu. Trong nghiên cứu này, hệ điện cực đối xứng W-S được sử dụng do phương pháp này có tính định

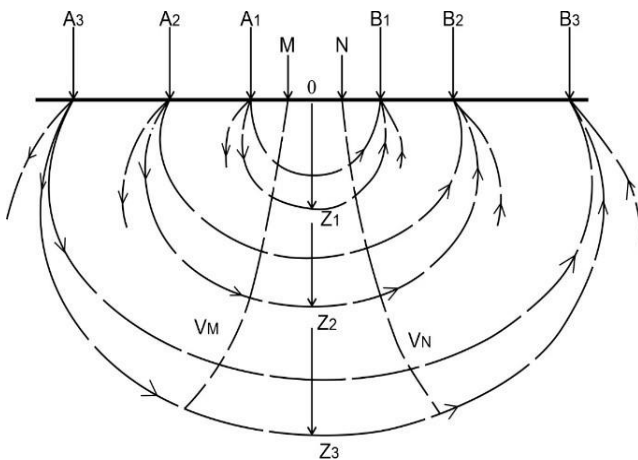
xứ tốt (Loke, 2010). Việc tăng dần khoảng cách giữa các điện cực thu và phát trong phép đo điện thế giúp tăng dần chiều sâu nghiên cứu, từ đó có thể luận giải cấu trúc rõ ràng từ nông đến sâu. Bốn điện cực được bố trí như hình 5, trong đó hai điện cực A và B được sử dụng để phát dòng điện, trong khi hai điện cực M và N được dùng để đo hiệu điện thế ΔV . Giá trị điện trở suất biểu kiến được tính theo công thức (1) và (2).

$$\rho_a = K * \frac{\Delta V_{MN}}{I_{AB}} \quad (1)$$

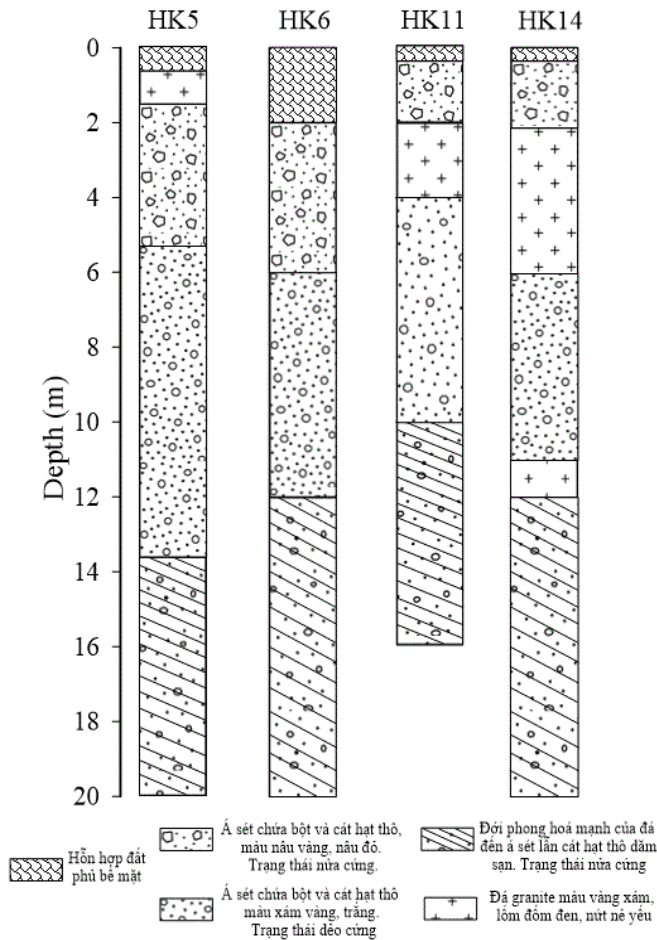
$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{AN}} - \frac{1}{r_{BM}} + \frac{1}{r_{BN}}} \quad (2)$$

Trong đó: K - hệ số hình học; I_{AB} - dòng điện qua 2 cực A, B; ΔV_{MN} - giá trị hiệu điện thế; r - kích thước hệ cực đo.

Tiếp theo, chúng tôi tiến hành giải bài toán ngược bằng quá trình tính lặp để tìm mô hình phân bố điện trở suất dưới tuyến đo có độ lệch giữa điện trở lý thuyết và điện trở quan sát đạt giá trị nhỏ nhất, đồng thời cũng phản ánh sự phù hợp với môi trường địa chất tại khu vực nghiên cứu (Loke và Barker, 1996). Phần mềm RES2DINV (Griffiths và Barker, 1993) được sử dụng để xử lý tài liệu điện. Để tính toán phân bố điện trở lý thuyết đầu tiên, mô hình cấu trúc ban đầu được xây dựng bằng cách chia môi trường 2-D dưới tuyến đo thành các ô hình chữ nhật ở các lớp độ sâu khác nhau và điện trở trong mỗi ô được ước lượng sơ bộ từ các giá trị điện trở biểu kiến đo được. Việc so sánh phân bố điện trở đã tính toán và các giá trị điện trở biểu kiến đo được tiến hành ở bước tiếp theo. Nếu sự khác biệt giữa chúng không đủ nhỏ, các tham số của mô hình, tức là giá trị điện trở trong mỗi ô sẽ được thay đổi và việc tính toán điện trở lý thuyết sẽ được lặp lại. Quá



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý đo sâu điện sử dụng hệ điện cực đối xứng Wenner – Schumberger (Dat và nnk., 2024).



