

# Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích Přírodní vědy

Acta Musei Bohemiae Meridionalis in České Budějovice – Scientiae naturales

Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy	47	27 – 38	2007
---	----	---------	------

## Složení moldanubických mramorů – významný argument pro prekambriické stáří pestré skupiny

The composition of Moldanubian marbles – a significant argument for  
a Precambrian age of the Varied group

Die Zusammensetzung der moldanubischen Marmore als ein wichtiges  
Argument für das präkambrische Alter der Bunten Serie

Václav PROCHÁZKA

Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta UK

**Abstrakt.** Z vyhodnocení dostupných dat (převážně z Litogeochemické databáze ČGS) o složení karbonátů bez velké klastické příměsi vyplývá, že některé významné rozdíly mezi mramory pestré skupiny moldanubika a paleozoickými vápenci Barrandienu nelze vysvětlit metamorfózou. Nedolomitizované moldanubické mramory mají výrazně vyšší obsah Sr, zvláště uvnitř mocnějších vrstev. To dokazuje, že nabohacení Sr, stejně jako nízké poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  kolem 0,7060 (FRANK et al., 1990), neslučitelné se složením prvohorního oceánu, odrážejí rozdílné podmínky sedimentace moldanubických vápenců (krystalizace aragonitu díky vyšší teplotě?), resp. rozdíly ve složení mořské vody bez významného vlivu eventuální vulkanické příměsi. Vápence Barrandienu mají výraznou negativní cerovou anomálii, v moldanubických mramorech je i slabá cerová anomálie sporná. Vzhledem k tomu, že Sr je mobilnější než vzácné zeminy, není reálné, že by moldanubické mramory měly původně složení odpovídající běžným paleozoickým vápencům (nejen Barrandienu), tzn. výraznou negativní anomálii Ce a obsahy Sr < 1500 ppm. Uvedené skutečnosti vylučují paleozoické stáří protolitů pestré skupiny, jako nejpravděpodobnější se jeví stáří v rozmezí spodní-střední proterozoikum.

**Klíčová slova.** vápenc, mramor, stopové prvky, moldanubikum, Barrandien

**Abstract.** Available geochemical data (mainly from the Litogeochemical database of ČGS) from carbonates with no major clastic contamination have been evaluated. Some important differences between the Barrandian lower Paleozoic and the Varied group of Moldanubicum cannot be explained by metamorphism. The Moldanubian marbles which are not dolomitized have usually much higher Sr contents than limestones of Barrandian, the highest Sr abundances being inside of the marble layers. This shows that the Sr enrichment reflects sedimentation of Moldanubian limestones in a different environment (aragonite crystallization due to higher temperature?), and that the low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios close to 0,7060 (FRANK et al., 1990) - not corresponding to Paleozoic ocean - represent the seawater and are not influenced by volcanic detritus. The limestones of Barrandian have a strong negative cerium anomaly, but in Moldanubian marbles, even weak Ce-anomaly is doubtful. Due to high mobility of Sr compared to the mobility of rare earths, it is unreal that the original composition of Moldanubian marbles would correspond to common Paleozoic limestones (not only of Barrandian), which have strong negative Ce-anomalies and < 1500 ppm Sr. All these facts exclude a Paleozoic protolith age of the Varied group, and rather support lower- or middle Proterozoic age.

**Keywords.** limestone, marble, trace elements, Moldanubicum, Barrandian

## Úvod

Pestrá skupina tvoří pravděpodobně stratigrafické nadloží jednotvárné skupiny moldanubika (JENČEK & VAJNER, 1968). Později byla na rakouském území pestrá skupina přejmenována na

„Drosendorfský terán“, definovaný sice v prakticky stejných hranicích, ale jako tektono-metamorfní jednotka (FUCHS & MATURA, 1976). Rozdělení na „terány“ bylo používáno mnoha autory i pro české území, ale čím více je teránová teorie rozvíjena, tím více se ukazuje spíše nepřirozenost a nejednotnost definice „teránů“. Proto nelze nic pokazit používáním původního označení „pestrá skupina“, s možností rozdělení podle jednotlivých oblastí, které se sice faciálně poněkud liší, ale přesto mají mnoho společných znaků odlišujících je jednoznačně od jednotvárné skupiny (JENČEK & VAJNER, 1968).

