

Záhadné pieskovcové jaskyne na stolových horách vo Venezuele

Roman Aubrecht
a Ján Schlägl

Napriek ohováraniu rôznych „záhadológov“, na svete sa azda ne-nájde vedec, ktorého by nelákal riešenie rôznych záhad. Ved mnohí sa práve preto dali na vedeckú dráhu.

Jednu z nehnúcich záhad uviedol „na trh“ slávny spisovateľ Arthur Conan Doyle v roku 1912. Išlo o jeho román *Stratený svet (The Lost World)*, v ktorom opisuje dobrodružnú výpravu do Amazonie, kde na záhadnej stolovej hore izolovanej od sveta prežili rôzne praveké tvory. Už čoskoro sa ukázalo, že takéto stolové hory v Južnej Amerike skutočne jestvujú a nielen jedna.

Nazývajú sa tepuis

Záujem „záhadológov“ vzrástol potom, ako sa ukázalo, že mapka, ktorú Arthur Conan Doyle v knihe zverejnil, je falosná. Išlo o zrkadlový obraz skutočnej mapy a spomínaná stolová hora v skutočnosti neleží na hraniciach Bolívie a Brazílie, ako tvrdil autor, ale severnejšie, na opačnom konci – na hranici s Venezuela. Dnes je jasné, že spomínanou horou je Roraima, najvyššia zo skupiny vyše 100 tepuis roztrúsených na juhu Venezuely, severe Brazílie a západe Guayan (obr. 1). Jej dlhé platô čnejúce vo výške okolo 2 700 - 2 800 m bolo dlhý čas nedostupné. Až v roku 1884 ho zdolaťa výprava, ktorú viedol britský koloniálny úradník sir Everard im Thurn. Dnes je Roraima paradoxne najnavštievanejšou stolovou horou v tejto oblasti. Ročne ju navštívia stovky až tisíce turistov. Všetko pod dohľadom miestnych Indiánov – strážcov národného parku. Na hore vládne prísny ekologický režim. Návštěvníci nesmú nijako narušiť tamojší ekosystém a musia si dolu



OBR. 1: LETECKÝ POHĽAD NA STOLOVÚ HORU RORAIMA.

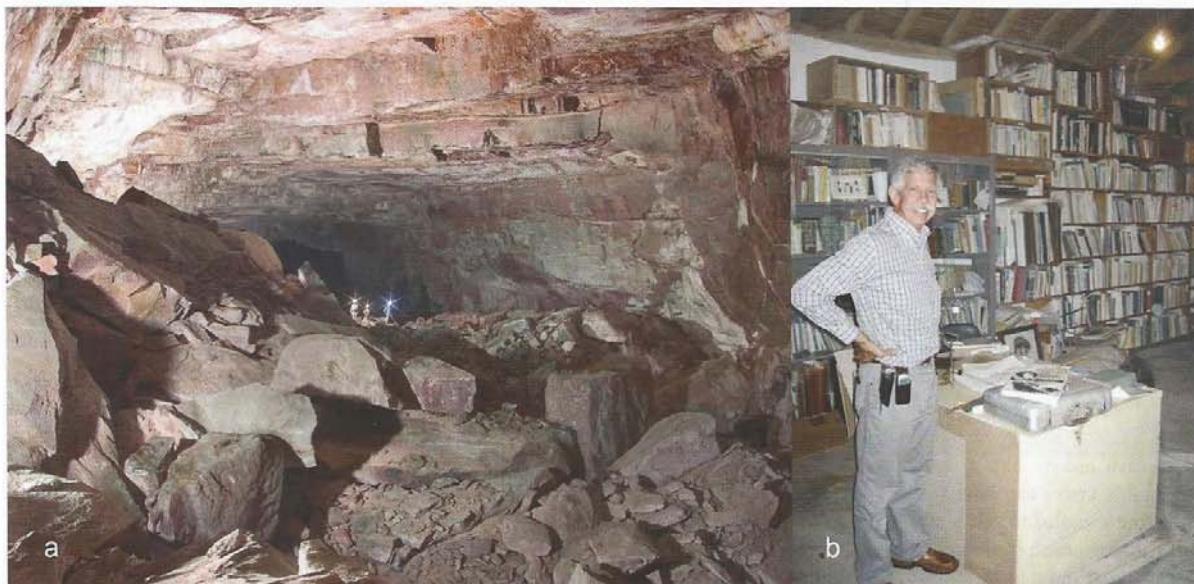
zniesť všetko, dokonca aj vlastné exkrementy. Prečo? Lebo sa potvrdilo, že Arthur Conan Doyle mal pravdu. Tepuis skutočne obývajú tvory, ktoré sa inde v okolitých nížinách nevyskytujú. Nejde súčasne o praveké jaštery a iné potvory opísané v knihe *Stratený svet*, ale živočíchy a rastliny, ktoré tam žijú, sú skutočne jedinečné. Veľmi často ide o endemity, ktoré sa nielenže nevyskytujú v okolitej nízinnej savane, ale dokonca každá zo stolových hôr má svoju vlastnú neopakovateľnú faunu a flóru (obr. 2). Zistilo sa, že živočíchy a rastliny obývajúce tepuis nie sú prastaré, ale ide o vývojovo pomerne mladé spoločenstvá, ktoré sa vyuvinuli pomerne nedávno a ich evolúcia prebieha priamo pred očami. Záujem „záhadológov“ preto postupne opadol, avšak tepuis sa stali rajom pre biológov. Sú to najlepšie laboratória na výskum evolučných procesov. Zdola sú dostupné len niektoré z nich a to práve Roraima a ešte rozsiahle Auyán Tepui nachádzajúce sa stovky kilometrov severozápadne. Ostatné sú dostupné len pomocou vrtuľníkov.