Hình 6. Sơ đồ các lớp đất đá tại 4 hố khoan địa kỹ thuật (HK5, HK6, HK11, HK14) mà các tuyến điện trở cắt qua.

trình tính lập như trên được thực hiện cho đến khi độ lệch giữa giá trị điện trở suất lý thuyết và quan

sát trở nên đủ nhỏ, và mặt cắt phân bố điện trở suất cuối cùng được xem là mô hình cần tìm.

3.2. Tài liệu Địa kỹ thuật

Tài liệu địa kỹ thuật luôn đóng vai trò quan trọng trong quy trình phân tích nguyên nhân sụt lở vì nó đưa ra thông tin chi tiết về các lớp đất đá trong các hố khoan và các chỉ tiêu cơ lý của đất đá được xác định ở phòng thí nghiệm. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng tài liệu của 4 hố khoan điển hình (HK5, HK6, HK11, HK14) được khoan đến độ sâu 20 m ở các độ cao khác nhau và đều có các tuyến đo thăm dò điện cắt qua (Hình 6). Theo tài liệu khoan địa chất công trình, chúng ta có thể phân chia các lớp đất đá thành 4 lớp chính với các đặc tính cơ lý của các lớp này được trình bày trong Bảng 2.

- Lớp 1: Á sét màu xám vàng, nâu đỏ, tím. Hàm lượng đất bột cao xen kẹp cát hạt thô. Trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng tính chất cơ lý đất yếu đến trung bình khi có độ rỗng lên đến 50%, tuy nhiên đất lại chứa một lượng bột đất cao, vì thế khi đất đạt đến trạng thái bão hoà nước dễ xảy ra hiện tượng chảy nhão và sụt lở.

- Lớp 2: Đây là lớp có tính chất cơ lý trung bình nhưng cũng chứa lượng ít đất bột nên khi ngâm nước, một phần vẫn có thể bị chảy nhão.

- Lớp 3: Đất phong hoá lẫn á sét màu vàng, nâu đỏ và cát hạt thô. Lớp này phân bố ở hầu hết các hố khoan

- Lớp 4: Lớp đá granite màu xám trắng, lốm đốm đen, nứt nẻ ít. Lớp này hầu như là đá cục bộ chứ chưa phải đá gốc, xuất hiện cục bộ tại một số hố khoan.

Bảng 2. Các đặc tính cơ lý đất nền.

Tính chất cơ lý	Kết quả thí nghiệm		
	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3
Độ ẩm (%)	33	30,82	29,7
Dung trọng ướt (KG/m ³)	1800	1850	
Dung trọng khô (KG/m ³)	1350	1420	
Khối lượng riêng (Kg/m ³)	2680	2-680	2680
Độ rỗng (%)	49,55	47,03	
Giới hạn chảy	41,92	42,46	42,21
Giới hạn dẻo	26,11	27,05	26,79
Chỉ số dẻo	15,81	15,41	15,42
Độ sệt	0,44	0,25	0,18
Lực dính C (kG/cm ²)	0,177	0,194	
Góc ma sát trong (°)	13,3	13,57	

