

genních edafoidů zjištěn v celé řadě zkoumaných lokalit, zejména na jižních a jihovýchodních svazích Casity. Např. braunlehmovité a rotlehmovité edafoidy (srov. KUBIENA 1970 – in HRADECKÝ et al. 1997, 1998, 1999).

I když jde u většiny uvedených případů o jejich redeponované a do půd zahnětené relikty (v některých výskytech však převažují nad půdním materiélem), jsou tato zjištění dokladem toho, že vulkanogenní edafoidy jsou ve studovaném území zastoupeny stejně bohatě jako v ostatních (sub) tropických neovulkanických oblastech.

## Literatura

- HRADECKÝ, P. - HAVLÍČEK, P. - NAVARRO, M. - NOVÁK, Z. - STANÍK, E. - ŠEBESTA, J. (1997): Geologická studie: výzkum přírodních rizik a zranitelnosti horninového prostředí v oblasti Managua. – MS, Čes. geol. úst. Praha ve spolupráci s Nicaragujským institutem teritoriálních studií. Praha, Managua.
- HRADECKÝ, P. - HAVLÍČEK, P. - MLČOCH, B. - NAVARRO, M. - NOVÁK, Z. - STANÍK, E. - ŠEBESTA, J. (1998): Geologická studie: výzkum přírodních rizik a zranitelnosti horninového prostředí v oblasti Masaya a Granadu. – MS, Čes. geol. úst. Praha ve spolupráci s Nicaragujským institutem teritoriálních studií. Praha, Managua.
- HRADECKÝ, P. - HAVLÍČEK, P. - HRUBEŠ, M. - MLČOCH, B. - OPLETAL, M. - ŠEBESTA, J. - TOMAS, R. (1999): Geologická studie: výzkum přírodních rizik a zranitelnosti horninového prostředí, oblast Chinandega - León (Cordillera de Marabios). – MS, Čes. geol. úst. Praha ve spolupráci s Nicaragujským institutem teritoriálních studií. Praha, Managua.

## VÝVOJ RELIÉFU STRATOVULKÁNU CASITA, NIKARAGUA

### Development of the Casita stratovolcano relief, Nicaragua

JIŘÍ ŠEBESTA

*Český geologický ústav, Klárov 3, 118 21 Praha 1*

**Key words:** Stratovulcano, Earthflow, Tectonic predisposition of the relief, Erosion, Alteration, Fumarole, Volcanic fluviatile plain

**Abstract:** The volcanic group of San Cristobal and Casita stratovolcanoes is part of the Nicaragua volcanic chain. Geologically it is very young – Plio-Pleistocene to recent. Casita is a dormant volcano with some fumarole fields only. Select parts of the volcano body are hydrothermally altered. Thick colluvium covers the altered slopes of the Casita volcano. These are suitable for intensive mass movements of material, especially sliding and erosion. In 1998, end of October a huge catastrophic earthflow affected the southern slope of the Casita volcano. The accumulation areas on the foothill are filled with polycyclic volcano fluviatile deposits. The volcano-tectonic and the exogenic development of the area is complicated due to its polycyclic pattern.

The whole area is affected by volcanically induced geodynamic processes vulnerability, it is prone to landslides and erosion, seismic and volcanic hazards.

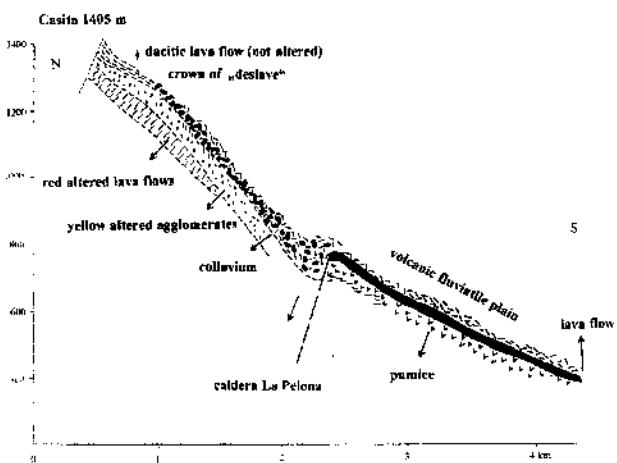
Stratovulkán Casita jako součást vulkanické skupiny San Cristobal leží v pacifické zóně Nikaragui, která se vyznačuje intenzivní mio-pliocenní, pleistocenní až současné tektonickou aktivitou, mající za následek rozšířování nikaragujské deprese. Vytvářejí se ale i pozitivní povrchové vulkanické tvary.