Nečakané objavy záhadných jaskýň

V roku 2002, keď sa začína nás príbeh, bol ešte turizmus na Roraimu len v za-



OBR. 2: ENDEMITY VRCHOLOVÉHO PLATA, CHURI TEPUÍ, BROMÉLIE (BROCHINIA), BUBLINÁTKY (UTRICULARIA) A MĀSOŽRAVKY (DROSERA).



OBR. 3: a: OBROVSKÉ PRÁZDNE PRIESTORY V JASKYNI CHARLESA BREWERA (FOTOGRAFIA: M. AUDY), b: CHARLES BREWER-CARIAS, PRIEKOPNÍK VÝSKUMU STOLOVÝCH HÔR A OBJAVITEĽ JEDNEJ Z NAJVÄČŠÍCH JASKÝN V PIESKOVCOCH NA SVETE.

čiatkoch a jej povrch bol zväčša neprebádaný. Na začiatku všetkého boli dvaja jaskyniari: Marek Audy z Moravy a Zolo Ágh zo Slovenska, ktorí sa na výlete po Južnej Amerike vybrali aj na trek po slávnej stolovej hore. Hore sa vybrali podobne ako sú Everard im Thurn po úzkej cestičke vyšliapanej v osypoch a sutí, ktorá vedie až na južný okraj vrcholového platô. Táto cesta, po ktorej sa dnes presúvajú stovky turistov, dostala názov Rampa. Motali sa v okolí najvyššieho bodu hory, ktorý má názov Maverick, keď načabilo na depresiu obkolesenú amfiteárom skál a na ich úpatí zbadali niečo, čo by mohla byť jaskyňa. Ako skúseným jaskyniarom im to nedalo a s jednoduchými čelovkami začali skúmať jej začiatok. Boli udivení, že jaskyňa sa tiahne do diaľky skoro v horizontálnom smere a tvorí úplný labyrint chodieb. Na podlahe jednej z chodieb našli dve erózne priehlbiny vedľa seba, vyplnené opracovanými kremennými kryštálmami. Podľa nich dostala jaskyňa názov Kryštálové oči (španielsky Ojos de Cristal). Obaja jaskyniari nevedeli, aký významný objav majú na svedomí a že objavili jednu z najdlhších jaskýň v pieskovcovo-kremencových horninách na svete. Tepuis sú totiž tvorené sedimentmi stredného proterozoika (1,8 - 1,4 mld. r.), ktoré geológovia dali názov skupina Roraima. Celá skupina je tvorená rôznymi piesčitými a flobitími sedimentmi, pričom jej najvyššia časť, nazvaná formácia Matauí, je

