

GEOCHEMICKÉ ASPEKTY GENÉZY KRASOVÝCH JAVOV STOLOVÝCH HÔR GUAYANSKEJ VYSOČINY

Tomáš LÁNCZOS

Katedra geochemie, Prírodovedská fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave

Roman AUBRECHT

Ján SCHLÖGL

Katedra geológie a paleontológie
Prírodovedská fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave

Miloš GREGOR

Geologický ústav, Prírodovedská fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave

Lukáš VLČEK

Slovenská správa jaskýň
Liptovský Mikuláš

Branislav ŠMÍDA

Katedra fyzickej geografie a geoekológie
Prírodovedská fakulta
Univerzita Komenského v Bratislave

Charles BREWER-CARÍAS

Federico MAYORAL

Grupo Espeleológico de la Sociedad
Venezolana de Ciencias Naturales,
Caracas, Venezuela

ÚVOD

V predloženom príspevku je prezentovaná nová hypotéza vzniku pseudokrasových javov na stolových horách Guayanskej vysočiny. Hypotéza bola vypracovaná na základe výsledkov získaných počas dvoch medzinárodných expedícií na stolových horách Macizó del Chimantá a Monte Roraima uskutočnených v r. 2007 a 2009 s účastníkmi zo Slovenska, Venezuely, Chorvátska a Čiech. Expedície sa súčasťou tiež vedecký team v zložení pracovníkov Kateder geochemie, geológie a paleontológie a ekológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Vedeckým cieľom expedície bol terénny geologický, geochemický a biologický výskum so zameraním na výskum krasových javov v kremencoch masívu Chimantá a hory Roraima. Súčasťou terénnych prác bol odber vzoriek horninového materiálu, opálových speleotém, biologického materiálu a taktiež odber a kolorimetrická analýza vzoriek vôd. V januári a februári r. 2009 sa uskutočnila ďalšia expedícia ktorá už nadviazala na započaté výskumy z r. 2009. Vedecký program expedície bol rozšírený o systematické meranie tvrdosti hornín Schmidovým kladivom a tiež o výskum vodnej fauny jaskýň a povrchových vôd stolových hôr.

GEOCHEMICAL ASPECTS OF KARST PHENOMENA GENESIS (GUIANA UPLAND'S TABLE MOUNTAINS)

Abstract: In the presented paper a new hypothesis of the quartzite pseudokarst genesis is presented based on findings of field investigations during two expeditions in years 2007 and 2009.

Key words: Cueva Charles Brewer, Cueva Ojos de Cristal, Chimantá, Roraima, Venezuela, caves, speleology, table mountains, quartzite karst

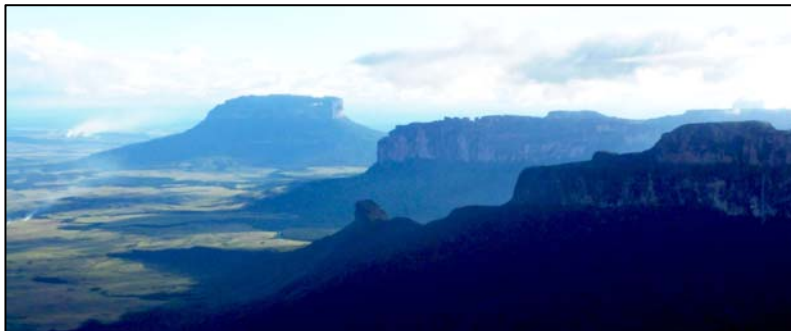
GEOLOGICKÉ POMERY PREDMETNEJ OBLASTI

Študované stolové hory sú lokalizované vo venezuelskej časti Guayanského pohoria (juhovýchodná Venezuela, štát Bolívar). Širšie okolie stolových hôr (tepui alebo tepuy) je tvorené odlesnenou savanou nazvanou Gran Sabana (4°30'-6°45' N a 60°34'-62°50' W), v hornej časti povodia rieky Caroní, jedným z hlavných prítokov rieky Orinoco. Širšie okolie oblasti Gran Sabana je budované horninami Guayanského štítu ktorý predstavuje severný segment Amazónskeho kratónu, ktorý sa rozprestiera na ploche 900 000 km² v oblasti medzi riekami Amazonka a Orinoco (Cordani et al., 1988, in Voicu et al. 2001) na území piatich krajín (Venezuela, Guyana, Surinam, Francúzska Guiana a Brazília).

