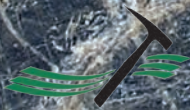


Stromatolity



Akademie věd
České republiky

věda 35

kolem
nás
co to je...

Geologický ústav AV ČR, v. v. i., je výzkumnou institucí, jejímž hlavním cílem je získávat, interpretovat a integrovat znalost zemského systému a jeho geologické i biologické minulosti. Bez znalosti historie Země není možné porozumět současnému životnímu prostředí. Zemský systém je chápán jako výsledek vzájemného působení vnitřních sil Země, vnějších (například kosmických) vlivů, vývoje živých organismů a vlivů člověka. Koevoluce zemského systému znamená úzké propojení a nepřetržité vzájemné ovlivňování biotických a abiotických procesů vedoucích například ke změnám složení atmosféry, klimatickým změnám a tím rychlosti zvětrávání, tvorby reliéfu, vývoje sedimentárních pánví i některých typů ložisek nerostných surovin.

Ústav se dělí na čtyři vědecká oddělení a jednu servisní laboratoř, jejíž metodika je k dispozici pro potřeby vědeckých laboratoří ústavu a pro všechny domácí i zahraniční instituce.

Oddělení geologických procesů se zabývá fyzikálními a chemickými pochody, které v minulosti působily a dosud působí v zemské kůře a svrchní části zemského pláště.

Oddělení environmentální geochemie a geologie je zaměřeno na studium dynamiky chemických prvků v životním prostředí, hornin a procesů probíhajících zejména v nejmladší geologické minulosti. Základní pozornost je věnována studiu klimatických oscilací, změn prostředí a ochraně krajiny.

Oddělení paleobiologie a paleoekologie je zaměřeno na studium prostředí života organismů v geologické minulosti Země, společenstev organismů a zkamenělin obsažených v horninovém záznamu.

Oddělení paleomagnetismu zkoumá záznam někdejšího magnetického pole Země v různých horninách. Na tomto základě lze porozumět například místu a způsobu vzniku starých horninových formací nebo rozlišit relativní stáří jednotlivých vrstevních sledů (tzv. magnetostratigrafie).

Oddělení analytických metod je přístrojově kvalitně vybavenou servisní laboratoř, která umožňuje mj. stopovou analýzu pomocí hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, zejména analýzy spojené s izotopovou geochemií prvků řad Re–Os a Lu–Hf.

Foto na obálce:

Nejtypičtější stromatolity z proterozoika Brd mají podobu na sebe narůstajících „polokoulí“ a „bochníků“, které se střídají s místy, kde hornina přirůstala ve tvarech blízkých plátům či deskám; velikost vzorku 30 cm

(foto R. Mikuláš)

Stromatolity - nejstarší zkameněliny Čech?

Hledání odpovědí na nejrůznější „nej...“ je ošidné. Téměř vždycky se najde nějaká okolnost, která jednoznačnou odpověď zpochybňuje. Je tomu tak i v případě odpovědi na otázku, jaké jsou nejstarší zkameněliny Čech a Moravy. Otázka je však významná nejen z hlediska běžných zájemců o vědu o Zemi, ale i z pohledu geologů a paleontologů. Jde přece o to, jak interpretovat události, které se na územích dnes spojených v Český masiv odehrávaly před téměř jednou miliardou let; a také o to, jakým směrem zaměřit budoucí výzkumné kapacity, aby jejich výsledky byly významné pro světovou geologickou a paleontologickou veřejnost.

Pátrání po nejstarších nepřeměněných (nemetamorfovaných) usazeninách u nás vede do západních a středních Čech, do oblasti tzv. barrandienu a ještě konkrétněji do území tzv. kralupsko-zbraslavské skupiny usazených a vulkanických hornin. Zkameněliny, které tu byly nalezeny, byly zatím vždy kontroverzní a nabízely více otázek než odpovědí. V posledních desetiletích však převládá názor, že nejstaršími pozůstatky dávných společenstev organismů u nás jsou tzv. stromatolity – a jim především se budeme v dalším textu věnovat.

Z území zhruba mezi Brandýsem nad Labem a jižním okolím Plzně vzbudily první větší zájem paleontologů zprávy I. Rodíče (1925 a 1931), který uvedl, že v buližnických pražského vrchu Ládví našel schránky jednobuněčných organismů – mřížovců neboli radiolarií. Jeho zprávy se dosud občas citují, ale nikdy nikdo už podobné nálezy radiolarií s detailně zachovalou strukturou komůrek a trámků nezopakoval; jeho nálezy se nezachovaly a celkový dojem z takto publikovaného výsledku je pochybný.

Určitou pachučí zklamání přinesl i mikropaleontologický výzkum v šedesátých až osmdesátých letech 20. století, navzdory tomu, že se do něj zapojili tehdejší špičkoví paleontologové a paleontoložky. Nálezy mikroskopických fosilií, více či méně průkazné, nevnesly světlo do detailnějšího časového rozčlenění usazenin.

V sedmdesátých letech 20. století se objevil nový fenomén českého proterozoika – stromatolity. Nacházejí se ponejvíce v pásmech buližníků na Bloviceku, výskyt však byl zaznamenán v mnoha buližnickových tělesech západních (a v malé míře i středních) Čech. O dosavadní poznání se zasloužili zejména Z. Pouba, B. Pacltová, K. Žák a B. Kříbek. Jejich práce vyšly vesměs v letech 1975–2000. Výzkum stromatolitů ve světě se od té doby nezastavil; u nás zase badatelé schraňují nový a nový materiál z Brd i odjinud.

Nejjednodušší, nebo naopak nejsložitější ze zkamenělin?

Často byly stromatolity představovány jako nejstarší a nejjednodušší makroskopické pozůstatky života v geologické minulosti Země. Pronikly do obecných učebnic biologie a geologie; téměř každý zájemce o přírodu se asi setkal s fotografiemi několik decimetrů širokých a až dva metry vysokých sloupů zakončených kupolemi, odrážejících se od zvlněné hladiny hypersalinní laguny zvané Hamelinova tůň (Hamelin Pool) poblíž Žraločí zátoky (Shark Bay) v západní Austrálii.

V geologickém záznamu na území České republiky byly stromatolity rozpoznány v usazeninách několika geologických období. Vynecháme pro tuto chvíli reцентní výskyty v potůčcích a tůňích bohatých na rozpuštěný uhlíčan vápenatý.



