

Rezumatul activității și a rezultatelor obținute în proiect în anul 2025

Cifra proiectului 25.80013.0807.53ROMD

Denumirea Proiectului Utilizarea tehnicilor de observare a pământului și a inteligenței artificiale pentru detectarea și inventarierea alunecărilor de teren

Rezumat în limba română pentru anul 2025 1 pagină

Printre diversele hazarde geologice care afectează Republica Moldova, alunecările de teren reprezintă unul dintre cele mai răspândite și distructive procese, cu un impact semnificativ asupra așezărilor, infrastructurii și terenurilor agricole. Cea mai mare concentrație de zone afectate de alunecări de teren se află în partea centrală a țării, corespunzătoare Podișului Central Moldovenesc, o unitate geomorfologică caracterizată printr-un relief puternic disecat, eroziune activă și contraste litologice puternice. Densitatea mare a alunecărilor de teren din această zonă este determinată în principal de condițiile geologice - straturi alternante de argilă, marnă, nisip și calcar - și de diferențierea verticală pronunțată a terenului, care depășește 200 de metri în altitudine relativă.

Pe partea dreaptă a Prutului, zona de studiu pentru această etapă a fost unitatea geomorfologică Podișul Moldovei, o regiune controlată de o structură geologică monoclinală și caracterizată de forme de relief cuestas. Datorită extinderii lor spațiale și a activității recurente, aceste procese de pantă prezintă riscuri serioase pentru așezări, infrastructură și terenuri agricole. Prin urmare, dezvoltarea unor inventare robuste, multitemporale, este o condiție prealabilă atât pentru evaluarea hazardelor, cât și pentru strategiile de reducere a riscurilor pe termen lung.

Studiul s-a concentrat pe sectorul sudic al platoului, în cadrul Podișului Moldovei Centrale, unde alunecările de teren sunt frecvente și diverse. A fost concepută o metodologie dedicată pentru a integra mai multe surse de informații, inclusiv imagini aeriene de arhivă (din 2005), serii temporale de imagini din satelit, date de umbră derivate din LiDAR (2015) și rapoarte geologice și de hazarde oficiale. Abordarea a combinat interpretarea vizuală și proceduri semiautomate pentru a cartografia și caracteriza sistematic alunecările de teren pe parcursul a două decenii. Analiza multitemporală a traiectoriilor spectrale a fost utilizată pentru a surprinde schimbări subtile în modelele de reflectanță. Schimbările rapide, adesea exprimate ca strălucire bruscă a suprafeței, au fost interpretate ca indicatori ai unor prăbușiri recente ale pantei sau a unor evenimente de reactivare. Aceste semnale spectrale au fost validate sistematic în raport cu dovezi geomorfologice extrase din umbrele LiDAR, care au oferit o delimitare precisă a limitelor alunecărilor de teren și au îmbunătățit acuratețea inventarului rezultat.

Pentru a evalua distribuția spațială și factorii de control ai alunecărilor de teren, a fost elaborat un inventar al alunecărilor de teren la scară națională, bazat pe hărți geomorfologice la scara 1:200.000, reprezentând unul dintre cele mai cuprinzătoare seturi de date pentru analiza hazardului de pantă din regiune. Acest inventar a fost integrat într-un cadru al Sistemului Informațional Geografic (GIS) și analizat împreună cu straturi tematice care descriu litologia, panta, curbura, orientarea și elevația. Folosind abordări statistice precum tabelarea încrucișată și analiza probabilității condiționate, am cuantificat probabilitatea apariției alunecărilor de teren în anumite combinații de condiții geologice și morfometrice.

Rezultatele demonstrează că apariția alunecărilor de teren este puternic controlată de litologie, în special în formațiunile dominate de argilă și marnă, care prezintă o rezistență redusă la forfecare și o susceptibilitate ridicată la saturație. Gradientul pantei joacă un rol secundar, dar semnificativ, în timp ce curbura și aspectul pantei influențează în continuare distribuția spațială a instabilităților prin concentrarea scurgerilor și a fluxului subteran. Harta de susceptibilitate derivată dezvăluie zone

distincte de risc crescut de-a lungul fronturilor de cuestă și a versanților văilor, unde factorii structurali și morfologici converg.