Zvláště ve středních a vyšších částech vrstevního sledu pestré skupiny jsou hojné mramory, jejichž mocnost dosahuje (s vložkami jiných hornin) až 400 m (na Strakonicku). Některé grafitické mramory obsahují podle PACLTOVÉ (1980) paleozoické mikrofosílie. Zachování fosilií je ovšem velice sporné, i kdyby tam původně opravdu byly.

CHLUPÁČ (1992) nevyklučuje stratigrafickou korelaci (tedy i stejná stáří) aspoň části pestré skupiny moldanubika s metamorfovanými ostrovy, tzn. i s paleozoikem Barrandienu. Tato možnost však již nikdy nebyla blíže zkoumána. DRÁBEK & STEIN (2003) určili metodou Re-Os stáří molybdenitu v moldanubickém mramoru z Bližné v Pošumaví 495 Ma, což znamená, že původní vápenec musel sedimentovat nejpозději v kambriu. Naproti tomu v Barrandienu se mocné vrstvy vápenců vyskytují jen v siluru a devonu.

Jako další argument pro paleozoické stáří pestré skupiny byla uvedena Sm-Nd modelová stáří amfibolitů 400-1470 Ma (vyšší hodnoty snad představují spíše kontaminované vzorky) z oblasti Chýnova (JANOŠEK et al., 1997). Ta byla ovšem počítána podle dvoustupňového modelu (LIEW & HOFMANN, 1988), který je pro amfibolity značně nevhodný, neboť podle něj měla hornina před poslední metamorfózou poměr Sm/Nd odpovídající průměrné kontinentální kůře, zatímco bazalt může mít tento poměr výrazně vyšší (v takovém případě by bylo vypočtené modelové stáří, které lze interpretovat jako oddělení taveniny z pláště, nižší než skutečné).

Nová datování zirkonů technikami schopnými analyzovat malý bod (< 20 mikrometrů) ukazují nejen složitost interpretace radiometrických stáří různých populací zirkonu (a často i nepoužitelnost původních konvenčních datování). Dalším velmi zajímavým výsledkem je, že většina zkoumaných moldanubických pararul, migmatitů i ortorul (i granulity a dokonce i nemetamorfované granity, zastoupené však malým počtem vzorků) obsahuje jádra zirkonů starší než 1800 Ma (často i > 2500 Ma) - totéž ovšem platí i pro další krystalinické jednotky Českého masívu (FRIEDL et al., 2004; MINGRAM et al., 2004; TICHOMIROVA et al., 2005). Protože zdrojem klastů v protolitu moldanubických pararul byly nejspíše andezity nebo kyselé vulkanity (RENÉ, 2001), je značně nepravděpodobné, že by velmi staré zirkony představovaly recyklovaný nebo dokonce několikrát recyklovaný materiál. To dokazuje, že kontinentální kůra stará 2 miliardy let nebo i více v moldanubiku (a pravděpodobně v celém Českém masívu) zdaleka netvoří jen ojedinělé relikt.

Lze tedy konstatovat, že na archaické stáří jednotvárné skupiny a jen trochu nižší stáří pestré skupiny je třeba stále pohlížet jako na reálnou možnost. Cenné pro tyto úvahy mohou být krystalické vápence, protože zachovávají jistou informaci o složení mořské vody v době sedimentace.

## STRONCIUM A JEHO IZOTOPOVÉ SLOŽENÍ

### Obsah Sr ve vápencích a mramorech

Jednou z důležitých vlastností prekambriických vápenců jsou vysoké obsahy Sr v chemicky nealterovaných vzorcích, které podle VEIZERA et al. (1989) mohly dosahovat až 9000 ppm v karbonátovém podílu. Takto vysoké hodnoty jsou však zachovány jen zřídka (viz též HALL & VEIZER, 1996; SHIELDS & VEIZER, 2002). Obsahy Sr v řádu tisíců ppm znamenají, že původně byl přítomen aragonit. Většina vápencových schránek živočichů však obsahuje méně aragonitu než kalcitu. Velký podíl aragonitu v původním karbonátu může

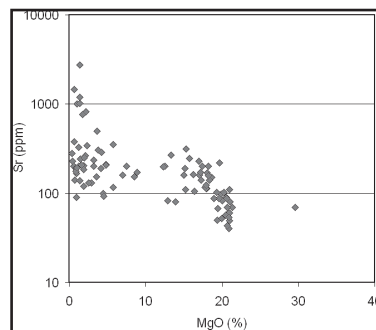
souviset i s vysokou teplotou. V archaiku byla pravděpodobně teplota oceánu blízko hladiny výrazně vyšší než dnešní - možná až 80 °C (KNAUTH, 2005). Podle (ROBERT & CHAUSSIDON, 2006) dosahovala teplota oceánu ještě před 2 miliardami let, tj. ve spodním proterozoiku, přes 60 °C.