Nikaragujská deprese se v této části vyvíjí jako velmi mělký mořský záliv Fonseca, který na souš pokračuje širokou depresí Estero Real, Olomega a Tecomapa. Její nadmořská výška je 1–20 m. Pokles nikaragujské deprese zde není tak markantní, ale je zřejmé, že severní úpatí vulkanické skupiny San Cristobal leží o 150–200 m níže než jižní úpatí. Nikaragujská deprese, při jejímž jz. okraji se vyskytuje vulkanická skupina San Cristobal, se pravděpodobně rozšiřuje od svrchního miocému, přičemž její jz. okraj je

aktivní. Protože rozšířování deprese neprobíhá rovnoměrně, dochází k dlouhodobému rozčlenění jz. křídla deprese podél příčných zlomů (obr. 1).

Ve studované oblasti se vulkanismus projevuje lineárně. Jednotlivé vulkanické skupiny mají obvykle mírně odlišný směr od hlavního jz. směru. Linie vulkánů skupiny San Cristobal má vsv. směr a není propojena s vulkanickou linií skupiny Telica, která má podobný směr, ale je o 8 km paralelně posunuta k jihu. Za předpokladu, že vulkanické aktivity souvisí s okrajem nikaragujské deprese, lze zde předpokládat významný transformní zlom mezi oběma vulkanickými skupinami – San Cristobalu a Telicou. Linie transformního zlomu se předpokládá mezi Posoltegou a obcí Mocoron (Comarca Las Marias) a nazýváme jej transformní zlom Colonia Cristo Rey.

Řídící vulkány vznikají obvykle na křížení několika zlo-



Obr. 1. Podélný profil jižním svahem sopky Casita.

mových systémů. Vulkán San Cristobal leží na křížení linie okraje nikaragujské deprese, sv. zlomového systému a výrazné zlomové struktury Laguna Verde sj. směru, která se však projevuje jen v nikaragujské depresi a už vůbec ne na jz. křídle deprese. Vulkán Casita leží na linii okrajového zlomu nikaragujské deprese, kde se kříží se zlomem jz. směru, zlomy sv. směru a sj. směru. Zlomy sj. směru oproti San Cristobalu jsou zde registrovány jen na vnějším okraji deprese.

Vzniklé tektonické segmenty, ohraničené hlubinnými transformními zlomy a okrajovými zlomy nikaragujské deprese, jsou pak dále členěny do menších tektonických ker, které jsou ohraničeny hlavně zlomy sv. směru, které jdou kolmo k teoretickému jz. průběhu okraje nikaragujské deprese. Hustota zlomů tohoto směru je poměrně vysoká. Předpokládáme, že jde spíše o husté puklinové zóny. Každopádně se tyto směry nejvíce uplatňují při vývoji vodní sítě nebo se podél nich odlučují sesuvy a jiné svahové pohyby.

Podél zlomů, korespondujících s okrajem nikaragujské deprese a zlomů, které je doprovázejí, byla pozorována intenzivní hydrotermální alterace okolních vulkanických hornin způsobená mohutnými fumarolami.

Jako nejmladší zlomy na jz. křídle nikaragujské deprese jsou předpokládány paralelní jz. zlomy, podél kterých vznikají nejmladší vulkanická centra (maary, výlevy mladých láv ap.). Tyto zlomy představují pravděpodobně další stadium rozširování nikaragujské deprese.

Jak ve vulkanické skupině San Cristobal, tak i skupině Telica lze pozorovat postupné stěhování aktivních kráterů od východu k západu. Předpokládá se, že tato skutečnost souvisí s celkovým trendem v podsouvání litosférických desek.