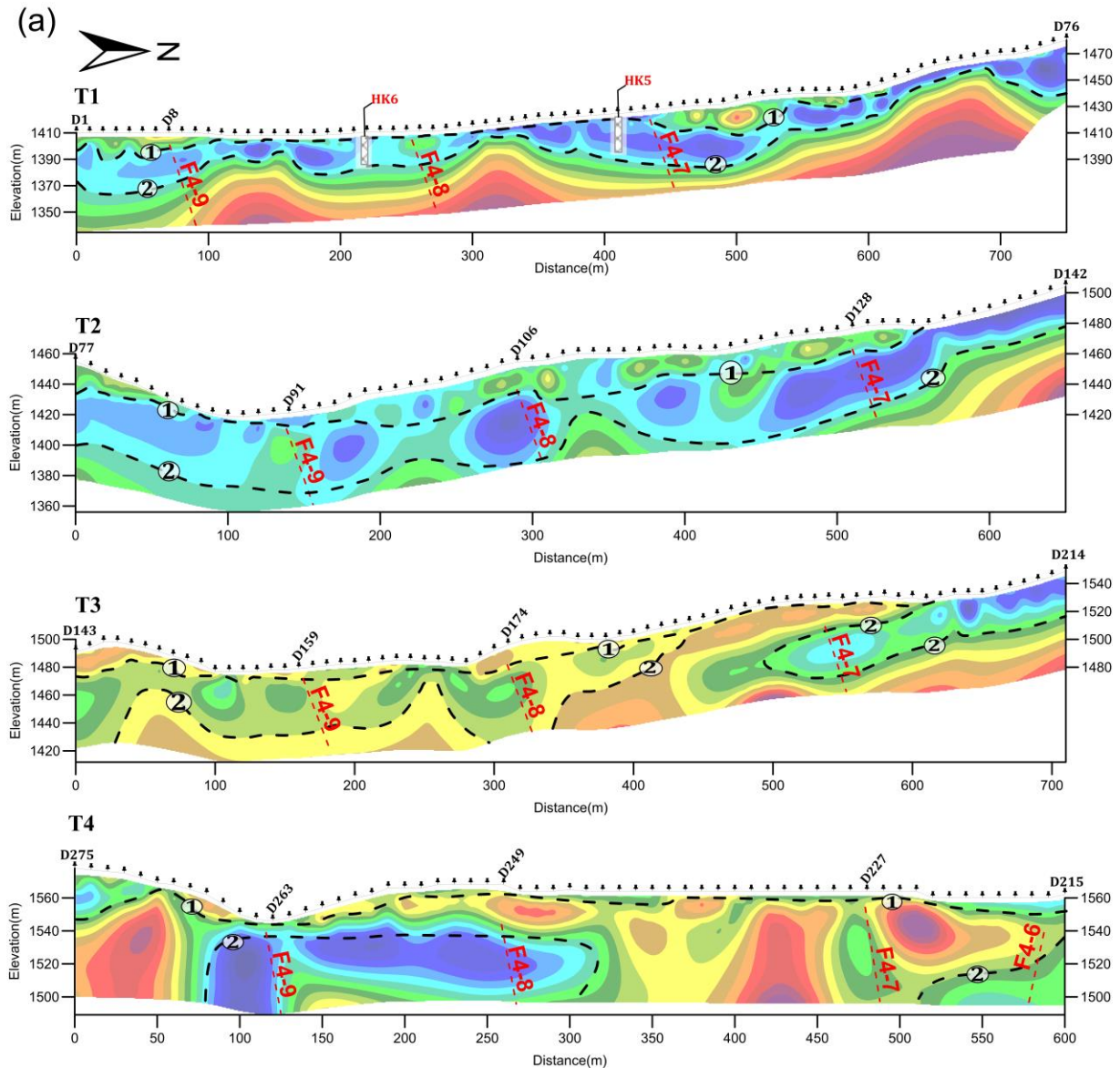
4. Kết quả và thảo luận

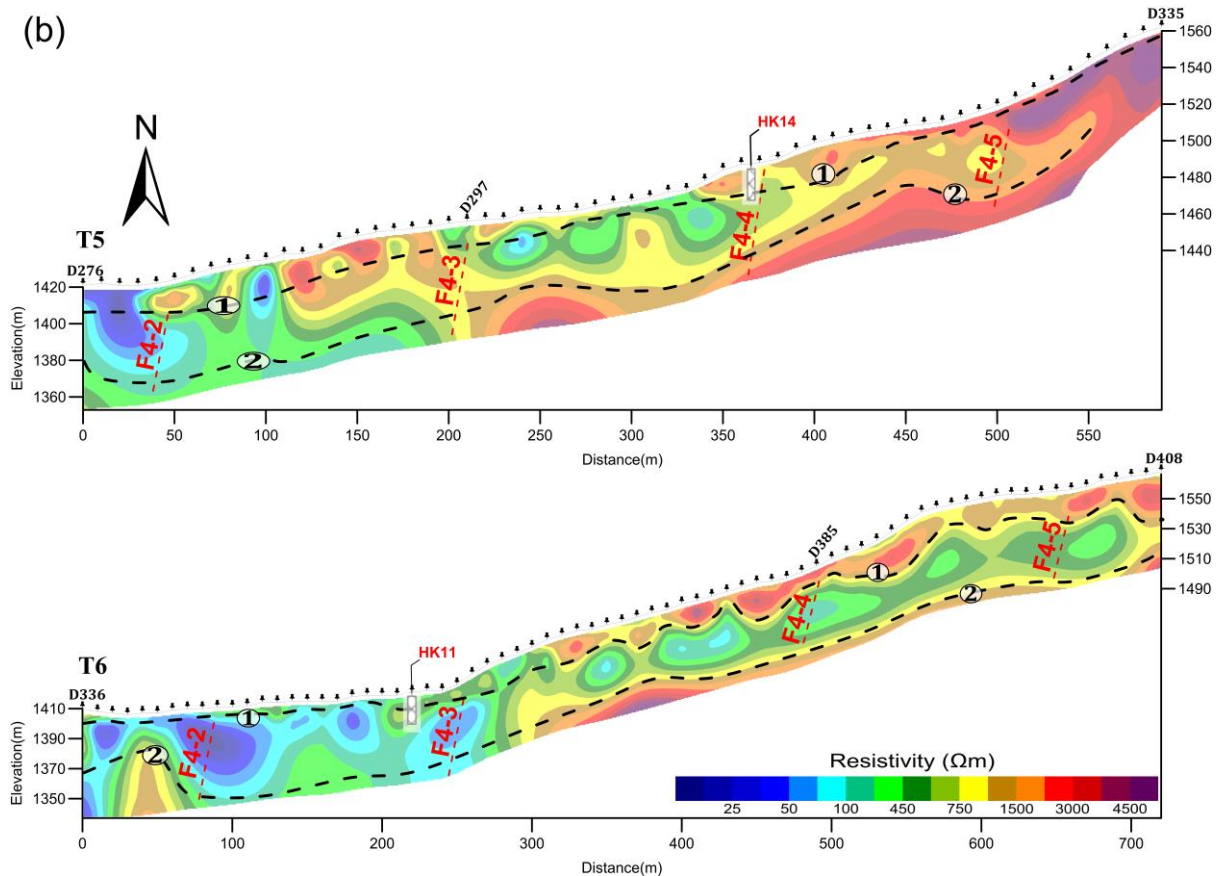
4.1. Kết quả đo điện trở

Hình 7 thể hiện kết quả thăm dò điện trở theo 6 tuyến khảo sát: tuyến T1, T2, T3, T4 phương vị Nam – Bắc, tuyến T5, T6 cắt vuông góc với 4 tuyến trên theo phương vị Tây – Đông. Quan sát các mặt cắt 2D nhìn chung ta thấy giá trị điện trở thay đổi từ vài chục Ωm đến khoảng trên 5.000 Ωm và được chia thành 3 lớp chính:

- Lớp trên cùng (lớp 1): là tầng vỏ phong hóa bở rời giá trị điện trở suất phần lớn thay đổi trong khoảng 500÷1.500 Ωm và không phải chỗ nào

cũng có mặt, cá biệt một số nơi điện trở suất <100 Ωm . Chiều dày lớp dao động từ vài mét đến khoảng 20 m và đều có xu hướng mỏng dần về khu vực cuối mỗi tuyến (T1-T5). Có thể nhận thấy, dọc phần lớn tuyến T1 lớp 1 rất mỏng chỉ một vài mét. Riêng tại đoạn đầu tuyến chiều dày lớp này đạt 5÷7 m, dày nhất là tại điểm 500 m trên tuyến và lân cận đạt đến hơn 10 m. Tuyến thứ hai cũng có lớp 1 rất mỏng là tuyến T4 chỉ vài mét đến <5 m dọc theo phần lớn chiều dài tuyến, có nơi còn lộ đá gốc. Riêng tại đoạn đầu tuyến dài khoảng 50m chiều dày lớp này tăng đột biến đến hơn 20 m. Đáng chú ý là tại tuyến T2 chiều dày lớp 1 khá lớn và ổn định từ đầu cho đến gần cuối tuyến lên đến ~20 m và tuyến T3 có chiều dày ít thay đổi nhưng





Hình 7. Mặt cắt điện theo tuyến: (a) 4 tuyến T1,T2,T3,T4 phương Nam – Bắc; (b) 2 tuyến T5, T6 phương Tây – Đông cắt qua 4 hố khoan địa kỹ thuật (HK5, HK6, HK11, HK14).

mỏng hơn so với tuyến T2 chỉ khoảng 15 m phù hợp với bậc địa hình tăng dần (Hình 4). Tương tự như vậy, tuyến T5 có lớp 1 tương đối dày ở hai cánh, nhiều khả năng do nằm trong vùng ảnh hưởng của 2 đứt gãy (F3-4 ; F4-4), đáng lưu ý đoạn giữa tuyến mỏng hơn. Riêng tuyến T6 chiều dày lớp 1 ở đoạn đầu tuyến tương đối mỏng nhưng bắt đầu từ điểm 250 m chiều dày lớp này tăng lên và khá ổn định trong khoảng trên 15 m cho đến cuối tuyến.

- Lớp thứ 2 là tầng bán phong hóa có chiều dày không ổn định, điện trở suất phần lớn thay đổi trong khoảng gần 100÷500 Ωm với chiều dày thay đổi từ khoảng 5 m đến >30 m. Những nơi điện trở suất thấp dưới 100 Ωm là các vùng dập vỡ đứt gãy có chứa nước. Đặc điểm như vừa nêu được xác nhận khi liên kết tài liệu thăm dò điện với kết quả khảo sát bằng phương pháp địa chất - địa mạo và tài liệu lỗ khoan.

- Lớp thứ 3 là lớp dưới cùng có điện trở suất khá cao và ổn định đến trên 5.000 Ωm tương ứng với sự xuất hiện của đá cứng rắn chắc. Lớp này

xuất hiện nhiều ở tuyến T1, T4 từ độ sâu chỉ khoảng 10 m.

Với dấu hiệu điện trở suất thấp như nêu trên các đứt gãy (F4-7, F4-8, F4-9) đều được phát hiện trên cả 4 tuyến đo điện trở cho thấy xu hướng phát triển theo phương (ĐB-TN), ngoài ra trên tuyến T4 còn phát hiện đứt gãy (F4-6) tại khu vực cuối tuyến phương (TB-ĐN). Các đứt gãy á kinh tuyến (F4-2, F4-3, F4-4, F4-5) phát hiện theo tài liệu địa chất - địa mạo cũng được khẳng định bằng tài liệu điện trở khi đều được thể hiện bằng các vùng dị thường điện trở suất thấp trên cả 2 tuyến T5 và T6. Đặc biệt hướng cắm của các đứt gãy này có xu hướng xuôi theo chiều dốc càng thúc đẩy nhanh chóng quá trình trượt lở đất khi xuất hiện các yếu tố bất lợi khác.