Samotné stolové hory sú budované horninami formácie Matauí pozostávajúcej z pieskovcov so zdrojovou oblasťou v Transamazónskom pohorí ktoré boli deponované v predobľúkovej panve v prostredí divočiach riek, delt a plytkého mora, avšak prevažujú piesočnaté kontinentálne depozity (Reis et al. 1990, in Santos 2003). Horniny tejto formácie tvoria stolové hory, kvesty a kozie chrbty čnejúce ponad paleoproterozoické podložie (Obr. 1).

Formácia Matauí je súčasťou skupiny Roraima s mocnosťou od 200 m do vyše 3000 m v náhornej plošine Pacaraima. Skupina pozostáva z nasledujúcich jednotiek v postupnosti od najspodnejšej k najvrchnejšej: Arai, Suapi (Uiramutã, Verde, Pauré, Cuquenán, Quinô), Uaimapuê a Matauí (Reis a Yánez, 2001). Pozdĺž severnej hranice náhornej plošiny Paracaima prekrýva 2,25–2 Ga staré trans-amazónske kryštalinikum (skupiny Pastora a Carichapo), kým pozdĺž južného okraja sa v jej podloží nachádzajú vulkanické jednotky Uraicaá, Surumu a Pacaraima (1.96 Ga; Schobbenhaus et al. 1994, in Santos et al. 2003). Vek hornín najvrchnejšej časti skupiny Roraima stanovený na základe U-Pb metódy v zirkónoch v zelených tufoch formácie Uaimapuê je 1873 ±3 Ma (Santos et al., 2003)

Obr.1: Skupina stolových hôr na Gran Sabane (foto Lánczos)



VZNIK A VÝVOJ KRASOVÝCH JAVOV V KREMENCOCH

V súčasnosti sa na vysvetlenie vzniku kvarcitových jaskýň najčastejšie aplikuje model arenizácie prezentovaná Martinim (1979) t.j. rozpúšťanie kremenného tmelu kvarcitov a následné uvoľňovanie kremenných zŕn infiltrovanými zrážkovými vodami. Tento model je plne akceptovaný pre vysvetlenie speleogenézy v kvarcitoch vo všeobecnosti napr. Briceňom et al. (1991). Podľa Chalcrafta a Pye (1984) a Wraya (1997) je zvetrávanie penetratívne pozdĺž plôch styku medzi jednotlivými zrnami a plôch medzi vrstvami. Arenizáciou bola vysvetlená napr. genéza krasového systému Aonda na venezuelskej stolovej hore Auyán Mecchion a Piccinim (2009). Ako ďalšie hypotézy boli prezentované napr. rozpúšťacie procesy materiálu kvarcitov pod vplyvom vhodných poveternostných podmienok v kombinácii s extrémne dlhým časovým obdobím počas ktorých sú vystavené chemickému zvetrávaniu, t.j. rozpúšťaniu zrážkovými vodami (Urbani, 1986, Wray, 1997), zvyšovanie rozpustnosti kremeňa jeho hydratáciou na opál (White et al., 1966) alebo hydrotermálnu alteráciu SiO_2 pozdĺž puklín (Szczerban et al., 1977). Podľa Gorbushiny et al. (2001) je zvetrávanie kvarcitov na povrchu stolových hôr Venezuely silne ovplyvnené biogénnymi procesmi (vplyv siníc, húb a lišajníkov), Büdel et al. (2004) považujú za najdôležitejší mechanizmus vzniku krasových javov v kvarcitoch bioalkalizáciu kryptoendolitickými sinicami.