Organický aspekt morfologie stromatolitů: recentní porosty heterotrofních mikrobů v potůčku Zagornyj poblíž Igarky, Sibiř. Pokud by byly mineralizovány, vznikaly by tvarově „dokonalé“ stromatolity; velikost balvanu je asi 40 cm

(foto R. Mikuláš)



Koncentrické fosfátové krusty, svrchní ordovik Barrandienu, důl Hrouda u Zdic; velikost vzorku je cca 20 cm

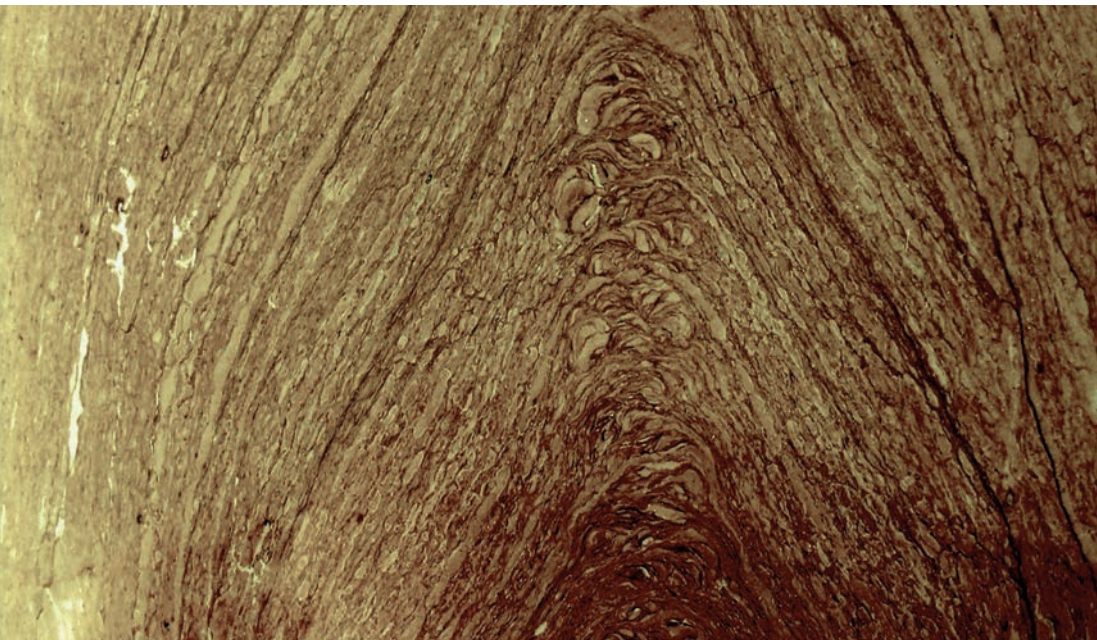
(foto I. Kolečaba)

Pokud jde o ty fosilní, nejméně kontroverzní jsou nálezy z vápenců devonského stáří z facií přiléhajících ke koněpruskému korálovému útesu a z vápenců obdobného stáří z Moravského krasu. Méně jistoty panuje ohledně nálezů z předpokládaného prostředí ordovických mořských lagun, ve kterých docházelo ke srážení sedimentárních železných rud a laminovaných fosfátů. Zdaleka nejtěžším a z hlediska geologických souvislostí také nejdůležitějším úkolem však je zhodnocení předpokládaných stromatolitů starohorního stáří ze západočeských buližníků.

Více než sto let od objevu

Geolog Ernst Kalkowsky (1851–1938), narozený v dnešní Kaliningradské oblasti a později působící na univerzitách v Jeně a Drážďanech, je dnes znám především jako autor pojmu stromatolit, který publikoval v roce 1908. Ve vápencových usazeních slaných aridních pánví spodního triasu v pohoří Harz nacházel hlízovité a polokulovité, zpravidla několik decimetrů až dva metry velké útvary složené z tenkých vrstviček s odlišnou texturou a složením. Hlízy se často vyskytovaly ve vrstvách složených z drobných, uvnitř rovněž laminovaných kuliček vápence – ooidů. Kalkowsky vyslovil hypotézu, že laminy jak ve stromatolitech, tak v ooidech vznikly činností mikroorganismů, které se zásadně podílely na srážení uhličitánu vápenatého i na zachycování drobných zrněk minerálů přítomných ve vodě. Přímé důkazy neměl, správně však tušil, že čistě abiogenní pochody by obvykle vedly k jinému výsledku. Je zapotřebí zdůraznit, že Kalkowsky nebyl první, kdo popsal stromatolity: vícekrát v 19. a na samém počátku 20. století byly popsány jako zkamenělé řasy, prvoci nebo jako konkrce, tedy jako výsledek zpevňovacích procesů v horninách, tzv. diagenese.

Orientovaný výbrus stromatolitem „rodu“ *Conophyton*; Aldanská oblast, Sibiř, kambrium, muzeum v Novosibirsku; velikost preparátu je cca 5 cm (foto R. Mikuláš)





Recentní stromatolity; jezero Tethis, Austrálie

(foto Z. Súvová)

Během uplynulých více než sta let od Kalkowskyho objevu postupuje výzkum několika směry. Vytváří se koncept a definice, přibývá dobře prozkoumaných nálezů v geologickém záznamu a – kupodivu z hlediska času až na posledním místě – narůstá suma znalostí o recentních stromatolitech. Málokdo ví, že stromatolity australské Žraločí zátoky byly objeveny v roce 1954 a popsány až v roce 1961!

Objevitel fauny v burgeských břidlicích C. D. Walcott (1850–1927) se setkal se stromatolity během své vědecké dráhy několikrát. Zpočátku je považoval za stromatopory, tedy vyhynulé živočichy blízké houbovcům (Porifera), nebo za foraminifery. Později, v roce 1914, je srovnal s hlízovitými a laminovanými pěnovcovými tělesy v některých amerických jezerech. Vyslovil názor, že jak recentní sladkovodní, tak i fosilní stromatolity vznikly činností (nebo s pomocí činnosti) sinic (Cyanophy-

ceae). Pojem stromatolit, a tedy ani Kalkowskyho práce, ovšem nebyly Walcottovi známy. Walcott používal (stejně jako mnozí badatelé před ním i po něm) pro stromatolity běžné binomické názvy odvozené z botanické nomenklatury. Z některých těchto názvů se později stala neformální označení pro specifické formy; jinak je ovšem tento postup v zásadě chybný. Teoreticky daleko správnější by bylo stanovovat názvy stromatolitů jako ichnotaxony, tedy jako pojmenování specifických stop po životní činnosti organismů. Podle většiny existujících klasifikací totiž stromatolity patří mezi biogenní sedimentární textury, stejně jako například stopy po projíždání substrátu mořského dna. Problematika stromatolitů je však tak specifická, že žádný ichnolog se nikdy do pojmenovávání stromatolitů nepustil.

Podpora Kalkowskyho názoru o biogenním původu stromatolitů, který vešel v širokou známost koncem dvacátých let minulého století, byla střídána pochybnostmi, často víc než oprávněnými. Není mi známo, že by někdo zpochybňoval biogenní původ *všech* stromatolitů, ale v konkrétních případech se objevily velmi silné argumenty proti. Laminované dómovité struktury mohou v horninách vznikat mnoha způsoby. Bez nároku na úplnost výčtu jsou to například sintry (jeskynní i v okolí horkých pramenů), chemogenní konkrece a krusty hlubokomořského dna, diagenetické konkrece, rekrystalované křemičité gely (známé například z hypotéz o vzniku achátů), konvolutní zvrstvení (vzniklé deformací jemnozrnných tence deskovitých sedimentů před jejich zpevněním), vysychání vlhkých nezpevněných usazenin či tektonikou podmíněné vrásky.