Obsahy Sr dosahující 2000 ppm nebo více jsou ve fanerozoických vápencích skutečně vzácností, nicméně výjimky existují, např. ordovický *Viola limestone* v USA s průměrným obsahem 1600 ppm Sr (GAO et al., 1996). Z těchto důvodů nelze považovat obsahy Sr ani v nealterovaných vápencích za nezvratný důkaz o jejich stáří, ale spíše jde o jeden z indikátorů.

Pro analýzu distribuce Sr v karbonátech Českého masívu byla využita Litogeochemická databáze České geologické služby (ČADKOVÁ et al., 1985; ČADKOVÁ 1989), v níž je k dispozici dostatečné množství analýz zhotovených jednotnou metodikou. Protože v mnoha mramorech v Litogeochemické databázi (LD) byly stanoveny jen stopové prvky, jako vzorky s malou klastickou příměsí byly autorem definovány ty, které obsahují < 6,5 ppm Ce. Další text se bude zabývat těmito „čistými vápenci/mramory“, protože z dostupných dat je zcela zřejmé, že Sr je koncentrováno hlavně v karbonátovém podílu. V moldanubických čistých mramorech jsou obsahy Sr značně variabilní a ve vzorcích z LD se pohybují od 37 do 1437 ppm. Naproti tomu v čistých vápencích siluru a devonu Barrandienu jsou obsahy Sr variabilní mnohem méně – v 36 z 37 vzorků leží v rozmezí 114-603 ppm, pouze jeden vzorek má 1206 ppm Sr. Variabilita obsahů Sr v moldanubických mramorech je způsobena především jejich častou dolomitizací, která je naopak výjimečná v Barrandienu. Nejméně Sr obsahují především dolomitizované mramory (obr. 1). V metamorfovaném paleozoiku západosudetské oblasti a Chrudimska (Prachovice) obsah Sr ani v kalcitických vápencích/mramorech nepřesahuje 300 ppm. Velmi podobná situace je zřejmá i v metamorfovaných ostrovech a na Rožmitálsku, odkud však existuje jen velmi málo kvantitativních stanovení Sr; nové analýzy dvou vzorků čistých mramorů z lomu Skoupý (sedlčansko-kránsnohorský ostrov) ukázaly obsahy Sr 212 a 233 ppm (autor a P. RAJLICH, nepublikovaná data), podobné jsou i výsledky KOŠLERA (1988). Průměrné hodnoty a mediány z některých souborů jsou v tab. 1.

Také v rakouských mramorech pestré skupiny zkoumaných FRANKEM et al. (1990) jsou obsahy Sr vysoké a dosahují až 1723 ppm.

Ne všechny moldanubické mramory chudší Sr jsou dolomitizované; ztráta stroncia však zdaleka nemusí být spojena jen s dolomitizací. Dokazují to např. práce VEIZERA et al. (1989 aj.), v nichž byl použit jako indikátor chemické alterace karbonátů zvýšený obsah Mn, který však byl stanoven s mnohem větší citlivostí než v LD. Existence ostře oddělených geneticky rozdílných skupin mramorů v moldanubiku, lišících se hypotetickými původními obsahy Sr, je nepravděpodobná také kvůli prostorovému sepětí kalcitických mramorů bohatých a chudých Sr. Pokud však nabohacení Sr bylo skutečně způsobeno vysokou teplotou, lze předpokládat, že ve větší hloubce s chladnější vodou (pokud byla nejteplejší voda u hladiny, stejně jako v současnosti) sedimentovaly vápence stronciem chudší, což by umožnilo velké rozdíly v primárním obsahu Sr i na krátké vzdálenosti.



Obr. 1 – Vztah mezi MgO a Sr v mramorech strážeckého a moravského moldanubika (podle dat: NOVÁK, 1987; HOUZAR, 2004).

Fig. 1 – MgO-Sr relation in marbles of the Strážek Moldanubicum and the Moravian Moldanubicum (data of HOUZAR, 2004; NOVÁK, 1987).

