

# PSEUDOKRASOVÉ JAVY V KREMENCÍCH STOLOVÝCH HÔR GUAYANSKEJ VYSOČINY VO SVETLE NOVÝCH POZNATKOV

## 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

## Branislav ŠMÍDA

Slovenská speleologická spoločnosť  
Liptovský Mikuláš

## Lukáš VLČEK

Slovenská správa jaskýň  
Liptovský Mikuláš

## Charles BREWER-CARÍAS

## Federico MAYORAL

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

## ÚVOD

Speleologický výskum pieskovcových jaskýň stolových hôr v juhovýchodnej Venezuele je možné datovať od r. 1971, avšak na intenzite nabral pomerne nedávno, začiatkom 21. storočia. Na týchto aktivitách vrátane viacerých prvenstiev majú významný podiel aj slovenskí speleológovia, ktorí od roku 2002 objavili a preskúmali jaskynné systémy na hore Roraima, a zúčastnili sa prieskumu a spoluobjavovaniu jaskynných systémov masívu Chimantá (Šmída et al., 2003, 2005). Vo februári r. 2007 sa ako ďalšia v poradí uskutočnila medzinárodná expedícia ktorej s účastníkmi zo Slovenska, Venezuely, Chorvátska a Čiech. Expedície sa zúčastnil tiež vedecký tím v zložení pracovníkov Katedri geochemie, geológie a paleontológie 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 krátkych dejinách vedeckého výskumu krasových javov v kremencoch vo svete sa týmto začal najkomplexnejší výskum v tejto oblasti.

## PSEUDOKARSTIC PHENOMENA IN QUARTZITES OF THE GUIANA UPLAND'S TABLE MOUNTAINS - IN THE LIGHT OF NEW FINDINGS

**Abstract:** New hypotheses of quartzite cave and karstic phenomena evolution evolution are presented. The presented hypotheses are based on findings gathered during the Tepuy 2007 international expedition to the quartzite caves of the Macizo del Chimanta and Monte Roraima.

**Key words:** karst, caves, quartzite, table mountains, speleothemes, Venezuela, Guiana Shield, finger flow, Precambrian

## LOKALIZÁCIA

Známe stolové hory sa nachádzajú v severnej časti vo venezuelskej časti Guayanského pohoria (juhovýchodná Venezuela, štát Bolívar), rohu tvorenom z východu štátnou hranicou s Guayanou a z juhu s Brazíliou (Obr. 1). 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.

## GEOLOGICKÉ POMERY

Širšie okolie oblasti Gran Sabana je budované horninami Guianského štítu ktorý predstavuje severný segment Amazónskeho kratónu. Guianský štít sa rozprestiera na ploche tak 900 000 km<sup>2</sup> 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). Guianský štít patrí medzi najmenej preskúmané ale zároveň aj najrozsiahlejšie paleoproterozoické entity. Stolové hory sú tvorené horninami skupiny Roraima pozostávajúcej z pieskovcov so zdrojovou oblasťou v Trans - amazónskom pohorí ktoré boli deponované v predoblúkovej panve v prostredí divočiach riek, delť a plytkého mora, avšak prevažujú piesočnaté kontinentálne depozity (Reis et al. 1990, in Santos 2003).

Obr. 1: Lokalizácia študovaných stolových hôr



V miestach kde je skupina najlepšie popísaná a je kontinuálna pokrýva plochu 73 000 km<sup>2</sup> v náhornej plošine Pacaraima v severozápadnom cípe štátu Roraima v Brazílii, juhovýchodnú časť štátu Bolívar vo Venezuele a severozápadnú časť Guayany. Horniny skupiny Roraima tvoria tabulárne plateau, kvesty a kozie chrbty čnejúce ponad paleoproterozoické podložie. Mocnosť je 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), Uaimapué a Matauí (Reis a Yánez, 2001). Stolové hory sa vytvárali najmä v rámci jednotky Matauí. 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 Uaimapué je 1873  $\pm$  3 Ma (Santos et al., 2003)

## VZNIK A VÝVOJ KRASOVÝCH JAVOV V KREMENCOCH

Vzhľadom na všeobecne známu nízku rozpustnosť rôznych foriem výskytu SiO<sub>2</sub> by sme výskyt karsových javov ako ich poznáme z oblastí budovaných vápencami mohli oprávnenne považovať za veľmi málo pravdepodobné. Napriek tomu boli na rôznych miestach pozorované plne vyvinuté krasové javy v kvarcitoch, okrem Venezuely najmä v Brazílii a J. Afrike (Martini, 2000). Viacerí autori (napr. Urbani, 1986 alebo Wray, 1997) vysvetľujú vznik a vývoj kvarcitého krasu rozpúšťacími procesmi materiálu kvarcítov pod vplyvom vhodných poveternostných podmienok v kombinácii s extrémne dlhým časovým obdobím počas ktorých sú vystavené chemickému zvetrávaniu, t.j. rozpúšťaniu zrážkovými vodami. Podobne vysvetľujú vznik krasových javov na stolovej hore Autana Mecchia a Piccini (1999). Na vysvetlenie samotného mechanizmu rozpúšťania kremeňa vzniklo viacerô hypotéz, napr. zvyšovanie rozpustnosti hydratáciou kremeňa na opál (White et al., 1966), alebo hydrotermálnou alteráciou pozdĺž puklín (Szczurban et al., 1977). Viacerí autori (napr. Briceño a Schubert, 1990) sa prikláňajú skôr k vysvetleniu skrasovatenia prvotným rozpúšťaním cementu medzi zrnami a následným mechanickým uvoľňovaním zrn kremeňa. Podľa pozorovaní je zvetrávanie penetratívne pozdĺž plôch styku medzi jednotlivými zrnami a plôch medzi vrstvami (napr. Wray, 1997). Podľa pozorovaní Gorbushiny et al. (2001) je zvetrávanie kvarcítov na povrchu stolových hôr Venezuely silne ovplyvnené biogénnymi procesmi (vplyv siníc, húb a lišajníkov).