Recentní stromatolit se dvěma velikostními řády hlíz, větší útvar má v průměru asi 60 cm; jezero Tethis, Austrálie (foto Z. Súvová)





Recentní stromatolity; jezero Tethis, Austrálie

(foto Z. Sůvová)

První popsaná interakce mezi karbonátem a bakteriemi: ooidy z Velkého Solného jezera v Utahu; velikost vzorku je asi 10 cm

(foto R. Mikuláš)



Taylorův stromatolit

To nejhorší pro zastánce biogenního původu naprosté většiny laminovaných hlíz v horninách však mělo teprve přijít. Nejprve Grotzinger se spoluautory (1996, 1999) publikoval rovnice, které modelují vznik tvarů typických pro stromatolity vypadáním částic ze suspenze, bez vlivu organických pochodů. Následně se podařilo morfologicky dokonalé stromatolity připravit i experimentálně.

Na počátku experimentů byl záhadný, tzv. Taylorův stromatolit. Jednalo se o několik centimetrů velký, převážně červenohnědý pevný útvar nalezený v pozůstatosti sira George Taylora (1904–1993), botanika a někdejšího ředitele Královské botanické zahrady v Kew u Londýna. Na základě zkoumání Taylorova vzorku se ukázalo, že sestává z barev používaných v šedesátých letech 20. století ke sprejování karoserií automobilů! Zřejmě vznikl v průběhu let na pojízdném vozíku nebo obdobné konstrukci v některé z automobilek. Stojí za zmínku, že v současné době, kdy je všeobecně rozšířeno úspornější elektrostatické sprejování, už v továrnách podobné útvary nevznikají.

Nicola McLoughlinová se spoluautory (2008) se pokusila napodobit vznik Taylorova stromatolitu v laboratorně exaktních podmínkách. Experimenty, při kterých byly aerosoly s různě viskózními kapénkami zachycovány na pevnou podložku, umožnily připravit velkou morfologickou škálu různých syntetických stromatolitů, včetně typických větvičích se sloupků. Obdobné mechanismy sedimentace lze buď přímo doložit, nebo alespoň předpokládat v příbojové zóně moří, v pouštích (analogií jsou vrstevnaté pouštní laky) a v prahorních mořích, kde se

Pěnovcový stromatolit; jezírko na výsypce u Sokolova

(foto R. Mikuláš)



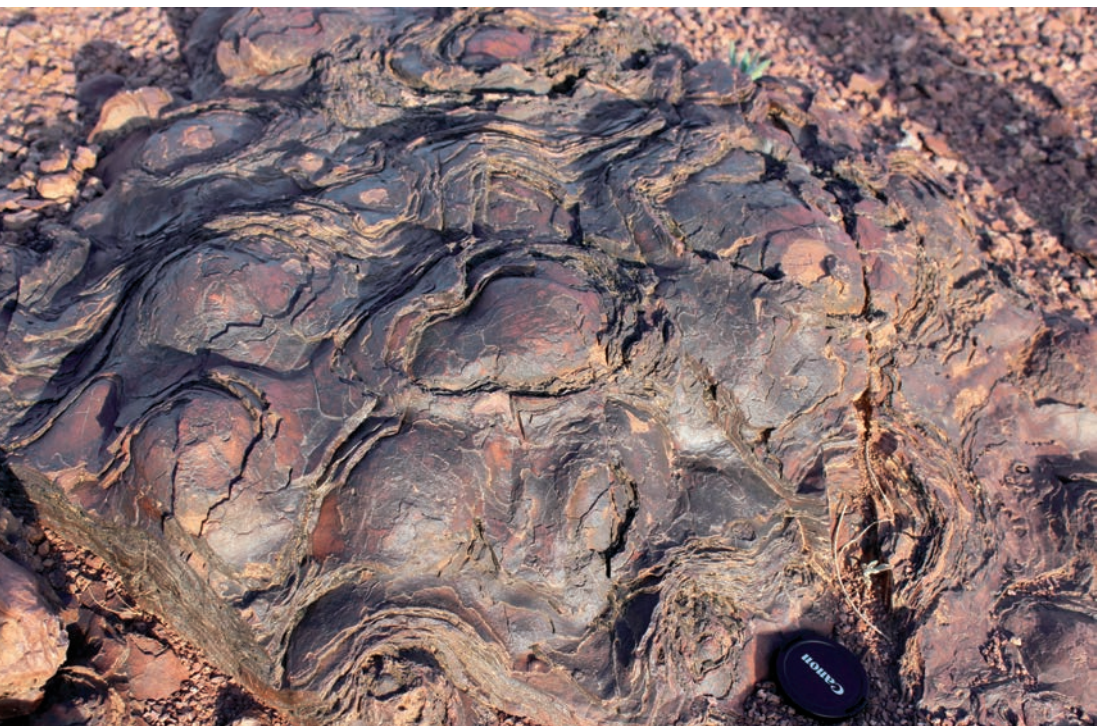


Krajina se starohornými stromatolity v Maroku

(foto L. Slavík)

Starohorný stromatolit, Maroko; velikost útvaru je asi 1 m

(foto L. Slavík)



podobným způsobem chovaly částice křemenných gelů vytvářející laminované silicity.

Ponechme pro tuto chvíli stranou všechny pokroky v poznání biogenního původu současných i dávných stromatolitů a podívejme se na důsledek úspěšných pokusů či pozorování abiogenního vzniku. Problematickou se stává samotná definice stromatolitu. M. A. Semikhatov se spoluautory (1979) a po nich mnozí další definovali a dosud definují stromatolity jako *struktury v sedimentárních prostředích, spojené s povrchem dna, laminované, nesoucí známky postupného růstu; přirůstání vychází z jednoho místa nebo z omezené části povrchu*. Není zde tedy ani zmínka o biogenním původu; naopak, stromatolity se geneticky dělí na biogenní a abiotické, v některých pracích jsou navíc odlišeny také hybridní stromatolity.

S tak širokým pojetím termínu stromatolit však málokdo souhlasí. Stromatolity byly definovány jako struktury vzniklé s pomocí mikrořbů a tak by to mělo zůstat. Pregnantně to shrnuje Robert Riding (2011), když píše, že otázka důkazu biogenního původu fosilních stromatolitů je trvalým a největším problémem studia celé skupiny a že *jediným* důvodem, proč někteří badatelé utíkají k morfologické definici namísto definice genetické, je obtížnost důkazu biogenního původu u většiny fosilních stromatolitů. K tomu se ovšem chce dodat, že máme-li v 95 % případů pochybnosti o genuzi zkoumaných struktur, je tento *jediný* důvod důvodem dost pádným.