## Stronciová stratigrafie – úvod

Na základě zjištění, že poměr izotopů  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v oceánské vodě je velmi homogenní (protože doba setrvání stroncia v mořské vodě je o tři řády delší než doba promísení světového oceánu), byla sestavena křivka vývoje globálního izotopového složení Sr v mořských sedimentech (PETERMAN et al., 1970). V současnosti je poměr

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v mořské vodě přibližně 0,7090; jde o nejvyšší hodnotu od kambria (BURKE et al., 1982; VEIZER et al., 1997). Ve fanerozoiku „standartní“ poměr neklesl pod 0,7067-0,7068 (VEIZER et al., 1997).

Před středním kambriem dosud nebyla jednotná křivka sestavena, protože je málo spolehlivých chronologických dat. Hodnoty nižší než 0,7067 lze však někdy použít pro odhad minimálního stáří (SHIELDS & VEIZER, 2002). Podle takto sestavené „hrubé“ křivky izotopů Sr stoupl poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  z 0,701 před 2,7 Ga téměř na 0,705 před 1,8 Ga, poté stagnoval až přibližně do 1,2 Ga, kolem jedné miliardy let před současností překročil 0,705 a brzy začal rychle stoupat zřejmě až do kambria. Za předpokladu, že časová variabilita poměru  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v oceánech byla v prekambriu srovnatelná s fanerozoikem, rekonstrukce přesného vývoje izotopů Sr v prekambriickém oceánu v blízké době není reálná.

Při alteraci zpravidla dochází ke zvýšení poměru  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (např. VEIZER et al., 1989, 1997). Ztráta části stroncia v minulosti sice sama o sobě v současnosti měřený poměr izotopů neovlivňuje (pokud má vápenc zanedbatelný obsah Rb, což neplatí vždy), většinou je však zároveň přineseno menší množství Sr z okolních hornin. VEIZER et al. (1989) a SHIELDS & VEIZER (2002) ukazují značnou proměnlivost poměrů  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  v archaických i proterozoických karbonátech, která je z velké části způsobena právě pozdějšími alteracemi.

## Izotopy Sr v moldanubických mramorech

FRANK et al. (1990) zkoumali izotopy Sr v mramorech JV části moldanubika na rakouském území. Celkem 15 vzorků (které tvoří většinu vzorků čistších mramorů) z celkem 4 ze 7 zkoumaných lokalit mělo poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  nižší než 0,7065 (až 0,70545), což jsou hodnoty jednoznačně nižší než „standartní“ poměr kdykoliv ve fanerozoiku (BURKE et al., 1982; VEIZER et al., 1997).

Nízké poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  kolem 0,7060 byly zjištěny i v některých vápencích na jižní Moravě, z nichž část patří do moldanubika a část do moravika (W. Frank, os. sdělení).

Později uvádí FRANK (1994) nízké poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (kolem 0,706) i z mramorů pestré skupiny poblíž Řezna. Poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  kolem 0,7060 byly původně interpretovány jako doklad o stáří minimálně 800-900 Ma. Novější data ukazují, že tento poměr by mohl odpovídat i menšímu stáří, až 750-700 Ma (SHIELDS & VEIZER, 2002). Poměr izotopů stroncia se samozřejmě mohl změnit, a jak již bylo zmíněno, zpravidla se při pronikání fluid do vápenců zvyšuje. To je i případ moldanubických mramorů, protože okolní pararuly nejenže mají výrazně vyšší poměr v současnosti, ale měly ho vyšší už při variské metamorfóze (FRANK et al., 1990).

Z mramorů na území Čech izotopy Sr až na jedinou výjimku nebyly měřeny. Tou výjimkou jsou níže diskutované mramory z Bližné v Pošumaví, z nichž jsou poměry izotopů Sr kvůli silné hydrotermální alteraci nepoužitelné pro interpretaci sedimentárních podmínek.