Na základe našich výskumov jaskýň a povrchu stolových hôr sme dospeli k presvedčeniu, že jednou z podmienok vývoja krasu v kremencoch je predispozícia samotných kvarcítov vo forme striedania vrstiev pieskovcov s rôznou zrnitosťou. 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 kvarcítov 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 inicálne jaskynné priestory v podobe nižších chodieb so stropom podporeným 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 abráznych 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. Takýmto spôsobom mohol vzniknúť mohutný megakolaps na Churí Tepui (súčasť Macizó del Chimantá) viditeľný aj na družicových snímkach NASA a fotograficky zdokumentovaný počas našej expedície, ale aj napr. aj známy 314 m hlboký megakolaps Sima Mayor (Brewer-Carías, 1976) na stolovej hore Sarisariñama alebo 383 m hlboká priepasť Sima Aonda (Galán, 1983) na Auyán Tepui. Podobné povrchové útvary menších rozmerov sme zdokumentovali aj stolovej hore Monte Roraima. S takouto genézou je možné pravdepodobne uvažovať aj v prípade známeho jazera Lake Gladys nachádzajúcim sa na guayanskej časti hory Monte Roraima.

Popri horepopísaných procesoch však dochádza aj k rozpúšťacím procesom. Analýzou vzoriek vôd odobratých v jaskynných priestoroch sme identifikovali korozívne rozpúšťanie kremeňa a/alebo kremenného tmelu vplyvom

nenасыtených vôd zrážaných na stene jaskýň zo vzdušnej vlhkosti v Cueva Charles Brewer, ako aj v Cueva de Los Pemones na hore Roraima. Taktiež sme zistili zvyšujúcu sa koncentráciu rozp. SiO<sub>2</sub> 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.

## OPÁLOVÉ SPELEOTÉMY JASKYNNÝCH SYSTÉMOV STOLOVÝCH HÔR

Mnohokrát opisované zvláštne opálové speleotémy, ktoré sa vyskytujú v kvarcitových jaskyniach študovaných masívov sú svojou podstatou mikrobiality. Biogénny a mikrobiálny pôvod speleotém načrtli už Aubrecht, Brewer-Carías a Šmída (2005), Brewer-Carías (2005), no najnovšie, na základe výsledkov nadobudnutých počas tejto expedície sa tejto problematike detailne venujú Aubrecht et al. (2007, 2008). Speleotémy predstavujú rôzne nátekové formy anorganického pôvodu, pomerne častejšie sú vztýčené formy, ktoré vznikli mikrobiálnou akumuláciou. Pri speleologickom prieskume bolo rozlíšených vyše 10 rôznych tvarových foriem (Brewer-Carías, 2005), z ktorých najčastejšie sú „šampiňóny“ (Champignonnes), „panáčky“ (Muñecos), „čierne koraly“ (Corales negros) a zvláštne formy – „pavučinové stalaktity“ (Teleraña), vzniknuté inkrustáciou pavučin visiacich zo stropu. Napriek rôznym tvarom ide všeobecne o mikrobiality, ktoré majú pomerne jednotnú základnú stavbu. Keďže majú laminovanú štruktúru, možno ich nazvať stromatolitmi. Tieto najčastejšie pozostávajú z centrálného tmavého kompaktného stromatolitu a vonkajšej bielej vrstvy pripomínajúcej kriedu. Výskum pomocou optickej a elektrónovej mikroskopie ukázal, že centrálny kompaktný stromatolit je jemne laminovaný a na jeho stavbe sa podieľajú pravdepodobne cyanobaktérie radu *Oscillatoriales*, ktoré pripomínajú rod *Phormidium* a *Cyanostylon* (alebo *Entophysalis*) z radu *Chroococcales*. Vonkajšia kriedovitá vrstva je tvorená bielymi peloidmi, usporiadanými v laminách. Ich mikrobiálne komponenty sú z väčšej časti zotreté; zachované sú len v najvrchnejších, najmenej inkrustovaných vrstvičkách. Výskum ukázal, že ide s najväčšou pravdepodobnosťou o sinice z radu *Nostocales*. Kým sinice formujúce speleotémy vo vstupných častiach jaskýň, opisované napr. z Japonska alebo Oregonu, U.S.A. (Kashima, Teruo a Kinoshita, 1987; Kashima a Takanori, 1995), sa viažu na vstupné časti jaskýň a teda fotickú zónu, sinice v nami opisovaných jaskyniach sa zrejme prispôbili heterotrofnému spôsobu života (nostoky dokonca obvykle žijú heterotrofne aj v iných podmienkach, napr. v lišajníkoch a vyšších rastlinách, a ich hlavným zdrojom výživy je fixácia dusíka). Mikroskopickou analýzou sa zistilo, že aj tmavočervené lepkavé bahno – tzv. barro rojo, má štruktúru tvorenú zatiaľ neurčenými špirálovitými mikroorganizmami. Na druhovú determináciu týchto extrémofilných organizmov je potrebná DNA analýza živého materiálu z odobraných vzoriek. Vybrané vzorky speleotém boli podrobené rtg. difrakčnej práškovej analýze a identifikoval sa v nich opál-A. Podrobnejšej mineralogickej identifikácii boli doposiaľ podrobené šampiňonité krasovité útvary s výrazne kolomorfnou a vrstevnatou textúrou, dobre pozorovateľnou na ich prierezoch. Pomocou ramanovej spektroskopie sa v opálovej hmote identifikovali dobre zaoblené zrná kremeňa, okolo ktorých boli dobre pozorovateľné kolomorfné textúry, charakteristické pre vznik opálu-A polymerizáciou kyseliny kremičitej (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>).