4.2. Bề dày vỏ phong hóa

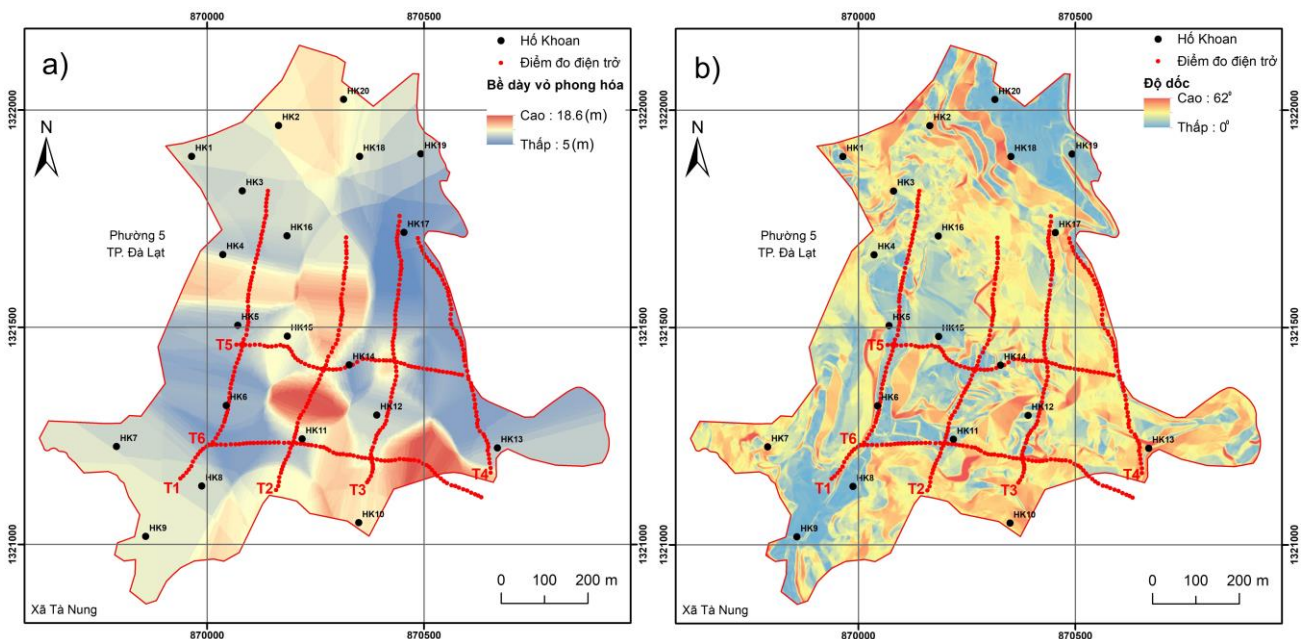
Dựa trên kết quả thăm dò điện trở và kết hợp kiểm chứng với tài liệu hố khoan địa chất công trình, chúng tôi đã tiến hành thành lập sơ đồ vỏ phong hóa cho toàn khu vực nghiên cứu với số liệu

bề dày tầng phong hóa là bề dày lớp thứ nhất theo thăm dò điện, cộng thêm các giá trị bề dày lớp này thu thập được trong các hố khoan nằm bên ngoài các tuyến đo (Hình 8a). Theo đó khu vực phía Đông của vùng nghiên cứu có bề dày lớp phủ khá mỏng chỉ dưới 5 m có nơi đá gốc còn lộ ra trên mặt thể hiện là vùng tương đối ổn định. Khu vực Đông Nam dự án có bề dày vỏ phong hóa tương đối lớn xấp xỉ 20 m, hiện tượng này nhiều khả năng liên quan đến hoạt động của các đứt gãy. Đáng lưu ý là các điểm đã xảy ra trượt lở đất đều nằm trong khu vực có chiều dày vỏ phong hóa lớn. Không những thế đới phong hóa dày này nằm trong khu vực có sự thay đổi nhanh chóng về mặt địa hình, độ dốc khá lớn có nơi đến gần 60° (Hình 8b) cũng là yếu tố nhạy cảm với quá trình trượt lở đất. Theo kết quả nghiên cứu thì các điểm đã xảy ra trượt lở trong vùng nghiên cứu đều nằm ở khu vực độ dốc địa hình lớn, có tầng phong hóa triệt để khá dày, phía dưới là các đới dập vỡ đứt gãy. Mặt khác, kết quả đo điện còn được đối sánh với kết quả phân tích địa kỹ thuật cho thấy tầng phong hoá triệt để dễ trượt lở được xác định theo phương pháp điện tương ứng với lớp 1 đều chứa lượng bột đất cao, khi ngậm nước đạt đến trạng thái bão hoà nước đất có tính tan rã cao dễ xảy ra hiện tượng sạt lở. Độ rỗng của lớp 1 cũng khá lớn đến 49,55% với độ ẩm cao khoảng 33%. Tại một số hố khoan xuất hiện các tầng mỏng 1÷3,8 m đá granit nứt nẻ tạo