z tvrdých kremencov. A práve v tom spočíva najväčšia záhadá. Kremence sú takmer nerozpustné. Ako sa v takých horninách vôbec vytvorí jaskyne? Až do výskumu slovenských geológov panovala o ich vzniku len jediná teória – tzv. teória arenizácie (prevorenia kremencov a pieskovcov späť na piesok). Predpokladalo sa, že horniny boli vystavené rozpušťaniu veľmi dlhý čas; ovela dlhší než je potrebný na vytvorenie vápencových jaskýň a to v rádoch až desiatok miliónov rokov. Najprv sa mal rozpúštať kremity tmel okolo pieskových zrín, ktoré sa tým uvoľňovali a vypadávali. Táto teória ešte vyhovovala v časoch, keď boli známe jaskyne len zo stolovej hory Auyán Tepui, ktoré boli zväčša vertikálnymi trhlinami rozšírenými eróziou, ale s rozsiahlymi horizontálnymi jaskynnými chodbami sa speleológovia stretli v tomto prostredí prvý raz. Dopolnil zmapované priestory jaskyne Kryštálové oči dosahujú dĺžku takmer 17 km. A to nie je všetko. Na stolovej hore Chimantá objavil venezuelský bádateľ Charles Brewer-Cariás mohutnú horizontálnu jaskyňu, ktorá dnes nesie jeho meno – Cueva Charles Brewer (obr. 3). Po niekoľkoročnom mapovaní sa zistilo, že táto jaskyňa je súčasťou veľkého systému, ktorý dosahuje dĺžku skoro 18 km. Ide o najväčší jaskynný systém v kremencoch. Na chrbát mu však „dýcha“ najnovší objav talianskych speleológov – systém Imaوارí Yeuta zo stolovej hory Auyán, ktorého odhadovaná dĺžka je

okolo 16 km. Tieto jaskynné systémy nie sú pozoruhodné len svojou dĺžkou, ale aj svojou mohutnosťou. Chodby v Cueva Charles Brewer sú často až 40 m široké. Najväčší zaznamenaný jaskynný priestor v jaskyni je Gran Galeria Karen y Fanny, ktorá je 40 m vysoká, 355 m dlhá a 70 m široká. Jej objem bol odhadnutý na 400 000 m³ a patrí medzi 10 najväčších podzemných prírodných priestorov na svete. V novoobjavenom systéme Imaوارí Yeuta sú podľa prvých správ talianskych jaskyniarov ešte väčšie priestory. Jaskyne na tepuis navyše skrývajú úžasné jedinečné speleotémy, aké sa nedajú nájsť inde vo svete. Sú totiž z opálu (obr. 4). Bežné kvaple, ktoré poznáme z vápencových jaskýň, sú z kalcitu, prípadne aragonitu, ktoré sú ovela lepšie rozpustné a ich tvorba je dokonale preštudovaná. Spôsob tvorby opálových kvapľov bol doposiaľ viac-menej neznámy.

Jaskyne očami geológov

Tieto faktky odporújúce všetkým učebnicovým pravidlám pritiahlí pozornosť geológov. Tí dlhý čas považovali tepuis za geomorfologickú zaujímavosť, avšak z vedeckého hľadiska považovali všetko za známe a vyriešené.

Výskumný tím geológov z Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského sa na dvoch expediciách pripojil k vynikajúcim slovenským a českým jaskyniarom, ktorí viedli prieskum v systémoch Ojos de Cristal a systému Charles Brewer. Ex-

pedicie dopĺňali aj jaskyniari z Venezuely a Chorvátska. Zatiaľ čo jaskyniari objavovali nové a nové kilometre chodieb, geológovia sa s úžasom prechádzali už po objavených priestoroch, fotografovali, merali a odoberali vzorky. Nevynechali ani geomorfologický prieskum povrchových útvarov na tepuis, kde našli hlavný klúč k riešeniu záhady.