Mladý, endogenní činností vytvářený reliéf je vystaven intenzivním exogenním procesům teplého humidního klimatu a výsledkem je vysoká dynamika vývoje reliéfu. Na novotvarech vulkanického původu se velmi intenzivně uplatňují následně exogenní procesy, především eroze, procesy „mass movements“, přechodná akumulace povahy agradace ve výplavových kuželech a zvětrávání.

Reliéf studované oblasti, to znamená vulkanické skupiny San Cristobal, se dynamicky vyvíjí od pliocénu až po současnost. Podloží vulkanických skupin s největší pravděpodobností tvoří tektonické kry formací Coyol a Tamarido. Tyto formace jsou mio- pliocénního stáří. V této oblasti nebyly pozorovány podložní pliocénní ignimbrity, které jsou vyvinuty ve velkých mocnostech v okolí Managui a Granady. Vulkány skupiny San Cristobal mají polygenetický a polycylický charakter. Kalderový systém La Pelona pre-disponoval vznik stratovulkánů San Cristobal, Casita a pravděpodobně i vulkánů Chonco a Moyatepe. Kaldera La Pelona se pravděpodobně vyvíjela ve třech etapách, jak dokládají polohy pemzových napadávek. Morfologicky se výrazně projevuje její nejmladší okraj ve východní části vulkanické skupiny. San Cristobal a Casita vznikly jako nové vulkány v kaldeře La Pelona. Stratovulkán San Cristobal překryl původní rozsah kalidery Casita jen částečně.

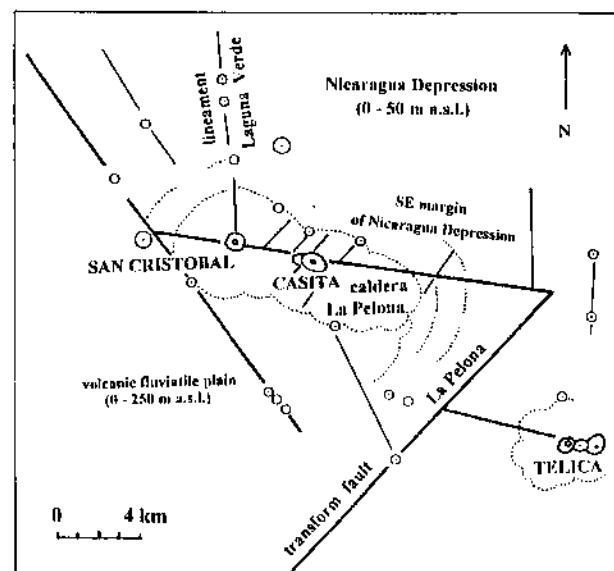
Významným fenoménem na úpatí vulkánu Casita je vývoj plošně rozsáhlých polycylických a polygenetických vulkanicko-deluvio-fluviálních uloženin (obr. 1). Jejich fa-ciální vývoj odpovídá vývoji podobných uloženin v okolí

guatemalské sopky Fuego, které popsali VESSELL - DAVIS (1981). Tyto uloženiny jsou v jižní části nikaragujského řetězce vyvinuty jen lokálně nebo vůbec.

Polycylické vulkanicko-deluvio-fluviální uloženiny tvoří poměrně plochý a mírně se svažující reliéf kolem skupin vulkánů. Od úpatí vulkánů k JZJ, směrem k Pacific-kému oceánu, k Z a S k zálivu Fonseca a k depresi Estero Real. Povrch vulkanicko-deluvio-fluviálních uloženin je přibližně v nadmořské výšce od 0 m do 250–300 m na pacifické straně a od 0 m do 50–100 m na severní straně vulkanické skupiny San Cristobal, směrem do nikaragujské deprese. Na povrchu těchto uloženin se uplatňuje charakter drenáže podobný jako je na systému plochých výplavových kuželů. Na některých místech toku agradují a tvoří se ploché výplavové kužele, na jiných jsou do svého podloží zaříznuté několik metrů hlubokými kaňonovitými erozními zářezy. Vulkanicko-deluvio-fluviální uloženiny jsou hlavně nezpevněné horniny s častým nehomogenním střídáním. Obsahují především polohy, více či méně zpevněných napadaných nebo přeplavených popelů, polohy strusky, pemzy, distální polohy pyroklastických vln a proudů, vložená koryta s písčitou nebo štěrkovou výplní, polohy fosilních přívalových proudů a blokových proudů. Byly pozorovány i vložky jemných jezerních sedimentů z přeplavených popelů. Na několika místech se vyskytují i rezistentní pohřbené lávové proudy (obr. 2).