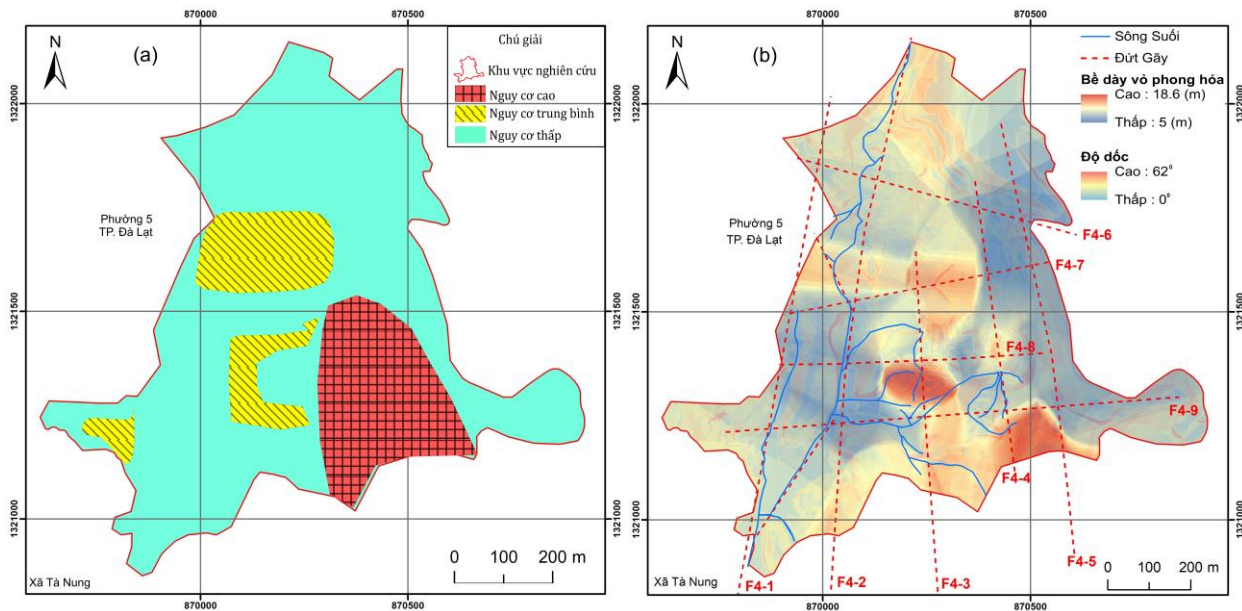
điều kiện thuận lợi để nước xâm nhập, tạo dòng chảy trong các khe nứt, gia tăng nguy cơ trượt lở. Phần đất phong hóa bờ rời ở trên có độ gắn kết yếu, nhiều tầng lẫn hình cầu có thành phần sét phân bố trong lớp này cũng là yếu tố làm gia tăng nguy cơ trượt lở. Mặc dù các hố khoan được thực hiện trong vùng mới chỉ dừng lại ở chiều sâu ~20 m, chưa chạm tới tầng đá cứng rắn chắc nhưng cũng giúp đánh giá được bề dày vỏ phong hoá trên từng tuyến thăm dò điện trở.

4.3. Sơ đồ nguy cơ trượt lở

Dựa vào các dấu hiệu liên quan đến trượt lở trong vùng nghiên cứu như đã trình bày ở trên, chúng tôi tiến hành thành lập sơ đồ nguy cơ trượt lở đất trên cơ sở tích hợp không gian các sơ đồ về bề dày vỏ phong hoá, độ dốc địa hình, mật độ đứt gãy và sông suối bằng sự trợ giúp của phần mềm Mapinfo 9.5 (Hình 9b). Việc khoanh vùng dự báo nguy cơ trượt lở được thực hiện bằng cách tích hợp không gian hệ thống GIS. Những vùng có nguy cơ cao nhất là vùng hội tụ cùng lúc các yếu tố tác động gồm: độ dốc địa hình lớn từ 60° trở lên, bề dày vỏ phong hóa lớp 1 lớn nhất, mật độ đứt gãy và mật độ sông suối cũng cao nhất. Vùng có ít hơn các yếu tố như trên hội tụ hoặc yếu tố độ dốc địa hình, bề dày vỏ phong hóa và mật độ đứt gãy, sông suối không đạt mức cao nhất được coi là vùng có nguy cơ ở mức trung bình. Vùng còn lại là vùng



Hình 8. (a) Kết quả bề dày vỏ phong hoá; (b) Sơ đồ độ dốc địa hình khu vực nghiên cứu.



Hình 9. (a) Sơ đồ khoanh vùng dự báo nguy cơ trượt lở đất; (b) Sơ đồ tích hợp (Kiến tạo, bề dày vỏ phong hóa, độ dốc địa hình).

hầu như không có hoặc có rất ít các yếu tố bất lợi như nêu trên được coi là vùng nguy cơ thấp. Như vậy sơ đồ dự báo nguy cơ trượt lở gồm 3 cấp (Hình 9a), theo kết quả phân vùng thì vùng nguy cơ cao tập trung ở Đông Nam khu vực nghiên cứu cũng là nơi có bề dày vỏ phong hóa triệt để lớn nhất. Tại đây địa hình có độ dốc lớn với mật độ đứt gãy, sông suối cũng cao nhất. Tại khu vực phía tây có một vài vùng lớp phong hóa triệt để dày khoảng 10÷15 m nhưng mật độ đứt gãy và sông suối không cao nên được dự báo là các vùng có cấp độ nguy cơ trung bình. Trong khi đó mặc dù khu vực phía bắc vùng nghiên cứu có bề dày vỏ phong hóa lớn trên 15 m, bậc địa hình cũng thay đổi mạnh, tuy nhiên khu vực này mật độ đứt gãy và sông suối thấp nên được xếp vào vùng có nguy cơ thấp như các vùng còn lại.