## PRVKY VZÁCNÝCH ZEMIN (REE)

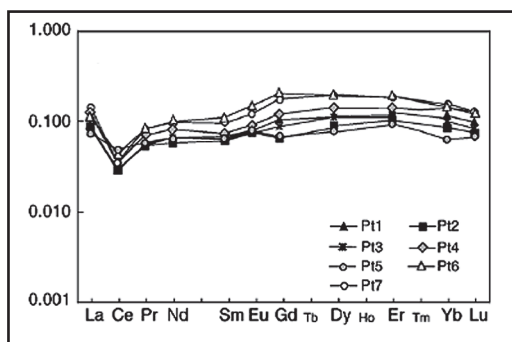
### Význam cerové anomálie ve vápencích a chemogenních sedimentech

Problematiku podrobněji shrnuje PROCHÁZKA (2007). Při zvětrávání dochází k oxidaci ceru  $\text{Ce}^{\text{III}}$  na  $\text{Ce}^{\text{IV}}$ , který je ve srovnání s trojmocnými vzácnými zeminami ve vodě (v běžném rozsahu chemického složení přírodních vod) nerozpustný. Z těchto důvodů má povrchová voda negativní anomálii Ce, která je zachována i v mořské vodě a ve většině mořských sedimentů bez velké klastické příměsi – tedy především ve vápencích (MASUDA & IKEUCHI, 1979; ELDERFIELD & GREAVES, 1982), obr. 2.

V době redukční atmosféry v archaiku však nedocházelo k oxidaci  $\text{Ce}^{\text{III}}$  (aspoň ve významnějším množství) a anomálie Ce neexistovala; prokazatelné primární negativní cerové anomálie v sedimentech se rozšířily nejspíše během raného proterozoika, snad před 2,2-2,4 miliardami let (BAU & DULSKI, 1996). Z dlouhých období v proterozoiku neexistují žádná data, nicméně ve svrchním proterozoiku i fanerozoiku jsou negativní anomálie Ce normální a jejich nepřítomnost

Obr. 2 – Obsahy REE v jurských útesových vápencích (Plettenberg, Německo) normalizované k břidlicím, s patrnou negativní anomálií Ce a pozitivní anomálií La. Převezato z OLIVIER & BOYET, 2006.

Fig. 2 – Shale-normalized REE abundances in Jurassic reef limestones (Plettenberg, Germany) with apparent negative Ce-anomaly and positive La-anomaly. Taken from OLIVIER & BOYET, 2006.



indikuje anoxické eventy, například na konci permu (DOLENEC et al., 2001). Cerová anomálie může být velmi zeslabena i v recentních anoxických vodách, např. v Černém moři (GERMAN et al., 1991). Negativní cerovou anomálii lze definovat (podobně jako europiovou anomálii) jako hodnotu  $Ce/Ce^* < 1$ , přičemž hodnota  $Ce^*$  se získá interpolací mezi normalizovanými obsahy (nejčastěji podle chondritů nebo „standardní“ břidlice) La a Nd, Pr nebo Sm. Vzhledem ke komplikacím jako je tetradový efekt a pozitivní anomálie La (obr. 2) lze považovat za prokazatelnou cerovou anomálii až hodnoty  $Ce/Ce^*$  systematicky nižší než přibližně 0,65 (BAU & DULSKI, 1996).

## Distribuce REE v karbonátech moldanubika a dalších jednotek Českého masívu

Vzhledem k nižší přesnosti analýz způsobené nízkými obsahy REE jsou pro interpretace použitelné jen průměrné hodnoty, do nichž bylo zahrnuto kromě LD také menší množství dat existujících v dalších zdrojích (SOUČKOVÁ, 1989; NOVÁK, 1987; HOUZAR, 2004). Dostatečně často mez detekce překročily jen La, Ce a Eu, což neumožňuje vyčíslení hodnoty  $Ce/Ce^*$ . Hodnoty nižší než detekční limit byly nahrazeny 2/3 d.l. Vzorčky, které měly pod mezí detekce La i Ce, byly ze zpracování vyřazeny.

I přes tato omezení je zřejmé, že čisté vápence Barrandienu mají podstatně nižší poměry Ce/La, Ce/Eu i Ce/Y (tab. 1), a jejich distribuce REE je těžko vysvětlitelná bez výrazné negativní cerové anomálie. Naproti tomu moldanubické mramory mají anomálii Ce neprokazatelnou; nelze vyloučit výskyt slabých cerových anomálií ( $Ce/Ce^* = 0,5-0,7$ ), které jsou typické spíše pro většinu proterozoika (kromě raného) než pro fanerozoikum (PROCHÁZKA 2007).