Poměr eroze a agradace se neustále mění, jak dokládá příklad od Las Mercedes na úpatí Casity. V korytě bezjmenného toku se po erozi v korytě obnažily staré indiánské rytiny, předtím zakryté 1,5 m mocnými naplaveninami.

Na území města León polycylické vulkanicko-deluvio-fluviální uloženiny zarovnávají komplikovaný pohřbený tektonický reliéf, tvořený tektonickými krami miocénní formace Tamarindo. Předpokládá se, že stáří převážné části uloženin odpovídá plio-pleistocénnímu stáří vulkanické skupiny, kde je její zdrojová oblast.



Obr. 2. Skica tektonické predispozice vývoje reliéfu vulkanické skupiny San Cristobal.

Stratovulkán Casita dosahuje nadmořské výšky 1405 m. Patří mezi nejstarší vulkány v nikaragujském sopečném řetězci. Jeho stáří je odhadováno na střední až spodní pleistocén. V současné době je těleso stratovulkánu ve stádiu intenzivní hydrotermální alterace a denudace, která se projevuje především intenzivní erozí a svahovými pohyby.

Casita leží na křížení dvou tektonických systémů – na lineamentu nikaragujského vulkanického řetězce jv. směru a přičného zlomového systému ssv. směru. Na křížení těchto systémů je v současné době aktivní rozsáhlé fumarolové pole, na kterém dochází k intenzivní alteraci okolních vulkanitů. Vulkán Casita, podobně jako vulkán San Cristobal se vytvořil v nejmladší kalderovém systému - La Pelona (obr. 2). Je však starší San Cristobalu. Vyznačuje se intenzivně hydrotermálně alterovanými lávovými proudy a aglomeráty, které jsou velmi vhodným prostředím pro vznik různých svahových pohybů. Svahové pohyby mnoha generací produkují mocné akumulace rozvolněných svahovin, které jsou potenciálním zdrojem pro budoucí blokové proudy, sesovy a přívalové proudy.

Na vrcholu sopky je systém ustupujících kráterů s posledním kráterem La Ollada, který je přibližně 1200 m široký a přes 200 m hluboký. Kráter není aktivní. Pouze v jeho severní části je fumarolové pole. Vrchol sopky v okolí kráteru tvoří rozvolněné, ale ne alterované dacitové lávové proudy. Svahy sopky pak tvoří intenzivně alterované lávové andezitové proudy a aglomeráty, které jsou pokryty mocnými svahovinami, obzvláště v místech mezi svahem sopky a převyšeným okrajem kaldery La Pelona. Mocnost těchto rozvolněných akumulací lze odhadovat na desítky metrů s možností až 100 m při úpatí. Svahy jsou rozbrázděné intenzivní hlubokou erozí. Sv. svahy sopky jsou pokryty nejmladšími bazaltickými lávovými proudy a předpokládá se, že mladé lávy překrývají podloží, podobného složení jako je na straně jižní. V místě bývalého zdroje lávových proudů se rozkládá další fumarolové pole, které má lineární charakter sz. směru (směr nikaragujského vulkanického řetězce) a je pravděpodobně přičinou intenzivní alterace. Alterace probíhá selektivně. Dacitové lávové proudy na vrcholu Casity a mocné svahové uloženiny na jižním svahu nejsou alterovány.

Poslední význačná série přívalových proudů (earthflow) zde vznikla v roce 1998 během hurikánu Mitch, který se vyznačoval intenzivními dešťovými srázkami.

Jílovité rozložené lávové proudy a aglomeráty, které tvoří mocné polohy na svazích stratovulkánu jsou vhodné prostředí k vytváření svahových pohybů a nepochybě byly spoju s enormními srázkami hlavní přičinou vzniku katastrofického přívalového proudu v říjnu 1998 při intenzivních deštích hurikánu Mitch. Podle charakteru svahových uloženin lze usuzovat, že říjnový přívalový proud zde nebyl prvním případem. Tyto procesy zde mají polycyklíký vývoj, který probíhal od vzniku stratovulkánu Casita až do dneška a zdaleka není ukončen. Akumulace po fosilních přívalových proudech a jiných svahových pohybech byly registrovány ve vulkanicko-deluvio-fluviálních uloženinách na jižním úpatí sopky mezi obcemi Apastepe a Santa Narcisa na několika lokalitách.