Přes výše uvedené výhrady jsem pro ponechání pojmu stromatolit pro biogenní formy. Rozšířením na anorganické formy by pojem ztratil velkou část svého opodstatnění. Souhlasím se Stanleyem Awramikem a Kathleen Greyovou (2005), že je lepší mluvit o pochybných či předpokládaných stromatolitech než „vylít s vaničkou i dítě“ a pojem otevřít kdejakému kusu páskované horniny.

Historie pátrání po mikrobech ve stromatolitech

První práce, která nasměrovala pozornost badatelů k efektu sinic na srážení vápence, vyšla v roce 1892 a pojednávala o sinicích ve vápencových ooidech Velkého solného jezera v Utahu. Následovalo povícero prací o vlivu mikroorganismů na vznik ooidů. První popisy sinic na útvarech decimetrových až metrových rozměrů přinesl již zmíněný C. D. Walcott (1914) ze sladkovodních jezer východu USA. Dalším přelomem byl rok 1933, kdy byly objeveny poměrně málo mineralizované a tedy poněkud „měkké“ hlízovité povrchy v lagunách a poloslaných stružkách na bahamském ostrově Andros. Obsahovaly koberce sinic a záhy byly srovnávány s tehdy známými nálezy starohorních stromatolitů. Dokonalé překvapení přichystala až výše zmíněná Hamelinova tůň v Austrálii. Zde nalezené stromatolity, popsané B. W. Loganem v r. 1961, jsou krásné, velké, dokonale mineralizované a vyskytují se v mořském prostředí se sezónním střídáním běžně slané a velmi slané vody. Hostí složitá, vysoce organizovaná a periodicky se střídající mikrobiální společenstva. Zachycovaná minerální zrna jsou poměrně velká. Obdobný nález přišel ještě v osmdesátých letech 20. století, tentokrát opět z Baham – konkrétně z přílivovo-odlivových průlivů mezi bahamskými ostrovy zvanými Exuma Cays. Dalším objevem, tentokrát ovšem nikoliv přímo z mořského prostředí, jsou stromatolity slané jezera Tethis severně od Perthu v Austrálii.



Anorganicky vzniklé laminování: rekrystalizace křemenného gelu v achátu; výstavka prodejny Geosvět v Praze (foto R. Mikuláš)

Ve vodě jsou železité sraženiny a chuchvalce sinic, pevná hmota podobná stromatolitům zde však nevzniká; pískovna Erika u Sokolova (foto R. Mikuláš)



Více (nebo o mnoho více) jich v současných mělkých mořích zřejmě není. Je však ještě nutné zmínit stromatolity v jeskyních a skrytých dutinách korálových a řasových útesů, které byly v uplynulých desítkách let popsány jak z recentu, tak z fosilního záznamu. Důležité je, že mikrobi podílející se na jejich vzniku a růstu museli být výlučně heterotrofní. Mikrobi byli nalezeni samozřejmě v široké řadě dalších usazenin – ty se však tvarem, strukturou a konzistencí neshodovaly se stromatolity.

Mikrobiality, trombolity a leiolity

Pátrání po mikrobech na mořském dně však přineslo velmi zajímavé poznatky. Usazeniny prosycené mikrobiálním životem byly nalezeny na mnoha přílivových plošinách, což jsou různě široké pobřežní plošiny tvořené organogenními bahny a jemnozrnnými písky naplavenými z moře za přílivu. Různě barevné či páskované (podle typu mikrobů žlutě, zeleně, červeně a šedě) měkké sedimenty přílivových plošin byly popsány už v 19. století, systematický výzkum však probíhá víceméně až od konce osmdesátých let minulého století. Mikrobiální koberce tohoto typu jsou na rozdíl od stromatolitů nejen nemineralizované, ale nevyhovují ani kritériu přirůstání z jednoho místa nebo z omezené části povrchu. Tím, že jsou měkké, však mohou být deformovány prouděním vody, vysycháním nebo únikem bublin plynu z podložní usazeniny. Takovéto deformace se mohou snadno uchovat ve zpevněných horninách, daleko pravděpodobněji, než samotné mikroorganismy (potíž ovšem nastává s jejich jednoznačnou identifikací, což by samo o sobě vystačilo na dlouhý článek). N. Noffke se spoluautory je v roce 1996 označili zkratkou *MISS*, což znamená „microbially induced sedimentary structures“. Nejběžnějšími z nich jsou vráskovitě povrchy vrstev, *wrinkle marks*.

Již v roce 1987 však R. W. Burne a L. Moore zavedli termín *mikrobialit* (microbialite) pro usazeniny, které se akumulují v důsledku činnosti mikrobiálních společenstev žijících na dně; mikrobi zachytávají úlomky usazenin nebo slouží jako jádra vysrážení minerálů, případně obojí. Je zřejmé, že stromatolity do pojmu mikrobialit jednoznačně spadají a jsou jeho podřazenou kategorií. Co tam však patří kromě stromatolitů?

V roce 1967 byly popsány *trombolity*, což jsou usazeniny vzniklé v důsledku činnosti mikrobiálních společenstev, které mají hroudovitou či chuchvalcovitou texturu. Od stromatolitů se tedy liší v zásadě pouze tím, že nejsou páskované. Recentní trombolity byly nalezeny podobně jako stromatolity v západní Austrálii a nečetné fosilní nálezy jsou hlášeny z mořských sedimentů od starohor až po kenozoikum. V r. 1991 zavedl Robert Riding poměrně nešťastně termín *dendrolity* pro mikrobiality s větvičkovitou strukturou; termín však byl použit už dávno předtím pro zkamenělé dřevité hmoty. Analogicky pak byl v r. 1995 navržen název *leiolity* pro bezstrukturní nebo zcela nepravidelně stavěné mikrobiality.

Fyzikálně-chemicko-biologické děje na povrchu stromatolitů

Ne všechny horniny, v nichž jsou nalezeny zkamenělé mikroorganismy, však vznikly v důsledku jejich aktivity. Nález člověka na dně jámy ještě neznamená, že si



Kupolovitá zakončení sloupcovitých stromatolitů; kambrium Sibiřského štítu, zářez řeky Kulumbe
(foto R. Mikuláš)

Typické horizontální řezy stromatolitů s nepravidelnými (neizomorfními) laminami, velikost zorného pole asi 15 x 20 cm; kambrium Sibiřského štítu, zářez řeky Kulumbe
(foto R. Mikuláš)



dotyčný jámu sám vykopal – a už vůbec neříká nic o tom, proč tak učinil. Jiným příkladem z makrosvětla by mohlo být srovnání plástve medu se včelami a použité mucholapky – v prvním případě je konfigurace výsledkem nezměrné aktivity včel, v druhém případě nemůžeme mouchy podezírat z nějakého záměru, natožpak z výroby lepkavé hmoty.