Negativní cerová anomálie odrážející složení mořské vody byla zjištěna i v barrandienském proterozoiku (JOHAN et al. 1995). Také čistší vápence barrandienského proterozoika analyzované DRÁBKEM & POUBOU (2000) nejspíše slabou negativní cerovou anomálii mají, vzhledem ke koncentracím blízko detekčních limitů ji však nelze považovat za průkaznou.

Také v metamorfovaném paleozoiku a proterozoiku jsou cerové anomálie sporné, i když se systematicky vyskytují v oblasti Prachovic (chrudimské st. paleozoikum). Přesto jsou poměry Ce/La, Ce/Eu i Ce/Y průměrně zřetelně nižší než v moldanubiku (PROCHÁZKA 2007). Také ve dvou nejčistších analyzovaných vzorcích vápenců metamorfovaných ostrovů (KOŠLER, 1988) je zřejmá výrazná negativní anomálie Ce. Data z některých oblastí jsou v tab. 1.

Při hodnocení distribuce REE v horninách metamorfovaných tak silně jako moldanubikum je samozřejmě nutné vzít v úvahu značnou nejistotu, kterou představují potenciální chemické změny při metamorfóze. Ani v obecně málo propustných vápencích nelze mobilitu žádného prvku považovat za zanedbatelnou, zvláště tam, kde dochází k tlakovému rozpouštění a rekrystalizaci vápence na dislokacích (PILI et al. 2001). Od vyšší amfibolitové facie je pohyb REE nesporný, otázkou však zůstává vzdálenost, na kterou mohou migrovat (GRAUCH 1990).

Zásadní význam však má v případě moldanubika rozdíl mezi mobilitou Sr a REE. Stroncium je mobilnější jak v obecném případě (BURKOV & RUNDQUIST 1979), tak i ve vápencích (PILI et al. 2001). Zatímco již samotná dolomitizace vždy sníží obsahy Sr, často na několikanásobně nižší úroveň, REE pouhou dolomitizací nemusí být vůbec ovlivněny, což bylo potvrzeno i experimentálně (MIURA & KAWABE 2000).

		Moldanubi- kum všechny „čistě“	Moldanubi- kum jen kalcitické	Silur Barrandienu	Devon Barrandienu	Západo- sudetská oblast	Chrudimské st.paleo- zoikum
Počet vzorků		23 (Sr) / 27(La-Y)	6	11	24	8	6
ppm Sr	průměr	322,6	598	343,6	309,0	187	184,3
	medián	141,5	488	277	278,5	192,5	170,5
100x vápeneč/ PAAS	La	4,55	4,04	8,33	12,7	4,58	7,85
	Ce	3,86	3,57	5,71	5,57	4,40	4,61
	Eu	7,37	7,36	17,8	19,4	8,76	<9,3
	Y	15,9	16,0	23,2	28,2	19,1	34,0

**Tab.1** Průměrné obsahy Sr, REE a Y v čistších karbonátech moldanubika, Barrandienu a některých jednotkách metamorfovaného paleozoika. REE a Y normalizované k břidlici PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985). Jako „kalcitické mramory“ byly z moldanubických vyčleněny jen ty, u nichž je k dispozici silikátová analýza s výsledkem < 5 % MgO (vzhledem k bimodálnímu rozdělení obsahů Mg na přesné mezní hodnotě mnoho nezáleží). Ze zpracovaných vzorků Barrandienu a chrudimského paleozoika není dolomitizován žádný z těch, v nichž byly hlavní prvky stanoveny. Zdroje dat: ČADKOVÁ et al. (1985), ČADKOVÁ (1989), NOVÁK (1987), SOUČKOVÁ (1989), HOUZAR (2004).

**Tab. 1** Mean contents of Sr, REE and Y in pure carbonates of Moldanubicum, Barrandian and metamorphosed lower Paleozoic of Lugaicum and the Chrudim area. REE and Y normalized to PAAS (TAYLOR & MCLENNAN 1985). From Moldanubian marbles, all silicate-poor samples and their subset of certainly calcitic marbles (only those verified by silicate analyzes as containing < 5 % MgO; the discrimination value is unimportant for the selection due to leap character of dolomitization) are presented separately. From Barrandian and Chrudim Paleozoic, none of those samples used here for which silicate analyzes exist is dolomitized. Data sources: ČADKOVÁ et al. (1985), ČADKOVÁ (1989), NOVÁK (1987), SOUČKOVÁ (1989), HOUZAR (2004).