Významný vplyv rozpúšťacích procesov by sa mal prejavovať skôr za podmienok vyšších hodnôt pH (Martini, 2000), avšak podľa našich priamych pozorovaní však protirečia nami pozorované mimoriadne nízke hodnoty pH (3.3 až 5.64) čo je v súlade s publikovanými údajmi o geochemii prírodných vôd Gran Sabany (Briceño et al., 1991). Vplyv všadeprítomných siníc vo forme povlakov na povrchu stolových hôr na rozpúšťacie procesy podľa Gorbushiny et al. (l.c.) je možné považovať za potvrdený, avšak typické prejavy bioalkalizácie kryptoendolytickými sinicami podľa Büdela et al. (l.c.), t.j. odlupovanie cca. 0.7cm mocnej povrchovej vrstvy kvarcitov z povrchu sme nikde nepozorovali, čiže aj keď tento proces nemožno úplne vylúčiť, jeho vplyv nebude taký významný ako predpokladajú vyššie spomenutí autori.



Obr. 2. Stĺpovité útvary v kvarcitových jaskyniach v rôznom stupni erózie (foto Šmída)

Problematickým prvkom modelu arenizácie v zmysle vyššie uvedených autorov je, že telesám kvarcitov v ktorých sa vyvíjajú jaskyne a iné krasové útvary, prisudzujú homogénne fyzikálne vlastnosti. Podľa našich pozorovaní sú však nehomogenity kvarcitových masívov vo forme striedania lavíc s rôznou zrnitosťou mierou diagenetického spevnenia a pravdepodobne aj mineralogickým zložením hlavnou predispozíciou speleogenézy v týchto horninách. Zrnitosť a z nej vyplývajúca hydraulická vodivosť hornín má zásadný vplyv na prestup diagenetických roztokov presakujúcich cez súvrstvie smerom dole. V jemnozrnných vrstvách kde roztoky rovnomerne vyplňovali voľný priestor medzi zrnami pôvodne nespevneného piesku vznikali rovnomerne kremenným tmelom diageneticky spevnené lavice, pomerne odolné voči zvetrávaniu. Pokiaľ sa pod jemnozrnnou vrstvou nachádza hrubozrnnější s vyššou hydraulickou vodivosťou tak dochádza k javu ktoré nazývame prstové prúdenie (finger flow), t.j. prúdenie pod vplyvom gravitácie sa zrýchli a rozdelí sa do samostatných prstovitých prúdov. Tento jav je podrobne popísaný v

rôznymi autormi zaoberajúcimi sa transportnými procesmi v nenasýtenej zóne zvodneného horninového prostredia a v pôdach (napr. Bauters et al., 1999, Liu et al. 1993). Podľa Liu et al. (1993) pokiaľ sa tieto prstové prúdy raz vytvoria v pôvodne suchých pieskoch, tak zostávajú zakonzervované ako preferenčné cesty prúdenia pre infiltrujúce roztoky. V hrubozrnných polohách kvarcitov masívu Chimantá, ako aj hory Roraima sú tieto prstové prúdy veľmi dobre zachované v podobe stĺpov spevnených kremenným tmelom okolo ktorých je menej prekremenelý, až takmer nespevnený piesok odnášaný vodou alebo vetrom. Takýmto spôsobom vznikajú iniciálne jaskynné priestory v podobe nižších chodieb so stropom podopretým týmito fosilizovanými prstovými prúdmi, ktoré je možné pozorovať vo viacerých preskúmaných jaskynných priestoroch skúmaných oblastí. Postupne dochádza k stenčovaniu týchto stĺpov v dôsledku rozpúšťania tmelu ako aj abrázných procesov ktorý vedie k zrúteniu stropov a tým k zväčšeniu jaskynných priestorov. Takto vznikli aj gigantické podzemné priestory Cueva Charles Brewer na masíve Chimantá. Vo finálnej fáze dochádza ku kolapsu jaskynných priestorov až na povrch vrcholovej plošiny. V r. 2009 bol k overeniu tejto pracovnej hypotézy vykonaný systematický výskum tvrdosti hornín v rôznych polohách Schmidovým kladivom. Z miesta každého merania tvrdosti boli odobraté vzorky hornín, tieto vzorky sú v súčasnosti spracovávané v laboratóriách Katedry inžinierskej geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave. Ďalším pravdepodobne dôležitým procesom je lateritizácia alumosilikátov v arkózových polohách ktorá na rozdiel od rozpúšťania kremeňa má vyššiu intenzitu práve za podmienok nižších hodnôt pH. Produktom tohto procesu nie je len uvoľňovanie kremenných zŕn a vytváranie podzemných priestorov, ale aj často pozorované masy červeného bahna („barro rojo“). Aj keď sme arkózové polohy nikde priamo nepozorovali, na ich možnú prítomnosť poukazujú práve vyššie spomenuté masy „barro rojo“ ktoré najpravdepodobnejšie vznikli práve ich lateritizáciou, čo potvrdzuje aj prítomnosť goethitu a kaolinitu v nich potvrdené analýzou XRD. Štúdium vzoriek scanovacím elektrónovým mikroskopom (SEM) nevykázal prítomnosť prejavov rozpúšťania kremeňa a kremenného tmelu, avšak potvrdil prítomnosť kaolinitu. Podľa našich predbežných záverov horeuvedené dva procesy sú hlavnými procesmi speleogenézy na stolových horách.

