

## *Geochemické, geologické, mineralogické a mikrobiologické aspekty genézy a vývoja krasových javov v kremencoch jednotky Matauí, JV Venezuela*

<sup>1</sup>T. LÁNCZOS, <sup>2</sup>R. AUBRECHT, <sup>3</sup>M. GREGOR, <sup>2</sup>J. SCHLÖGL, <sup>4</sup>B. ŠMÍDA, <sup>5</sup>L. VLČEK,  
<sup>6</sup>CH. BREWER-CARIÁS & <sup>6</sup>F. MAYORAL

<sup>1</sup>Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra geochémie Bratislava

<sup>2</sup>Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra geológie a paleontológie, Bratislava

<sup>3</sup>Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Geologický ústav, Bratislava

<sup>4</sup>Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš

<sup>5</sup>Slovenská správa jaskýň, Liptovský Mikuláš

<sup>6</sup>Grupo Espeleológico de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, Caracas, Venezuela

Speleologický výskum pieskovcových jaskýň stolových hôr v juhovýchodnej Venezuele sa datuje 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 účastníci boli zo Slovenska, Venezuely, Chorvátska a Čiech. Expedície sa zúčastnil tiež vedecký team zložený z pracovníkov Katedier geochémie, 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 započal najkomplexnejší výskum v tejto oblasti.

### 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 približne 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, delt a plytkého mora, avšak prevažujú piesočnaté kontinentálne depozity (Reis et al., 1990 in Santos, 2003).

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, Quindô), 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 je stanovený, na základe U-Pb metódy v zirkónoch, v zelených tufoch formácie Uaimapué je 1873 ±3 Ma (Santos et al., 2003).



Obr. 1: Lokalizácia študovaných stolových hôr

### Vznik a vývoj krasových javov v kremencoch

Vzhľadom na všeobecne známu nízku rozpustnosť rôznych foriem výskytu  $\text{SiO}_2$  by sme výskyt krasových 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 kvarcitového krasu rozpúšťacími procesmi materiálu kvarcitol 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 viacero hypotéz, napr. zvyšovanie rozpustnosti hydratáciou kremeňa na opál (White et al., 1966), alebo hydrotermálnou alteráciou pozdĺž puklín (Szczerban et al., 1977). Viacerí autori (napr. Briceño a Schubert, 1990) sa prikláňajú skôr k vysvetleniu skrasovania 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 (Chalcraft a Pye, 1984; Wray, 1997). Podľa pozorovaní Gorbushiny et al. (2001) je zvetrávanie kvarcitol 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 kvarcitol vo forme striedania vrstiev pieskovecov 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 rôznych 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 kvarcitol masívu Chimantá, ako aj hory Roraima sú tieto prstové prúdy veľmi dobre zachované v podobe stĺpov spevnených kremenným tmelom, okolo ktorých je menej prekremený 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 abráznych procesov, ktorý vedie k zrúteniu stropov a tým k zväčšeniu jaskynných priestorov. Taktisto vznikli aj gigantické podzemné priestory Cueva Charles Brewer na masíve Chimantá. Vo finálnej fáze dochádza ku kolapsu jaskynných priestorov až na povrch vrcholovej plošiny.

Popri horepopísaných procesoch však dochádza aj k rozpúšťacím procesom. Analýzou vzoriek vôd odoberaných 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 Pemones na hore Roraima. Taktiež sme zistili zvyšujúcu sa koncentráciu rozpustného  $\text{SiO}_2$  a hodnôt 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

Výzdobu jaskýň stolových hôr tvoria zvláštne opálové speleotémy, ktoré sú najmä v jaskyni Cueva Charles Brewer unikátne svojimi veľkými rozmermi.

Speleotémy predstavujú rôzne nátekové formy anorganického pôvodu, avšak častejšie sú vztyčené formy, ktoré vznikli mikrobiálnou akumuláciou. Pri speleologickom prieskume bolo rozlíšených vyše 10 rôznych tvarových foriem, z ktorých najčastejšie sú „šampiňóny“, „panáčiky“, „čierne koraly“ a zvláštne formy – „pavučinové stalaktity“, vzniknuté inkrustáciou pavučín visiacych zo stropu. Napriek rôznym tvarom ide všeobecne o mikrobiality, ktoré majú pomerne jednoduchú základnú stavbu. Nakoľko majú laminovanú štruktúru, možno ich nazvať stromatolitmi. Tieto najčastejšie pozostávajú z centrálného tmavého kompaktného stromatolitu a vonkajšej bielej vrstvy pripomínajúcej kriedu. U niektorých speleotém vidno aj striedanie sa týchto dvoch litologických typov. 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 zväčša zotreté; zachované sú len v najvrchnejších, najmenej inkrustovaných vrstvičkách. Výskum ukázal, že ide s najväčšou pravdepodobnosťou o cyanobaktérie z radu *Nostocales*. Cyanobaktérie v jaskyni 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.

Vybrané vzorky speleotém boli podrobené rtg. difrakčnej práškovej analýze a v zmysle platnej klasifikácie podľa Segnit a Jones (1971) bol v nich opál-A. Podrobnejšej mineralogickej identifikácii boli doposiaľ podrobené šampiňovité krasovité útvary s výrazne kolomorfnou a vrstevnatou textúrou, dobre pozorovateľnou na ich prierezoch. Jednotlivé vrstvy šampiňovitých útvarov s výrazne kolomorfnou a vrstevnatou textúrou, dobre pozorovateľnou na ich prierezoch sú bez rozdielu tvorené opálom-A, avšak od stredy smerom k okrajom vzorky klesá kompaktnosť vrstiev. Rovnako boli pozorované aj zmeny v FWHM faktore (Full Wight at Half Maximum) vypočítaného z difúzneho difrakčného maxima pri 0,4 nm (Herdianita et al., 2000). Od stredy smerom k okrajom klesajú hodnoty FWHM faktora, čo môže odrážať mieru vnútorného usporiadania stavebných jednotiek v opále.

Pomocou ramanovej spektroskopie boli v opálovej hmote identifikované dobre zaoblené zrná kremeňa, okolo ktorých boli dobre pozorovateľné kolomorfné textúry. Takéto textúry sú charakteristické pre vznik opálu-A polymerizáciou kyseliny kremičitej ( $H_4SiO_4$ ).

## Použitá literatúra

- 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). *Speleunca*, 97, Paris, 27–35.
- Mecchia, M. & Piccini, L., 1999: Hydrogeology and  $SiO_2$  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
- 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
- Urbani, F. 1986: Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del grupo Roraima, Venezuela, *Interciencia*, Caracas, 11(6), 298–300
- Herdianita, R.N., Rodgers, K.A. & Browne, R.L., 2000: Routine instrumental procedures to characterise the mineralogy of modern and ancient silica sinters. *Geothermics*, 29, 65 – 81
- Jones, J.B. & Segnit, E.R., 1971: The nature of opal. I. Nomenclature and constituent phases. *Journal of Geological Society of Australia*, 18, 57 – 68
- Wray, R.A.L., 1997: Quartzite dissolution: karst or pseudokarst? *Cave and Karst Science* 24 (2), 81–86
- 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
- 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
- Bauters, J., 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, 244–254
- 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, 187–195