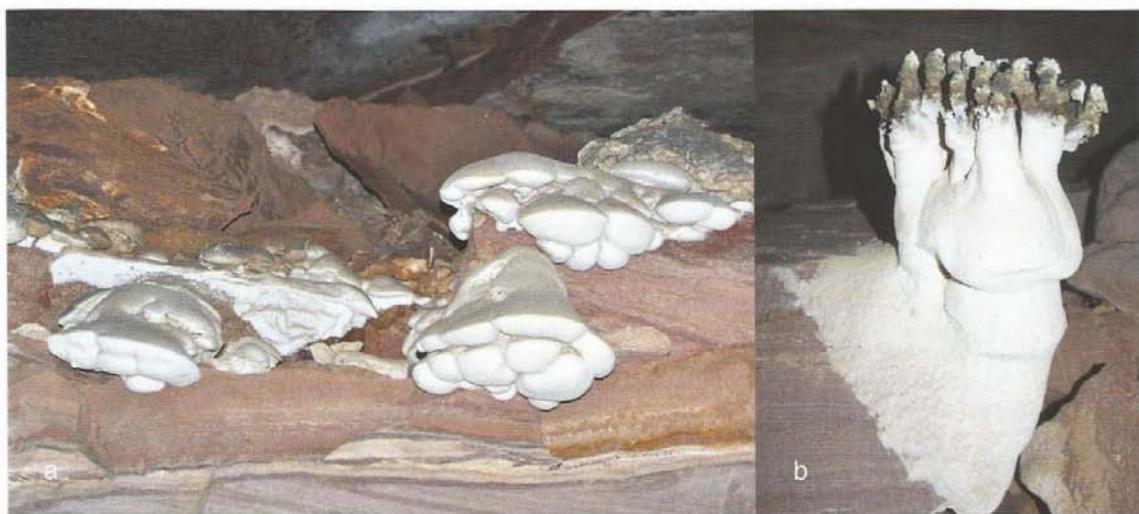
Zistili, že v skúmaných jaskynných systémoch v súčasnosti prevláda formovanie podzemných priestorov najmä eróziou a rútením stropov. Tieto procesy zastierajú však skutočné procesy, ktoré viedli k vzniku samotných jaskýň. Klúčom k riešeniu vzniku jaskýň boli mladé, juvenilné časti jaskýň, ako aj časti povrchu tepuis, kde vrstvy arenitov tvoria previsy. Podložné a nadložné vrstvy sú z tvrdých silno litifikovaných (spevnených) hornín, zastúpených najmä pieskovcami a kremencami. Odber vzorky z nich bol možný len s použitím kladiva. Avšak vrstvy medzi nimi tvorili nezriedka len slabo litifikované pieskovce, ba až nelitifikované piesky. Z týchto sa naopak často ani nedala odobrať pevná vzorka na petrografické štúdium. Bolo v nich možné holými rukami vyhľadať dieru hlbokú až 30 cm bez toho, aby narazili na pevnú skalu. Cez tieto slabo litifikované vrstvy prenikajú kolmé stĺpovité útvary. V strede sú užšie, ale na hornej a spodnej časti sa lievikovite rozsirujú. Tieto stĺpy sú opäť z pevne litifikovaných pieskovcov až kremencov. Kombináciou previsov a spominaných stĺpov vznikajú najkrajšie

morfologické útvary na povrchu tepuis (obr. 5). Pôvod týchto stĺpov je čisto dia-genetický a ich prítomnosť dokazuje, že nespevnenosť okolitých sypkých vrstiev je skôr primárna než sekundárna. Stĺpy pravdepodobne vznikli mechanizmom prstovitého vertikálneho prúdenia diagenetických roztokov. Najdôležitejším faktorom tohto procesu, ktorý spôsoboval aj variabilitu v litifikácii jednotlivých vrstiev, boli rôzne hydraulické vlastnosti usadenín v rôznych vrstvách. Diagenetické fluidá (voda nasýtená SiO_2) pravdepodobne prenikali vertikálne nadložia v podobe zostupného prúdu. V jemnozrnných sedimentoch fluidá vyplnila vrstvu rovnomerne pozdĺž medzizrnných priestorov a spôsobili dokonale spevnenie horniny a jej odolnosť proti zvetrávaniu a erózii. V hrubozrnnnejších vrstvách arenitov s vyššou hydraulickou vodivosťou sa jednotný front fluid rozdelil do izolovaných prúdov, tzv. prstov, ktoré sediment spevnili len v mieste toku a vytvorili spomínané stĺpy. Podobný proces bol rôznymi autormi opísaný z pôdnich profilov a piesčitých podzemných vodných rezervoárov, ba dokonca ho možno pozorovať pri topení snehu, keď voda z vyšších vrstiev preniká nadol a opäť zamfza. Taktôž v nespevnených horninách vznikajú litifikované stĺpy. Vrchný lievikovitý tvar stĺpov vznikol vplyvom zrychlenia prúdu smerom nadol, zatiaľ čo spodný lievik vznikol spomalením toku pri styku s podložnou, menej prieplustou jemnozrnnnejšou vrstvou. Slabo spev-