Popri horepopísaných procesoch však boli potvrdené aj rozpúšťacie procesy, aj keď tieto preukázateľne nepredstavujú kľúčový mechanizmus speleogenézy. Analýzou vzoriek vôd odobratých v jaskynných priestoroch sme identifikovali korozívne rozpúšťanie kremeňa a/alebo kremenného tmelu vplyvom nenasýtených vôd zrážaných na stene jaskýň zo vzdušnej vlhkosti v Cueva Charles Brewer, ako aj v Cueva de Los Pemonos na hore Roraima. Taktiež sme zistili zvyšujúcu sa koncentráciu rozp. SiO_2 a mernej elektrickej vodivosti vzoriek v smere prúdenia vody v jaskynnom systéme hory Roraima, čo poukazuje na kineticky kontrolované rozpúšťanie materiálu kremencov. Dôsledkom procesov rozpúšťania je aj následný vznik opálových speleotém za spolupôsobenia síníc.

Počas obidvoch expedícií prebehol rozsiahly odber mikrobiologických vzoriek povrchov speleotém. Vzorky odobraté r. 2007 boli kultivované obvyklými biologickými postupmi, avšak bez úspechu. Mikroorganizmy, ktoré sa podieľajú na tvorbe speleotém totiž patria k tzv. extrémofilným mikroorganizmom, ktorých kultivácia si vyžaduje časovo a finančne náročné imitovanie ich prírodných podmienok, v ktorých tieto mikroorganizmy žijú. Nové vzorky boli z tohto dôvodu odoslané na Mníchovskú technickú univerzitu v Nemecku (Dr. Natuschka M. Lee), kde sú ošetrované modernými mikrobiologickými metódami ako sú in-situ hybridizácia, ktorá umožňuje determináciu mikrobiálnych skupín aj z mikrobiálnych zmesí vo vzorkách, čiže ich kultivácia už nie je potrebná.

Pod'akovanie: Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0251-07 a grantom VEGA 1/0246/08.

LITERATÚRA

- BAUTERS, T.W.J., DICARLO, D.A., STEENHUIS, T.S., PARLANGE, J.-Y., 2000: Soil water content dependent wetting front characteristics in sand. *Journal of Hydrology* 231-232(2000), 244-254.
- BRICEÑO, H.O., SCHUBERT, C., PAOLINI, J., 1991: Table-mountain Geology and Surficial Geochemistry: Chimantá massif, Venezuelan Guyana Shield. *Journal of South American Earth Sciences*, 3, 179-194.
- BÜDEL, B., WEBER, B., KÜHL, M., PFANZ, H., SÜLTEMEYER, D., WESSEL, D., 2004: Reshaping of sandstone surfaces by cryptoendolithic cyanobacteria: bioalkalization causes chemical weathering in arid landscapes. *Geobiology* (2004), 2, 261-268
- CHALCRAFT, D. & PYE, K., 1984: Humid and tropical weathering of quartzite in southeastern Venezuela. – *Z. Geomorphol.*, 28, 321-332.
- GORBUSHINA, A., BOETTCHER, M., BRUMSACK, H.J., 2001: Biogenic forsterite and opal as a product of biodeterioration and Lichen Stromatolite Formation in Table Mountain Systems (Tepuis) of Venezuela. *Geomicrobiology Journal*, 18, 117-132.
- LÁNCZOS, T., SCHLÖGL, J., ŠMÍDA, B., BREWER-CARÍAS, CH., 2007: Preliminary results of the Tepuy 2007 expedition to the Venezuelan table mountains – water geochemistry and its relation to genesis of the quartzite karst. In.: Fláková, R. – Ženíšová, Z. (Eds.): *Proceedings of the Hydrogeochémia 2007 conference*, Slovak Association of Hydrogeologists, Bratislava, 136-141.