Proto je možné konstatovat, že obsahy Sr v moldanubických mramorech byly při metamorfóze většinou výrazně sníženy. Naproti tomu nelze zatím rozhodnout, zda byly metamorfózou významně ovlivněny i poměry prvků vzácných zemin. Možnost, že by jak chybějící výrazná cerová anomálie, tak i nižší obsahy Sr reprezentovaly původní složení, je nepravděpodobná také z toho důvodu, že tato kombinace by znamenala sedimentaci ve velmi zvláštních podmínkách.

## Diskuse

Interpretace chemismu moldanubických mramorů jako jednoho z argumentů pro vyšší než paleozoické, možná i spodnoproterozoické stáří pestré skupiny byla přednesena autorem na

geochemickém semináři ÚGMNZ 24. 10. 2006. Proti významu vysokých obsahů Sr a jeho izotopového složení v mnohých mramorech byly vzneseny hlavně tyto námitky (V. JANOUSEK, S. VRÁNA, M. RENÉ):

- 1) vápence mohly sedimentovat v prostředí odděleném od světového oceánu,
- 2) vysoké obsahy Sr a případně i nízké poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  mohly být způsobeny vulkanickou příměsí, např. v Bližné.

Izolovanost sedimentačního prostředí většiny lokalit mramorů, z nichž byly analyzovány izotopy, je nepravděpodobná, protože se vyskytují na značném území – zatím byly zjištěny na Moravě, v Rakousku i Bavorsku. V podstatě by tak musel být izolován celý sedimentační prostor pestré skupiny o rozměrech min. 100 x 200 km. Zvláště rozporuplně působí takovýto argument od zastánců teorie teránové stavby Českého masívu, podle níž měl být dnešní Český masív před variským vrásněním tvořen několika „mikrokontinenty“ oddělenými oceánským dnem, přičemž rozměry těchto mikrokontinentů mohly dosahovat jen prvních stovek km – což je s těžší slučitelné s představou, že by na nich existovaly stokilometrové téměř izolované zálivy. Navíc by v takovém případě mělo být izotopové složení vody značně ovlivněno okolní pevninou, která by již ve starším paleozoiku s velkou pravděpodobností měla vyšší poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ .

Také v Barrandienu – přinejmenším na hranici siluru a devonu – poměry izotopů Sr ve vápenci odpovídají tehdejší „standartní“ mořské vodě (FRÝDA & VOKURKA 1997).

DRÁBEK et al. (1999) analyzovali mramory z Bližné v Pošumaví s mineralizací Mo-Nb-Th-REE, rovněž s vysokými obsahy Sr, Zn, Pb, Cu. Tyto mramory tvoří jednu polohu (není jisté, zda jde o původní vrstvu) pod grafitovým ložiskem. Vysoké obsahy REE v mineralizovaném („karbonatitům podobném“) mramoru jsou soustředěny především v betafitu (což bylo potvrzeno jeho analýzou na mikrosondě), a jsou charakteristické nabohacením lehčími středními zeminami. Tyto horniny pravděpodobně nemají anomálii Eu ani Ce. Vysoký obsah REE a Y, Nb, Mo, Zr v mineralizovaném mramoru má být podle autorů způsoben obsahem materiálu (snad přineseného větrem?) z alkalických vulkanitů nebo karbonatitů.

Rovněž HOUZAR & NOVÁK (2002) zmiňují „karbonatitům podobné“ mramory, vyskytující se ovšem opět jen v tenkých polohách (centimetrových až decimetrových mocností) v tělesech obyčejných mramorů, z Muckova u Č. Krumlova a tří lokalit na jz. Moravě. Dva z pěti vzorků, z nichž jsou v článku uvedeny celé analýzy, jsou nejen dolomitizované, ale i zjevně prokřemenělé. Nevelká, ale jednoznačná negativní europiová anomálie (vůči chondritům) odlišuje „karbonatitům podobné“ mramory popisované HOUZAREM & NOVÁKEM (2002) od karbonatitů (LE BAS et al. 2004 aj.) a naopak je plně srovnatelná s obyčejnými mramory bez větší klastické příměsí. Také mramory z Bližné se distribucí REE s maximem přibližně od Sm k Nd liší od karbonatitů, jejichž normalizované obsahy klesají od La k Lu (LE BAS et al., 2004 aj.). Dalším výrazným rozdílem oproti většině karbonatitů jsou nízké obsahy fosforu: v analýzách uvedených HOUZAREM & NOVÁKEM (2002) je obsah  $\text{P}_2\text{O}_5$  do 0,05 %. Podle shrnutí GITTINSE et al. (2005) mají 3/4 z přibližně 350 vzorků karbonatitů více než 0,5 %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , přičemž až 4 %  $\text{P}_2\text{O}_5$  není nic výjimečného (pozn.: DRÁBEK et al. 1999 obsahy P neuvádějí, z mineralogického složení hornin je však zřejmé, že nemohou být vysoké).