Deasemenea, rezultatele demonstrează avantajele semnificative ale combinării arhivelor aeriene și satelitare pe termen lung cu seturi de date LiDAR moderne. Această integrare a permis reconstrucția amprentei istorice a alunecărilor de teren și detectarea evoluției lor dinamice. Au fost identificate numeroase alunecări de teren nedocumentate anterior, în timp ce dimensiunea temporală a analizei a făcut posibilă evidențierea multiplelor faze de reactivare pe mai multe sisteme de versanți.

Aceste constatări oferă o bază esențială pentru evaluarea hazardelor regionale și planificarea rezilienței. Integrarea cartografierii geomorfologice și a modelării statistice bazate pe GIS oferă un cadru robust pentru identificarea zonelor prioritare pentru monitorizare, atenuare și management durabil al utilizării terenurilor. În cele din urmă, acest studiu contribuie la îmbunătățirea înțelegerii dinamicii geohazardelor în Podișul Central Moldovenesc și susține luarea deciziilor bazate pe dovezi pentru a spori reziliența împotriva riscurilor legate de alunecările de teren.

Rezumat în limba engleză pentru anul 2025 1 pagină

Among the various geological hazards affecting the Republic of Moldova, landslides represent one of the most widespread and destructive processes, with a significant impact on settlements, infrastructure, and agricultural land. The highest concentration of landslide-affected areas is located in the central part of the country, corresponding to the Central Moldavian Plateau, a geomorphological unit characterized by a highly dissected relief, active erosion, and strong lithological contrasts. The high density of landslides in this area is primarily determined by geological conditions—alternating clay, marl, sand, and limestone strata—and by the pronounced vertical differentiation of the terrain, which exceeds 200 meters in relative elevation.

On the right side of the Prut River, the study area for this 2025 stage was the geomorphological unit Moldavian Plateau, a region controlled by a monoclinical geological structure and characterized by cuesta landforms. Due to their spatial extent and recurrent activity, these slope processes pose serious risks to settlements, infrastructure, and agricultural land. The development of robust, multi-temporal inventories is therefore a prerequisite for both hazard assessment and long-term risk reduction strategies.

The study concentrated on the southern sector of the plateau, within the Central Moldavian Plateau, where landslides are frequent and diverse. A dedicated methodology was designed to integrate multiple sources of information, including archival aerial imagery (2005 onwards), satellite image time series, LiDAR-derived hillshade data (2015), and official geological and hazard reports. The approach combined visual interpretation and semi-automatic procedures to systematically map and characterize landslides over two decades. Multi-temporal analysis of spectral trajectories was employed to capture subtle changes in reflectance patterns. Rapid shifts, often expressed as sudden surface brightening, were interpreted as indicators of recent slope failures or reactivation events. These spectral signals were systematically validated against geomorphological evidence extracted from LiDAR hillshades, which provided precise delineation of landslide boundaries and improved the accuracy of the resulting inventory.

To assess the spatial distribution and controlling factors of landslides, a national-scale landslide inventory was developed based on geomorphological maps at a scale of 1:200,000, representing one of the most comprehensive datasets for slope hazard analysis in the region. This inventory was integrated into a Geographic Information System (GIS) framework and analyzed in conjunction with thematic layers describing lithology, slope, curvature, aspect, and elevation. Using statistical approaches such as cross-tabulation and conditional probability analysis, we quantified the likelihood of landslide occurrence under specific combinations of geological and morphometric conditions.

The results demonstrate that landslide occurrence is strongly controlled by lithology, particularly in clay- and marl-dominated formations that exhibit low shear strength and high susceptibility to saturation. Slope gradient plays a secondary but significant role, while curvature and slope aspect further influence the spatial distribution of instabilities by concentrating runoff and subsurface flow. The derived susceptibility map reveals distinct zones of elevated risk along cuesta fronts and valley slopes, where structural and morphological factors converge.

Also, the results demonstrate the significant advantages of combining long-term aerial and satellite archives with modern LiDAR datasets. This integration allowed the reconstruction of the historical footprint of landslides and the detection of their dynamic evolution. Numerous previously undocumented landslides were identified, while the temporal dimension of the analysis made it possible to highlight multiple reactivation phases across several slope systems.

These findings provide an essential baseline for regional hazard assessment and resilience planning. The integration of geomorphological mapping and GIS-based statistical modeling offers a robust framework for identifying priority areas for monitoring, mitigation, and sustainable land-use management. Ultimately, this study contributes to improving the understanding of geohazard

dynamics in the Central Moldavian Plateau and supports evidence-based decision-making to enhance resilience against landslide-related risks.