Liên kết tài liệu thăm dò điện với tính cơ lý của đất đá trong các hố khoan cho thấy lớp phong hóa triệt để có tính cơ lý phản ánh là lớp đất yếu, dễ bị chảy nhão khi bị bão hòa nước. Nếu lớp này có độ dày lớn lại phân bố trong vùng có mật độ đứt gãy cao sẽ là đối tượng nhạy cảm nhất với trượt lở trong vùng nghiên cứu. Điều này được khẳng định bởi các điểm trượt lở đã xảy ra tại đây đều tồn tại 2 yếu tố nêu trên, tất nhiên còn cả yếu tố sườn dốc địa hình, mật độ sông suối,...

Với đặc điểm của tài liệu thăm dò điện như trình bày ở trên việc tích hợp các tài liệu gồm sơ

đồ phân bố tầng phong hóa triệt để, tài liệu phân bố đứt gãy, sông suối, tài liệu về địa hình đã thành lập được sơ đồ khoanh vùng nguy cơ trượt lở đất. Kết quả cho thấy vùng Đông Nam khu vực nghiên cứu có nguy cơ trượt cao nhất, tiếp đó là vùng phía Tây có nguy cơ trượt trung bình, phần phía Bắc và các vùng còn lại có nguy cơ trượt thấp. Đây là tài liệu đáng được tham khảo khi quy hoạch các hạng mục công trình xây dựng tại dự án.

5. Kết luận

Công tác thăm dò điện tiến hành tại dự án khu đô thị X, thành phố Đà Lạt đã cho phép đánh giá khá chi tiết môi trường phân lớp dưới tuyến đo gồm các lớp lần lượt là phong hóa triệt để, bán phong hóa và lớp đá rắn. Phân bố các đới dập vỡ đứt gãy chứa nước cũng được phát hiện bằng tài liệu điện trở.

Liên kết tài liệu thăm dò điện với tính cơ lý của đất đá trong các hố khoan cho thấy lớp phong hóa triệt để có tính cơ lý phản ánh là lớp đất yếu, dễ bị chảy nhão khi bị bão hòa nước. Nếu lớp này có độ dày lớn lại phân bố trong vùng có mật độ đứt gãy cao sẽ là đối tượng nhạy cảm nhất với trượt lở trong vùng nghiên cứu. Điều này được khẳng định bởi các điểm trượt lở đã xảy ra tại đây đều tồn tại 2 yếu tố nêu trên, tất nhiên còn cả yếu tố sườn dốc địa hình, mật độ sông suối,...

Với đặc điểm của tài liệu thăm dò điện như trình bày ở trên việc tích hợp các tài liệu gồm sơ đồ phân bố tầng phong hóa triệt để, tài liệu phân bố đứt gãy, sông suối, tài liệu về độ dốc địa hình đã thành lập được sơ đồ khoanh vùng nguy cơ trượt lở đất. Kết quả cho thấy vùng Đông Nam khu vực nghiên cứu có nguy cơ trượt cao nhất, tiếp đó là vùng phía Tây có nguy cơ trượt trung bình, phần phía Bắc và các vùng còn lại có nguy cơ trượt thấp. Đây là tài liệu có cơ sở tin cậy cho khu vực nghiên cứu cần được tham khảo khi quy hoạch các hạng mục công trình xây dựng tại đây.

Đóng góp của tác giả

Trần Đăng Tuấn - xây dựng ý tưởng, phương pháp luận, viết bản thảo bài báo, thực địa kiểm chứng; Lại Hợp Phòng - đóng góp ý kiến, đánh giá, chỉnh sửa; Phạm Ngọc Đạt - phân tích dữ liệu, điều tra, khảo sát, đóng góp ý kiến; Phạm Hồng Trang - phân tích dữ liệu, đóng góp ý kiến, đánh giá, chỉnh sửa; Đinh Văn Toàn - đóng góp ý kiến, đánh giá, chỉnh sửa; Dương Thị Ninh - tổng hợp tài liệu cho phần đánh giá tổng quan; Trần Trung Hiếu - tổng quan tài liệu địa chất; Bùi Văn Thơm - phân tích dữ liệu Địa chất; Phạm Đức Nghiệp - thu thập số liệu.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành dựa trên nguồn số liệu của nhiệm vụ khảo sát đánh giá tai biến trượt lở đất tại khu đô thị X, thành phố Đà Lạt và là kết quả nghiên cứu trực tiếp của Đề tài cấp cơ sở dành cho cán bộ trẻ của Viện Địa chất - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam “Sử dụng phương pháp thăm dò điện trở trong nghiên cứu đánh giá tai biến trượt lở đất tại dự án khu đô thị X, Tp Đà Lạt”.

Tài liệu tham khảo

Archie, G.E. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME*, 146(01), pp.54-62.

Bièvre, G., Jongmans, D., Winiarski, T., Zumbo, V. (2012). Application of geophysical measurements for assessing the role of fissures in water infiltration within a clay landslide (Trieves area, French Alps). *Hydrol. Process.* 26, 2128-2142

Crawford, M., and Bryson L. (2018). Assessment of active landslides using field electrical measurements. *Eng Geol* 233:146-159. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.012>

Dat, P.N., Trang P.H., Phong L.H., Toan D.V., Ninh D.T., Tuan T.D., Thong K.D., Kien N.P. (2024). Application of Multi-Near-Surface Geophysical Surveys for Geothermal Spring: A Case Study in Kon Tum Province, Vietnam. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 29(1), 9-21.