**Pod'akovanie:** Ďakujeme agentúre APVV za poskytnutie grantu č. 0251-07 a agentúre VEGA za grant č. 1/0246/08 a Ministerstvu školstva SR za finančnú podporu. Naša vďaka patrí aj firme Merck spol.s.r.o., pracovníkom SHMÚ (menovite Ing. Eugenovi Kullmanovi) a ŠGÚDŠ (menovite Doc. RNDr. Stanislavovi Rapantovi, DrSc., RNDr. Jurajovi Michalkovi, CSc. a RNDr. Petrovi Malíkovi, CSc.) za poskytnutie prístrojov, materiálu a odborných konzultácií.

## LITERATÚRA

- AUBRECHT, R., BREWER-CARIÁS, CH., ŠMÍDA, B., 2005: Opálové biospeleotémy jaskyne – petrografická analýza. In: Šmída, B. – Brewer-Carías, Ch. – Audy, M. (eds.): Cueva Charles Brewer – najväčšia kvarcitová jaskyňa sveta. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti (mimoriadne číslo), Liptovský Mikuláš, 36, 3, 84–96.
- 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.
- BREWER-CARIÁS, CH., 1976: Las Simas de Sarisariñama. *Boletín Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales La Salle*, 132–133 (Caracas), pp. 549–623.
- BREWER-CARIÁS, CH., 2005: Las Espeleotemas de la Cueva Charles Brewer. (Speleotémy). In Šmída, B. – Brewer-Carías, Ch. – Audy, M. (eds.): Cueva Charles Brewer – najväčšia kvarcitová jaskyňa sveta. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti (mimoriadne číslo), 36, 3, 65–83.
- BRICEÑO, H. & SCHUBERT, C., 1992: Geomorfología. In Huber, O. (ed.): El Macizo de Chimantá. Escudo de Guayana, Venezuela. Un Ensayo Ecológico Tepuyano, Caracas, 61–74.
- GALÁN, C., 1983: Expedición a la Sima Aonda. *Boletín SVE*, 20, Sociedad Venezolana de Espeleología (Caracas), pp. 99–103.

- 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.
- JONES, J.B. & SEGNI, E.R., 1971:** The nature of opal. I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of Geological Society of Australia*, 18, 57 – 68.
- KASHIMA, N. & TAKANORI, O., 1995:** A note on Biogenic Effect of Coralloid Speleothems in Round Mountain Lava Cave, Oregon, U.S.A. *Journal of Speleological Society of Japan*, 19, 8–12.
- KASHIMA, N., TERUO, I., KINOSHITA, H., 1987:** Diatom, Contributors of Coralloid speleothems, From Togawa-Sakaidani-do Cave in Miyasaaki Prefecture, Central Kyushu, Japan. *International Journal of Speleology*, 16, 95–100.
- 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., 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.
- MECCHIA, M. & PICCINI, L., 1999:** Hydrogeology and SiO<sub>2</sub> Geochemistry of the Aonda Cave System (Auyán-Tepui, Bolívar, Venezuela), *Boll. Soc. Venezolana Espel.*, 33. 1-18.
- 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.
- ŠMIDA, 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.
- ŠMIDA, 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.
- SZCZERBAN, E., URBANI, F., COLVÉE, P., 1977:** Cuevas y simas en cuarcitas y metamolitas del Grupo Roraima, meseta de Guaiquinima, estado Bolívar: *Boletín Sociedad Venezolana Espeologica*, v. 8, p 127-154.
- URBANI, F., 1986:** Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del grupo Roraima, Venezuela, *Interciencia*, Caracas, 11(6). 298-300.
- 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.