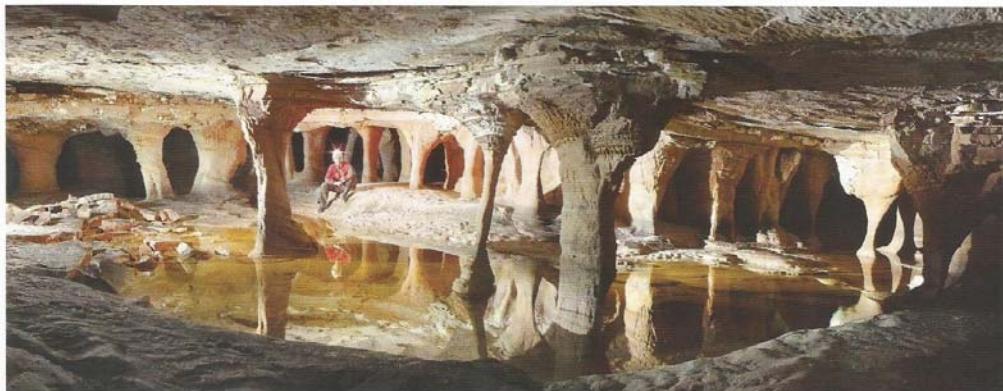
nené vrstvy tvoria výrazné horizonty v morfológii tepuis a sú viditeľné na dlhe vzdialenosť. Nadložné, dobre spevnené vrstvy chránia nelitifikovaný piesok pred daždom, ale v prípade narušenia nadložia sú ľahko erodované, keď sa k nim dostane tečúca voda. V tomto prípade môžu vzniknúť horizontálne jaskynné priestory. V prípade niekoľkých nespevnených horizontov nad sebou po vymytí sedimentu nastáva kolaps jednotlivých poschodí a vznik gigantických jaskynných priestorov. Neskoré stádia tvorby jaskýň nezriedka vedú k pokračujúcim kolapsom, ktoré sa prepracujú až k povrchu, ako to je vidno v prípade obrovských kruhových prieplastí Sima Mayor a Sima Menor na stolovej hore Sarisariñama, ale taktiež na známej a turistami hojne navštievovanej depresii El Foso na Roraime.

Cervené bahno

Okrem slabého spevnenia hrá pri vzniku jaskýň na tepuis významnú úlohu lateritizácia. Jaskyniari si už dávno všimli prítomnosť značného množstva červeného bahna v jaskynných priestoroch. Bahno zvyčajne vytieká z puklin a spomedzi plôch vrstevnatosti. Po vyschnutí tvorí kopy, ba až dokonca speleotémy v podobe nátekových útvarov, globul a malých stalaktítov. Niekoľko farba týchto speleotém mení na čiernu. Mineralogickou analýzou sa ukázalo, že bahno je tvorené hlavne oxidmi a hydroxidmi železa, s malou prímesou ešte nerozložených ilovitých minerálov, napríklad kaolinitu.



OBR. 4: a: OPÁLOVÉ SPELEOTÉMY, TZV. ŠAMPIŇÓNY, JASKÝŇA CHARLESA BREWERA, CHURÍ TEPUÍ, b: OPÁLOVÁ SPELEOTÉMA, JASKÝŇA CHARLESA BREWERA, CHURÍ TEPUÍ, VÝŠKA CCA 40 CM.



OBR. 5: VZNIK TUNAJŠÍCH JASKÝŇ SA VYSVETLÚJE ERÓZIOU TAKMER NELITIFIKOVANÝCH VRSTIEV.

Toto zloženie jednoznačne zodpovedá lateritom. Lateritové pôdy sú v tropickej zóne všadeprítomné. Ako vznikajú? Rozpúšťaním. Avšak nie rozpúšťaním kremeneňa, ale tzv. aluminosilikátov, čiže živcov, sľud a ilových minerálov. V našich zemepisných šírkach sa rozpad týchto minerálov zastaví niekde na úrovni ilových minerálov a ďalej už nepokračuje. Agresívne kyslé vody v tropickom pásme v kombinácii s vysokými teplotami spôsobia rozpustenie aj ilových minerálov a ako zvyšok ostávajú len oxidy a hydroxidy železa, prípadne hliníka (známe bauxity). Preto je v trópoch všade pôda výrazne červená. Ako sa však dostali laterity do jaskyň? Vznikli rozpúšťaním piesčitých hornín, avšak nie čisto kremenných, ale tých, ktoré obsahovali hojné aluminosilikáty. Takého piesčitého horniny nazývame droby a arkózy. Paradoxne, čistý kremén sa v agresívnych kyslých vodách na tepuis rozpúšťa najmenej. Pre svoje rozpúšťanie potrebujie vody s ovela vyššou zásaditosťou. Preto možno povedať, že pri vzniku jaskyň na tepuis sa predsa len uplatňuje rozpúšťanie. Avšak nie také, aké predpokladali zástancovia arenizačnej teórie.