- LIU, Y, STEENHUIS, T.S., PARLANGE, J-Y, 1994:** Formation and persistence of fingered flow fields in coarse grained soils under different characteristics in sands. *Journal of Hydrology*, 159 (1994), 187-195.
- MARTINI, J.E.J., 1979:** Karst in Black Reef Quartzite near Kaapsehoop, Eastern Transvaal. *Ann. South Afr. Geol. Surv.*, 13, 115-128.
- MARTINI, J.E.J., 2000:** Dissolution of Quartz and Silicate Minerals. In: Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N., Dreybrodt, W. eds.: *Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifer*, January 2000 edition, National Speleological Society, Inc., Huntsville, Alabama, 171 – 174.
- PICCINI, L. & MECCHIA, M., 2009:** Solution weathering rate and origin of karst landforms and caves in the quartzite of Auyan-tepui (Gran Sabana, Venezuela). *Geomorphology* 106 (2009) 15–25.
- REIS, N.J. & YANEZ, G., 2001:** O Supergrupo Roraima ao longo da faixa fronteirica entre Brasil-Venezuela (Santa Elena del Uairen—Roraima Mountain), in Reis, N.J., and Monteiro, M.A.S., eds., *Contribuicao a geologia da Amazonia*, Volume 2: Manaus, Brazil, Sociedade Brasileira de Geologia. 113-145.
- SANTOS, J.O.S., POTTER, P.E., REIS, N.J., HARTMANN, L.A., FLETCHER, I.R., MCNAUGHTON N.J., 2003:** Age, Source, and Regional Stratigraphy of the Roraima Supergroup and Roraima-like Outliers in Northern South America Based on U-Pb geochronology, *GSA Bulletin*; v. 115; no. 3. 331-348.
- SZCZERBAN, E., URBANI, F., COLVÉE, P., 1977:** Cuevas y simas en cuarcitas y metamolitas del Grupo Roraima, meseta de Guaiquinima, estado Bolivar: *Boletín Sociedad Venezolana Espeologica*, v. 8, p 127-154.
- ŠMÍDA, B., AUDY, M., VLČEK, L., 2003:** Expedícia Roraima, Venezuela, január 2003 – Cueva Ojos de Cristal (Kryštálové oči). *Spravodaj SSS*, 34, 2 (special issue, monograph), Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš, 1–192.
- ŠMÍDA, B., AUDY, M., MAYORAL, F., 2005:** Cueva Charles Brewer – la plus importante grotte du monde creusée dans les quartzites (massif du Chimantá, Venezuela). *Spelunca*, 97, Paris, 27–35.
- URBANI, F., 1986:** Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del grupo Roraima, Venezuela, *Interciencia*, Caracas, 11(6). 298-300.
- VLČEK, L. & ŠMÍDA, B., 2007:** Objavy členov slovenskej speleologickej expedície Roraima – Kukenán 2006 na stolovej hore Roraima vGuayanskej vysočine (Venezuela). *Aragonit, Liptovský Mikuláš*, 12, 89–93.
- VOICU, G., BARDOUX, M., STEVENSON, R., 2000:** Litostratigraphy, Geochronology and Gold Metallogeny in the northern Guiana Shield, South America: a Review, *Ore Geology Reviews* 18 (2001). 211-236.
- WHITE, W. B., JEFFERSON, G. L., HAMAN, J. F., 1966:** Quartzite Karst in Southeastern Venezuela. *International Journal of Speleology*, 2, 309–314. Reprinted in *El Guácharo*, Caracas, 6, 35–39, 1973.
- WRAY, R.A.L., 1997:** Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? *Cave and Karst Science* 24 (2), 81-86.