Mechanismus vzniku katastrofického přívalového proudu z 30. října 1998 lze zrekonstruovat následovně:

Jižní svah sopky Casita, na kterém došlo k iniciálním svahovým pohybům, je tvořen velmi nestabilními a intenzivně alterovanými lávovými proudy a aglomeráty, které vznikaly při rozsáhlém fumarolovém poli, ležícím pod vrcholem sopky. Tyto alterované polohy hornin jsou překryty haldami dřívějších blokových proudů, drobných sesuvů, svahovin a přívalových proudů. Jejich mocnost narůstá směrem po svahu a při okraji kaldery La Pelona je jejich mocnost pravděpodobně větší než 100 m. Silnička, která vede na vrchol Casity na několika místech protíná valy a haldy blokových proudů a sesuvů, které mají velmi recentní charakter a každopádně nejsou stabilizované. Alterované zjíšlovatělé horniny zde lufiž vytváří vhodné podloží pro vytváření a pohyb různých svahových pohybů. Jejich vznik a pohyb pak závisí na atmosférických podmírkách. Při běžných deštích se mohou pohybovat v cm i více za den a v době sucha jejich pohyb úplně ustává. Při nadměrných srázkách dochází k odtrhávání nových ker alterovaných hornin a také k nasycení rozvolněných povrchových svahových akumulací vodou. Jejich pohyb se pak zvětšuje až s možností přechodu do přívalového proudu. Svahoviny vytvořily na svahu sopky několik desítek metrů mocné akumulace. Na jejich bázi se nyní vytváří zvýšená hladina podzemní vody.

Vlivem vysokých srážek během hurikánu Mitch došlo k nasycení celého tělesa mohutné úpatní akumulace svahovin a jen malé přitížení dvěma novými menšími blokovými proudy (debris flow) ze svahu Casity způsobily porušení rovnováhy ve velké úpatní akumulaci a došlo ke vzniku rozsáhlého přívalového proudu.

V oblasti Los Maribios, ale i jinde v Nikaragui jsou podobné nebezpečné podmínky (vulkán Rota, Mombacho, Maderas ap.).

## Literatura

- BERMÚDEZ, W. M. (1993): The interrelationships between volcanic and seismic activity to subduction-related tectonics in Western Nicaragua. – J. Geol. Soc. Japan, 99: 185–194. Tokyo.
- CARR, M. J. (1984): Symmetrical and segmented variation of physical and geochemical characteristics of the Central American volcanic front. – J. Volc. Geotherm. Res., 20, pp 231–252.
- HRADECKÝ, P. et al. (1999): Estudio geológico para reconocimiento de riesgo naturales. zona Chinandega – León, Cordillera De Los Marabios. – Archiv Ineter, pp. 81. Managua.
- MCBIRNEY, A. R. - WILLIAMS, H. (1964): The origin of the Nicaraguan Depression. – Bull. Volc., vol. 27, pp. 63.
- ŠEBESTA, J. (1997): Dynamic Development of the Relief in the Managua Area, Nicaragua. Acta Univ. Carolinae. Geographica, No. 2, pp. 93–109. Prague.
- UT, T. (1983): Volcanic dry avalanche deposits - identification and comparison with nonvolcanic debris stream deposits. – Jour. of Volc. And Geothermal Resear., vol. 18, pp. 135–150. Elsevier Amsterdam.
- WEINBERG, G. R. F. (1993): Neotectonic development of Nicaragua. – Tectonics, 11:5:1010–1017.
- WYK DE VRIES VAN, B. (1990): Volcanismo cuaternario en Nicaragua. – Abs. 8th Central American Geol. Confer. San José.
- (1993): Tectonics and Magma Evolution of Nicaraguan Volcanic System. – MS. Thesis for degree of Doc. of Phil., Open University, pp. 358.