Otázka fyzikálních, chemických a biologických dějů na povrchu stromatolitů je podrobně popsána jak z Austrálie, tak z Baham. Oba výskyty jsou si z mnoha hledisek podobné. Zajímavé je už taxonomické zařazení. Podle studia morfologie vláken byl jako nejvýznamnější část bahamských stromatolitů určen rod *Schizothrix*; podrobná studie DNA mikroorganismů z bahamských lokalit však nenašla vůbec žádnou DNA rodu *Schizothrix*! Je evidentní, že mezi těmito mikroby bude řada dosud nepopsaných druhů.

V bahamských stromatolitech jsou v různé míře zastoupeny běžné benthické sinice, heterotrofní bakterie a vrtavé (endolitické, uvnitř kamene žijící) sinice. Vytvářejí společenstva (*guilds*, do češtiny přeložitelné jako „cechy“), která se na povrchu stromatolitů do jisté míry cyklicky střídají a moderují fyzikálně chemické děje; jsou však rozvrstveny také směrem dovnitř do tělesa stromatolitu. Každý „cech“ má svoji přesnou roli. Zatímco autotrofní sinice nejvíce napomáhají přímému růstu stromatolitu tím, že do svých vláken zachycují zrnka písku a kalu, heterotrofní mikroby mají velký podíl na iniciaci srážení uhličitánu vápenatého. Rolí endolitických organismů je tak trochu překvapivě konsolidace substrátu (i když by člověk čekal opak): jednotlivá vlákna prorůstají napříč zrny a spojují je. Kromě toho produkují vrtaví mikroby velmi jemná vápencová zrna, jejichž velikost odpovídá rozměrům částic jílových minerálů (méně než 0,004 mm) a která pak spojí zbývající materiál v kompaktní vápencovou hmotu.

Již naznačené tři hlavní skupiny částečně odpovídají třem hlavním typům povrchu stromatolitů. V prvním typu převládají autotrofní sinice. V době, kdy dominuje, stromatolit rychle přibývá vlivem zachytávání minerálních zrn. Další dvě fáze odpovídají odmlce v sedimentaci. V druhém typu převládají heterotrofní bakterie produkující *extracelulární polymerické substance* (EPS), jejichž lepkavá vrstvička se postupně pokrývá nejjemnějšími vápencovými zrnky a tím „okorává“. Třetím stadiem je pak nástup vrtavých sinic, které promění celou předchozí vrstvu v kompaktní „kůru“. Jedná se o klimaxové stadium, které však bývá ukončeno přínosem velkého množství minerálních zrn v období mořských bouří (na Bahamách jde o známé hurikány). Jako pionýrské společenstvo opět nastupují vláknité sinice.

Právě přesný popis dějů, na kterých se podílejí extracelulární polymerické substance, vedl Christopa Dupraze se spoluautory (2009) k odlišení biomineralizace a organomineralizace. První z pojmů odpovídá situaci, kdy živé buňky přímo způsobují vznik nukleačního jádra, růst, tvar a konečné umístění minerálního útvaru; výsledkem jsou například aragonitové schránky měkkýšů. V druhém případě pak jde o děje, při kterých dochází ke srážení minerálů na organické hmotě, avšak bez účasti geneticky přímo řízených procesů. Organomineralizace se dále dělí na biologicky *indukovanou* mineralizaci (ke vzniku sraženin by v daném prostředí bez přítomnosti organiky vůbec nedocházelo) a na biologicky *ovlivněnou* mineralizaci, kde organika ovlivňuje víceméně jen kvantitu produktu.



Větvičkovité stromatolity: mezi větvičkami uvízly velké útržky částečně zpevněné jílové hmoty; velikost zorného pole asi 15 x 20 cm, kambrium Sibiřského štítu, zářez řeky Kulumbe (foto R. Mikuláš)

Laminované útržky hornin různého původu uložené v jediné vrstvě, která se pravděpodobně usadila po rozbouření moře a následném uklidnění větru a vln. Převládá tzv. konvolutní zvrstvení, textury vzniklé vysycháním vápnatého kalu, nejspíše jsou zastoupeny i úlomky stromatolitů; velikost zorného pole asi 45 x 60 cm; kambrium Sibiřského štítu, zářez řeky Kulumbe (foto R. Mikuláš)



Mikrostruktura stromatolitů

Ukazuje se ovšem, že jednotlivé laminy stromatolitů se mohou navzájem velmi lišit. Zatímco výsledkem aktivního biologického děje je zpravidla vrstvička mikritu (následovaná vrstvou s přichycenými kousky vápencových schránek a jiným zrny), čistě chemické srážení zpravidla vede ke vzniku paralelně uspořádaných a větších zrněk vápence (petrologové ho nazývají sparit). Toto teoreticky dost jednoduché kritérium je toho času zřejmě základním vodítkem při třídění sedimentárních laminovaných hlíz na stromatolity, chemogenní krusty a sintry a na hybridní či kombinované struktury (viz práci Roberta Ridinga z r. 2011). Spolehlivé rozpoznávání stromatolitů v geologickém záznamu tedy momentálně závisí především na pečlivé práci petrografů – na petrografickém prozkoumání a porovnání co největšího množství vzorků z recentních prostředí i ze starých hornin.

Stromatolity v geologické historii Země

Zatímco do nedávné doby téměř nikdo nezpochybňoval výskyt stromatolitů (míněny jsou „biogenní“ stromatolity) v prahorních sedimentech a slabě metamorfovaných horninách (stáří 3,8 až 2,5 miliardy let), v současné době jsou mnohé prahorní nálezy zpochybňovány. Nicméně jako nejstarší stromatolity jsou i nadále uváděny nálezy z dresserského souvrství (Dresser Formation) západní Austrálie, jejichž stáří je odhadováno na 3,49 miliardy let. Řada více či méně hodnověrných nálezů pak pochází z období přibližně před 2,7 miliardami let. Vrcholem četnosti výskytu a tvarové rozmanitosti stromatolitů jsou mladší starohory, období zhruba před 1,25 miliardy let. Poměrně čtené jsou ještě stromatolity kambriického stáří (542–488 milionů let). Od středního kambria až po recent jsou stromatolity stále více omezeny na extrémní prostředí, zejména hypersalinní; jako důvod se uvádí, že stromatolity jako ekosystém jsou kompetičně slabé. Nálezy z kambriických sedimentů západního Utahu ukazují stromatolity ze svrchní strany mnohonásobně perforované systémem tunelů, jejichž tvůrci s velkou pravděpodobností patřili mezi členovce. Teorie o velkém kompetičním tlaku na stromatolity poté, co mnozí bezobratlí získali schopnost rozhrabávat mořské dno, je těmito nálezy potvrzována. Poměrně bohatší nálezy stromatolitů z období triasu souvisejí s velkým rozšířením hypersalinní sedimentace v bezodtokých pánvích superkontinentu Pangey na počátku druhohor.