Kvaple a mikroorganizmy

Po vyriešení záhady samotných jaskyň sa geológovia ešte museli popasovať so záhadou vzniku opálových kvaplov. Drobne opálové kvaple sú známe aj z iných silikátových jaskyň na svete, avšak tie z tepuis sú unikátné svojimi veľkými rozmermi. Skúmané speleotémky predstavujú rôzne nátekové formy anorganického pôvodu, podobne ako vo vápencoch. Avšak ovela častejšie sú formy, ktoré vznikli mikrobiálou akumuláciou.

Pri speleologickom prieskume bolo rozlíšených vyššie 10 rôznych tvarových foriem, z ktorých najčastejšie sú „šampiňóny“, „panáčiky“, „čierne koraly“ a zvláštne formy – „pavučinové stalaktity“, vzniknuté inkrustáciou pavučín visiacich zo stropu. Napriek rôznym tvarom ide všeobecne o mikrobiality, ktoré majú pomerejne jednotnú základnú stavbu. Pretože sú laminované, možno ich nazvať odborným názvom - stromatolity. Tieto najčastejšie pozostávajú z centrálnego tmavejšieho kompaktného stromatolitu a vonkajšej bielej vrstvy pripomínajúcej kriedu. Pri niektorých speleotémkach vidno aj striedanie sa týchto dvoch typov. Výskum pomocou optickej a elektrónovej mikroskopie ukázal, že centrálny kompaktný stromatolit je jemne laminovaný a na jeho stavbe sa podielajú mikróby, ktoré najbližšie pripomínajú cyanobaktérie (sinice) radu Oscillatoriace, ako napr. rod *Phormidium*. Vonkajšia kriedovitá vrstva je tvorená bielymi peloidmi, usporiadanimi 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* (známy je napr. rod *Nostoc*). Bližšie určenie v jednotlivých prípadoch však nie je možné a je potrebné počkať na výsledky analýzy DNA.

Prečo by však jaskyne obývali organizmy, ktoré poznáme z povrchu a ktoré využívajú na svoju obživu fotosyntézu? Prítomnosť fotofotoných organizmov, ako sú sinice, v jaskynnom prostredí nie je až taká prekvapujúca, ako by sa mohlo zdaf. Niektoré cyanobaktérie neznášajú nad-

merné slnečné svetlo, ktoré môže poškodiť ich bunky. Niektoré sa chránia zvýšenou produkciou pigmentov v extracelulárnom povlaku (napr. *Lyngbya estuarri* tvorí pigment „scytonemin“), iné sa dokonca pred priamym svetlom chránia zavŕtaním sa do podkladu až do hlbok so zniženým osvetlením, ako napr. endolické vŕtavé rody *Hormathionema* a *Hyella*. Pri rodoch *Fisherella* a *Calothrix* bolo zistené, že sú schopné pomalého chemolito-autotrofného rastu aj v úplnej tme. A nakoniec je potrebné sa zmieniť o tom, že niektoré druhy siníc boli nájdené aj v jaskyniach, napr. druhy *Geitleria calcarea* a *Scytonema julianum*. Izraelski vedci opisujú výskyt cyanobaktérií rodu *Nostoc* v jednej z jaskyň v Negevskej púšti a to od oblasti vchodu až po oblasť v úplnej tme. Je zrejmé, že aj v skúmaných jaskyniach na tepuis došlo tiež k adaptácii siníc na spôsob života, ktorý nevyužíva fotosyntézu.

Autori fotografii: Charles Brewer-Carías, Branislav Šmíd, Ján Schlögl

Doc. RNDr. ROMAN AUBRECHT, Dr.

(Katedra geológie a paleontológie, Prírodo-vedecká fakulta UK a Geofyzikálny ústav SAV) sa zaobráva širokým spektrom geologickej problematiky, najmä z oblasti sedimentológie a historickej geológie.

Mgr. JÁN SCHLÖGL, Ph.D.

(Katedra geológie a paleontológie, Prírodo-vedecká fakulta UK) zaobráva sa paleontológiou, predovšetkým výskumom hlavonožcov.