Dostál, I., and Putiška R, Kušnirák D. (2014). Determination of shear surface of landslides using electrical resistivity tomography. *Contrib Geophys Geodesy* 44(2):133-147. <https://doi.org/10.2478/congeo-2014-0008>

Griffiths, D.H., Barker, R.D. (1993). Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal Appl. Geophys.* 29, 21-26. [http://dx.doi.org/10.1016/0926-9851\(93\)90005-J](http://dx.doi.org/10.1016/0926-9851(93)90005-J)

Holec J, Bednarik M, Sabo M, Minar J, Yilmaz I, Marschalko M. (2013). A small-scale landslide susceptibility assessment for the territory of Western Carpathians. *Nat Hazard* 69:1081-1107. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0751-6>

Kamiński, M. (2015). Application of airborne laser scanning and electrical resistivity tomography in comprehensive research of landslides – example from the Dynow Foothill (Outer Carpathians). *Prz. Geol.* 63, 410-417. (in Polish)

Kamiński, M., Zientara, P., & Krawczyk, M. (2021). Electrical resistivity tomography and digital aerial photogrammetry in the research of the “Bachledzki Hill” active landslide – in Podhale (Poland). *Engineering Geology*, 285, 106004. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106004>

Lê, N. T., Nguyễn, V. G. (2012). Góp phần xác định nguyên nhân sạt lở bờ Sông Tiền và Sông Sài Gòn bằng các khảo sát địa vật lý gần mặt đất. *Tạp chí các khoa học về trái đất*, 34(3), 205-216.

Lê, N. T., Nguyễn, Q. D., Nguyễn, S. N., Nguyễn, P. H., Lư, H. T. (2021). Thành lập bản đồ phân vùng nguy cơ trượt lở đất Thành phố Đà Lạt bằng

- phương pháp phân tích thứ bậc và hệ thống tin địa lý. *Tạp chí khoa học đại học mở Thành phố Hồ Chí Minh - Kỹ thuật và Công nghệ*, 16(1), 142-155. <https://doi.org/10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.16.1.1229.2021>.
- Loke, M.H., Barker, R.D. (1996). Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophys. Prospect.* 44, 131-152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142>.
- Loke, M.H. (2010). RES2DINV ver. 3.59, Geoelectrical Imaging 2D&3D, *Geotomo software*, 148p
- Nguyễn Văn Cường và nnk. (1994-1995). Báo cáo thành lập bản đồ địa chất và khoáng sản nhóm tờ Đà Lạt tỉ lệ 1/50 000. Lưu trữ liên đoàn bản đồ địa chất Miền Nam.
- Nguyễn, B. D., Hai, Đặng T., Minh, V. D., & Hiên, L. T. (2011). Nghiên cứu xác định nguyên nhân trượt lở khu vực cầu Móng Sến, tỉnh Lào Cai. *Tạp chí các khoa học về trái đất*, 33(2), 164-174. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/33/2/322>.
- Olabode, O. P., Lim, H. S., & Ramli, M. H. (2022). Geophysical and Geotechnical Evaluation of Landslide Slip Surface in a Residual Soil for Monitoring of Slope Instability. *Earth and Space Science*, 9(12), e2022EA002248. <https://doi.org/10.1029/2022EA002248>
- Pasierb, B., Grodecki, M., & Gwózdź, R. (2019). Geophysical and geotechnical approach to a landslide stability assessment: A case study. *Acta Geophysica*, 67(6), 1823-1834. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00338-7>
- Park, S. G., & Kim, J. H. (2005). Geological Survey by Electrical Resistivity Prospecting in Landslide Area. *Geosystem Engineering*, 8(2), 35-42. <https://doi.org/10.1080/12269328.2005.10541234>
- Panek T, Hradecky J, Silhan K (2008) Application of electrical resistivity tomography (ERT) in the study of various types of slope deformations in anisotropic bedrock: case studies from the Flysch Carpathians. *Studia Geomorphol Carpatho-Balcanica* 42:57-73
- Perrone, A., Lapenna, V., & Piscitelli, S. (2014). Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review. *Earth-Science Reviews*, 135, 65-82. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.04.002>
- Nguyễn, V.T., và các tác giả (2024). Báo cáo tổng hợp đề tài “Nghiên cứu cơ sở khoa học, xây dựng hệ thống quan trắc cảnh báo trượt lở tự động tại một số khu đô thị trọng điểm khu vực Tây Nguyên”.
- Reynolds, J.M. (1997) An introduction to applied and environmental geophysics. Wiley, Hoboken.
- Tomecka-Suchoń, S., Żogała, B., Gołębiowski, T., Dzik, G., Dzik, T., Jochymczyk, K. (2017) Application of electrical and electromagnetic methods to study sedimentary covers in high mountain areas. *Acta Geophys* 65:743-755. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0068-z>
- Sun, M., Liu, J., Ou, J., Liu, R., & Zhu, L. (2024). Electrical Resistivity Tomography (ERT) Investigation for Landslides: Case Study in the Hunan Province, China. *Applied Sciences*, 14(7), 3007. <https://doi.org/10.3390/app14073007>.
- Trần, V. T., Văn, D. T., Nguyễn, T. T. H. (2006). Đặc điểm phát triển kiến tạo đới Đà Lạt và kế cận trong Mesozoi muộn - Kainozoi. *Tạp chí các khoa học về trái đất*, 28(2), 140-149. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/28/2/11654>.