Nepřekvapí, že stromatolity byly, zejména ve starohorních usazeninách, používány k biostratigrafickým účelům, tedy k určování relativního stáří vrstev. Stromatolity jsou poměrně široce rozšířené, jsou odolné vůči kontaktní i regionální metamorfóze a hlavně jsou často jediným dochovaným zbytkem někdejší biosféry. Navíc vlastně dosud zcela nevytizelo pojetí stromatolitů jako „zkamenělých stélek řas“ a některá „rodová jména“, jako *Collenia*, *Stratifera* nebo *Hadrophycus* jsou různými autory dodnes používána. Z hlediska teorie biostratigrafie je však toto užití takřka absurdní, zvlášť když připomeneme, že velmi kvalitní „makety“ těchto „rodů“ lze připravovat pomocí spreje s proměnlivou hustotou a viskozitou kapaliny...

Empiricky však stratigrafie založená na stromatolitech může dobře fungovat. Rozdíly v morfologii sloupků a hlíz mohly v některých případech provázet

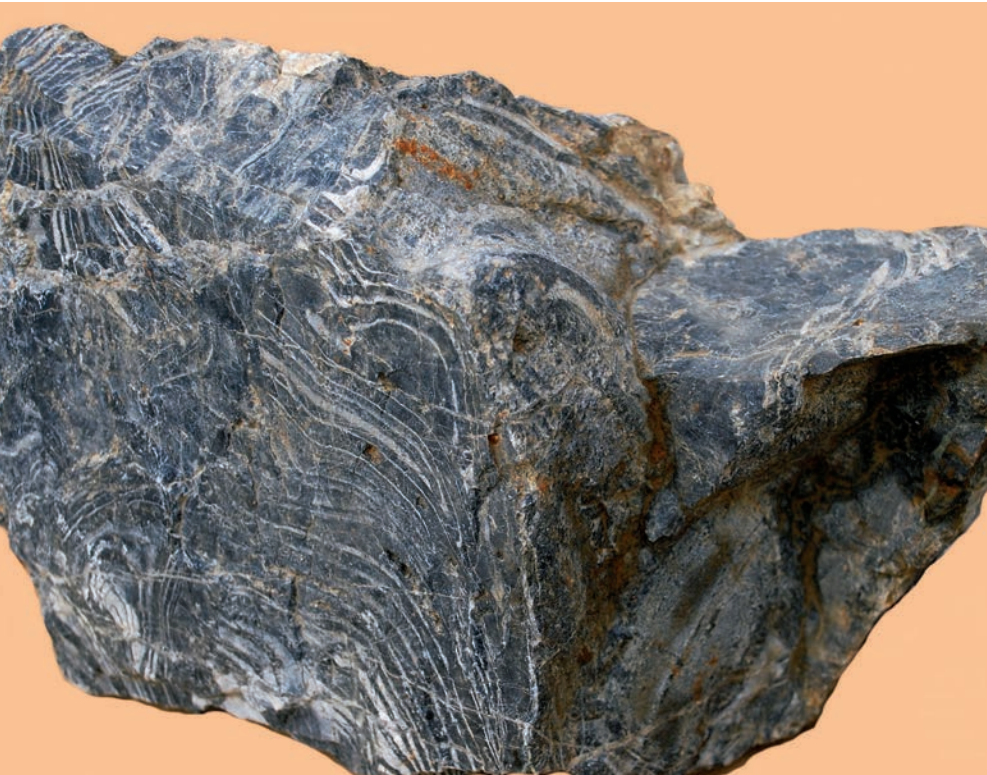


Kambrium, pohoří Confusion Range v Utahu, USA: stromatolity „zabité“ vrtáním a hrabáním shora;
šířka zorného pole cca 12 cm

(foto R. Mikuláš)

Asi 20 cm velký vzorek stromatolitu z proterozoických buližníků od Blovic poskytuje poměrně
vzácný pohled na trojrozměrný povrch: mírně vpravo od středu vzorku je přirozeným zvětráváním
vypreparována několik cm velká polokoule, nad ní je užší, protáhlý, oblý hřbítok

(foto R. Mikuláš)



synchronní globální změny, stejně jako začátek siluru je na mnoha místech světa vyznačen nástupem černých břidlic či svrchní karbon uhelnými slojemi.

Kritéria biogenicity, chemismus stromatolitů - a problém českých nálezů

Stále ještě nejsme u konce základních otázek a principiálních pochyb o stromatolitech. Pozornější čtenář si již mohl povšimnout, že všechny recentní stromatolity vznikají srážením, eventuálně rozpouštěním nebo bioerozí uhličitanu vápenatého, nímž mnohé fosilní nálezy (ponejvíce ty prahorní a starohorní) často pocházejí ze silicitů (křemenných hornin vysrážených z roztoků bohatých na křemen) nebo ferolitů (chemogenních usazenin s velkým obsahem železa). V případě křemenných hornin (mezi které patří i středočeské a západočeské buližníky) se nabízí vysvětlení, že vápence byl během nesmírně dlouhého geologického času vyloučen a jeho místo zaujaly křemenné roztoky. Důkazy o tom, že takovéto děje skutečně probíhaly a probíhají, jsou nezvratné: jedním z nich jsou například dutiny po schránkách kambrických měkkýšů, které jsou dnes vyplněny křemenem, původně však byly nepochybně karbonátové.

Někteří autoři se dokonce domnívají, že starohorní páskované železné rudy lze také řadit mezi stromatolity. Podíl železitých bakterií na vzniku pevných těles hlízovitého či sloupkovitého tvaru se však zatím nepodařilo doložit.

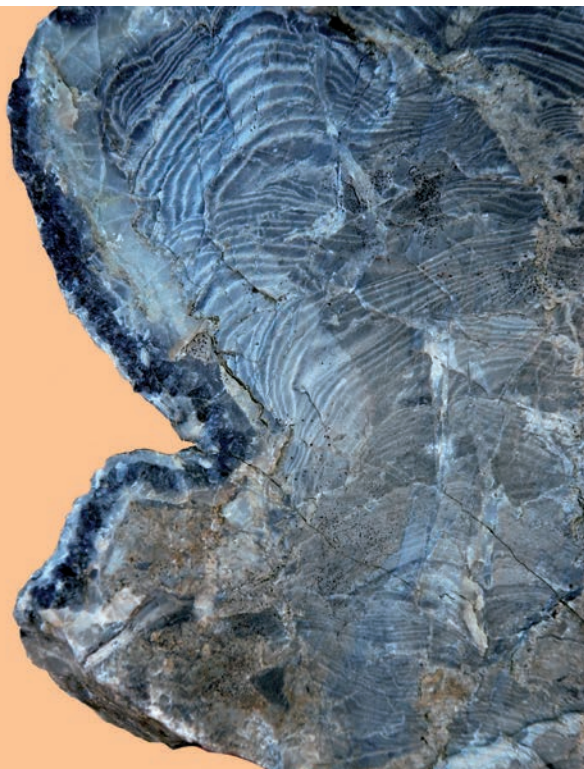
Řada autorů se pokusila navrhnout kritéria biogenicity stromatolitů. Každý z publikovaných seznamů je však nadále dost vágní a obsahuje položky, které již byly zcela přesvědčivě doloženy i pro útvary vznikající bez podílu mikroorganismů. Seznamy tohoto typu lze s opatrností používat, jednotlivé body však mají spíše pravděpodobnostní váhu než význam jasného buď–anebo. Základní kritéria jsou tato: orientace lamin, hlíz, větviček apod. v soulase s vrstevnatostí okolní horniny; vznik ve stejném geologickém čase jako okolní horninová tělesa; přítomnost v usazených a nikoliv např. vyvřelých horninách; morfologická podobnost se současnými stromatolity; nálezy mikrofosilií, které by mohly být funkční obdobou dnešní stromatolitové bioty; geochemická kritéria odpovídající produktům biogenní aktivity. Z hlediska biogenicity jsou „podezřelé“ stromatolity s nápadně konstantními mocnostmi jednotlivých vrstviček – zvláště tehdy, když jsou to mocnosti poměrně značné, několik milimetrů i více. Recentní i typické fosilní stromatolity mívají zpravidla laminy kolísavé mocnosti, do stran se vyklíňující.

Předpokládané stromatolity starohorního stáří ze středočeských a západočeských buližníků se ve světle těchto kritérií biogenicity nejspíš jeví jako „mírně podezřelé“. Vrstevnatost buližníků nebývá patrná, nalezeny však byly bloky s nárůsty silicitů na ostře ohraničeném povrchu běžného buližníku. Publikované geochemické analýzy nevyklučují biogenní původ (Z. Pouba se spoluautory, 2000; K. Žák se spoluautory, 2000). Pokud však předpokládáme, že se původně jednalo o horniny s uhličitanelem vápenatým, který byl během diagenese nahrazen křemenem, zůstává otázkou, co vlastně hodnoty těchto analýz reprezentují. Zřejmě nadchází doba, kdy by měly být předpokládáné stromatolity buližníků barrandienu opět studovány od počátku – tedy morfometricky.

Shromážděny jsou dnes stovky nálezů o obvyklé velikosti 20–50 cm. Jedná se o balvany a bloky sutí. Stromatolity na skalních výchozech jsou vzácné a pokud



Asi 30 cm velký vzorek stromatolitu z bulížníků od Spáleného Poříčí. Bílá šipka označuje místo, kde zřejmě došlo tlakem nadloží k „promáčknutí“ spodního bochníku - ten tedy musel být částečně plastický, stejně jako některé recentní stromatolity. Pověšněte si také silného rozpuštění, ale jen malého „rozpohybování“, zejména střední části vzorku; velikost 25 cm (foto R. Mikuláš)



Stromatolit z bulížníků od Blovic. Pěkné „bochníky“ jsou zleva lemovány žilou s pravděpodobně hydrotermálním křemenem; výška zobrazené části asi 12 cm (foto R. Mikuláš)

se objeví, jsou ponechány na místě. Laminy jsou většinou mocné (silné) 1 mm až prvních několik mm. Každá z nich má světlejší a tmavší část; tmavé bývají mnohem mocnější. Občas se přidává nebo jednorázově vkládá další vrstva, zpravidla okrové barvy. Celkový tvar je málokdy přímo pozorovatelný, protože jen nemnohé stromatolity se oddělují podle lamin. Tam, kde to vidět lze, jsou tvary polokulovité, květákovité, bochníkovité (bochníky někdy narůstaly zdola i shora, jednalo se tedy o volná tělesa, občas přemístěná) nebo i téměř ploché (planární). Mezi těmito „standardními“ vzorky je však několik procent s laminami do 1 mm. Tyto tenké laminy se zpravidla do stran vytrácejí, nevznikaly tedy na celé ploše najednou, ale ve skvrnách, což je typické právě pro nárůsty mikrobů. Laterální nestabilita je naopak spíše vzácná u vzorků se silnějšími laminami.

Velikost „polokouli“ nebo „bochníků“ je obvykle několik cm, vzácně 20 i více cm, jen málokdy pod 1 cm. Mocnost přes sebe přerostlých bochníků je až 50 cm, což je ale dané spíše omezenou velikostí vzorků než původní geologickou situací. Místy je evidentní vztah k někdejšímu povrchům skály – nevíme však, jestli to byla skála spíše vodorovná, nebo strmě ukloněná. Minimálně jeden nález však představuje dvojici protilehlých stěn skalní průrvy, porostlých stromatolity.

Nápadným rysem nálezů je jejich rozlámání. Mnohé jsou složeny z úlomků několika typů laminovaných, výjimečně i nelaminovaných hornin, jinde jsou úlomky jen málo posunuté, asi jako dílky ledabyle rozházené skládačky. Hmota tmelící úlomky k sobě laminovaná nebývá. U některých kusů lze odhalit druhotnou plastickou deformaci při rozlámání – tyto vzorky tedy musely být jen slabě prosyceny minerály, což by bylo velmi silným důkazem organického původu.

Zcela výjimečně lze zaznamenat dvojí, vzájemně se protínající laminaci. Aspoň jedna z nich tedy musí být druhotná; pokud je soustředná, je zřejmě odvozena od elektrochemického Liesegangova jevu. Jindy je druhotná laminace spíše výsledkem horninového tlaku, a to v těch případech, kdy jsou tyto druhotné laminy paralelní a souhlasné s některým ze systémů puklin. Aby potíží nebylo málo, některé širší trhliny mají hrubou kompaktní výplň charakteristickou spíše pro hydrotermální žíly. Při vzniku studovaných hornin se tedy zřejmě zkombinovala řada geologických pochodů.

Občas se najdou nápadné vrstvičky, „markery“, které lze sledovat přes více hlíz; zaznamenávají tedy určitý stav povrchu struktury v jednom okamžiku. Tyto markery mohou mít podobu nápadných izomorfních vrstviček nebo ne zcela pravidelných krust vzniklých rozpouštěním a rekrystalizací povrchu; k tomu docházelo v periodách bez srážení minerálů a bez usazování kalů. Spíše v malé míře se objevují tzv. stylolity, tedy klikaté „švy“ v hornině, které jsou důsledkem tlakového a hydrotermálního rozpouštění buližníku. Zpravidla však chybí jen několik milimetrů horniny, o čemž se můžeme snadno přesvědčit, pokud stylolit prochází pěkně laminovaným bochníkem stromatolitu. Celkově je třeba zdůraznit, že tvarově jsou proterozoické stromatolity Brd jen nepatrně pozměněny! Bochníky a kupole smáčklé při metamorfóze by se prozradily přednostní orientací svých delších os. Nedošlo tedy k deformaci, která je jinak u zkamenělin ze slabě přeměněných usazenin běžná.

Tence laminované partie buližníků někdy budí podezření, že se původně jedná o břidlice a že jejich laminace byla způsobena mořskými proudy. V takovém případě by však bylo prakticky vyloučeno, aby byly velmi rychle zpevněny – a to být

musely, jinak by se nelámaly do podoby ostrohranných kamínků. Jedná se tedy o další poměrně silný důkaz organického původu.

Samotné studium pozůstatků mikrobů v brdských stromatolitech zatím mnoho jistot nepřineslo, výzkumy však dosud nebyly nijak rozsáhlé a nezahrnovaly všechny hlavní typy.

Abychom to shrnuli – určité malé procento brdských laminovaných buližníků je nepochybně anorganického původu; mezi těmi ostatními nacházíme jak kusy, které mají řadu znaků biogenicity, tak takové, které většinu znaků postrádají. Pravděpodobnost, že část z nich jsou „pravé“ stromatolity, je však obrovská. Je tedy téměř jisté, že naše nálezy dokumentují *prostředí mělkého moře*, a nikoliv nekonečné hlubiny oceánského dna jednou za čas překrytého lavinou bahna gravitačního proudu, jak je tomu ve velké části středočeského a západočeského proterozoika.

Krusty z ferolitů – sedimentárních železných rud – ordoviku barrandienu by mohly výrazně pomoci v řešení otázky, zda existují také železité stromatolity. Skutečnost, že v současných ekosystémech je neznáme, nemá směrem do vzdálenější geologické minulosti velkou výpovědní hodnotu. Budoucí výzkum stromatolitů bude ještě pestrý a dobrodružný a doufejme, že materiál z Brd k tomu přispěje.

Literatura o stromatolitech:

AWRAMIK, S. M. a GREY, K. Stromatolites: Biogenicity, biosignatures, and bioconfusion. In: HOOVER, R. B., LEVIN, G. V., ROZANOV, A. Y. a GLADSTONE, G. R. (eds.). *Proceedings of the International Society for Optics and Photonics, Astrobiology and Planetary Missions*. SPIE abstracts, 2005, č. 5906, str. 59060P-1–59060P-2; DUPRAZ, C., REID, P. R., BRAISSANT, O., DECHO, A. W., NORMAN, R. S. a VISSCHER, P. T. (2009). Processes of carbonate precipitation in modern microbial mats. *Earth Science Reviews*. 2009, roč. 96, str.141–162; McLOUGHLIN, N., WILSON, L. A. a BRASIER, M. D. Growth of synthetic stromatolites and wrinkle structures in the absence of microbes – implications for the early fossil record. *Geobiology*. 2008, roč. 6, str. 95–105; POUBA, Z., KRÍBEK, B. a PUDILOVÁ, M. Stromatolite-like cherts in the Barrandian Upper Proterozoic: A review. *Bulletin of the Czech Geological Survey*. 2000, roč. 75, str. 285–296; RIDING, R. The nature of stromatolites: 3,500 million years of history and a century of research. In: J. REITNER, N.-V. QUÉRIC a G. ARP (eds.). *Advances in Stromatolite Geobiology*. Heidelberg: Springer. Lecture Notes in Earth Sciences, 2011, sv. 131, str. 29–74; ŽÁK, K., DOBEŠ, P., HLADÍKOVÁ, J. a PUDILOVÁ, M. Stable isotope fluid inclusion study of carbonate and siliceous sediments of the Barrandian Neoproterozoic. *Bulletin of the Czech Geological Survey*. 2000, roč. 75, str. 271–284.

Oddělení paleobiologie a paleoekologie Geologického ústavu AV ČR rozvíjí tři hlavní směry: paleoekologii, paleobiologii a biostratigrafii. Některé výzkumy se propojují s biologií současných organismů (dynamika společenstev, evoluční nauka, funkční morfologie) a historickou geologií (příčiny a průběh vymírání a oživení ekosystémů). Největší podíl zpracovávaného materiálu tvoří nálezy z území České republiky, výjimkou však nejsou ani studie založené na materiálu z jiných zemí i kontinentů vypracované spolu se zahraničními spoluautory. Zkameněliny z období starších prvohor jsou v ČR významně zastoupeny proto, že geologický záznam z tohoto období historie Země je na našem území velmi podrobný, úplný a dobře odkrytý; s tím souvisí dlouhá tradice výzkumu. Uplatňuje se při něm zejména paleontologie bezobratlých a studium biogenního míšení usazenin – ichnologie. Mladší prvohory Českého masivu a Evropy, především záznam jezer-
ních pánví, jsou studovány z hlediska paleoekologie, paleobiologie a biostratigrafie; zejména se jedná o studium metodami palynologie (nauka o tvaru a stavbě pylů fosilních rostlin) a paleontologie obratlovců. Toto období je klíčové pro pochopení některých vazeb mezi atmosférou (zejména uhlíkovým cyklem), biotou, klimatem a konfigurací kontinentů. V druhohorách a třetihorách alpsko-karpatské oblasti a české křídové pánve se nejvíce uplatňuje paleoekologie a biostratigrafie, založená zejména na mikrofosiliích a na integrovaných sedimentologicko-paleontologických studiích. Terciární sedimentární pánve a vulkanosedimentární jednotky Českého masivu jsou zkoumány z hlediska paleoekologie, paleobiologie i biostratigrafie, s ohledem na významný přesah ke kvartérní geologii a tím i ke geologické současnosti (recentu); uplatní se palynologie, ichnologie a studium faun obratlovců.

Geologický ústav AV ČR, v. v. i., je badatelské centrum, jehož hlavním cílem je získávat, interpretovat a integrovat znalost zemského systému a jeho geologické i biologické minulosti, bez níž není možné porozumět současnému přírodnímu prostředí. Zemský systém je chápán jako výsledek interakce vnitřních a vnějších geologických procesů, vývoje bioty a vlivů člověka. Koevoluce zemského systému znamená úzké propojení a nepřetržité vzájemné ovlivňování biotických a abiotických procesů vedoucích například ke změnám složení atmosféry, klimatickým změnám a tím rychlosti zvětrávání, změnám tvorby reliéfu, vývoje sedimentárních pánví i některých typů ložisek.

V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Jiří Padevět: **Topografie teroru**

Milan Řípa: **Historie termojaderné fúze v ČR**

Julie Jančárková: **Nikolaj Lvovič Okuněv**

DOSUD VYŠLO:

Zbyněk Roček: **Zdeněk V. Špinar**

Petr Zacharov: **Observatoř Milešovka**

Václav Cílek: **Nové počasí**

Edice Věda kolem nás | Co to je...

Stromatolity | *Radek Mikuláš*

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6 – Lysolaje.

Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa.

Technická redaktorka Monika Chomiaková. Odpovědná redaktorka

Petra Královcová. Vydání 1., 2015. Ediční číslo 11881.

Tisk **SERIFA**®, s. r. o., Jínonická 80, 158 00 Praha 5

Další svazky získáte na:

www.vedakolemnas.cz | www.academiaknihy.cz | www.eknihy.academia.cz