Byla by to více než podezřelá shoda náhod, kdyby klastika pocházející z karbonatitového vulkanismu byla v celé pestré skupině soustředěna právě ve vápencích. Reálnějším vysvětlením je proto hydrotermální obohacení o příslušné prvky, přestože některé z nich – zvláště Zr – jsou zpravidla málo mobilní. HOUZAR et al. (2006) dokumentují menší polohy skarnů v nedvědkých mramorech (svratecké krystalinikum), které byly fluidy obohaceny mj. i o zirkonium (až na 520 ppm Zr ve vesuvian-wollastonitových skarnech, do 428 ppm Zr v diopsid až grosulár-diopsidových skarnoidech), stejně jako o Sn, Nb. Jde o názornou ukázkou mobility Zr ve fluidní fázi v praxi. Molybdenit je v Bližné poměrně mladý (o čemž svědčí dobře omezené krystaly) a je doprovázen dalšími nesporně hydrotermálními sulfidy (galenit, sfalerit, chalkopyrit) (DRÁBEK & STEIN 2003 aj.).

Metasomatický vznik karbonatitům podobných hornin ve vápencích není žádnou zvláštností Českého masívu. V některých žilných karbonatitech i metasedimentárních mramorech z Mongolska a Jemenu (CHAO et al. 1997; LE BAS et al. 2004) došlo k pozdějšímu hydrotermálnímu obohacení o Sr, Nb, Th a REE (+Ba, Fe) na koncentrace ještě vyšší než v běžných karbonatitech. Argumentem proti metasomatickému obohacení mramorů z Bližné o některé prvky je podle DRÁBK A et al. (1999) i) jejich výskyt v plošně poměrně rozsáhlé „vrstvě“, ii) rozdílné izotopické složení Sr oproti okolním mramorům. ad i) HOUZAR et al. (2006) dokumentovali nehomogenní postup skarnizace v nedvědeckých mramorech, který často využívá jako diskontinuitu pro šíření fluid i hranici vrstev. Ostatně k obohacení o sulfidy Fe, Zn, Cu v „karbonatitům podobných“ mramorech v Bližné, byť v tenké „vrstvě“, také muselo dojít hydrotermálně. ad ii) nebylo stanoveno Rb, přestože z dat HOUZARA (2004) je patrné, že obsahy Rb až v desítkách ppm nejsou v mramorech (i bez velké klastické příměsi) nijak výjimečné. Protože jedním z prvků hydrotermálně přinesených do „karbonatitům podobných“ mramorů bylo i stroncium, je možné, že mají výrazně nižší poměr Rb/Sr, což by vysvětlilo i nižší měřený poměr  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ . Kromě toho DRÁBEK et al. (1999) uvádějí rozdílné iniciální poměry izotopů Nd (vypočítané pro 450 Ma, což je blízko později zjištěnému stáří molybdenitu 495 Ma – DRÁBEK & STEIN 2003) v „karbonatitům podobném“ mramoru a v betafitu z téhož mramoru, což je silným argumentem pro hydrotermální přínos alespoň části Nd, který je mnohem méně mobilní než Sr.

Amfibolity v Českokrumlovské pestré skupině odpovídají spíše tholeiitickým bazaltům (PATOČKA 1991) a nikoliv alkalickým, které by měly doprovázet případné karbonatity.

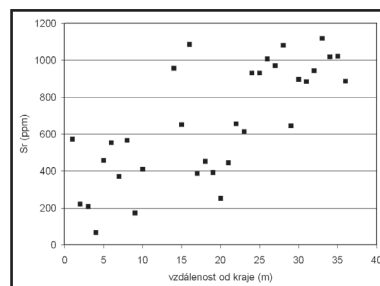
Vulkanismus ovšem může přispět k vysokým obsahům Sr i nepřímo – zvýšenou teplotou vody. To je zřejmě případ relativně čistších vápenců z proterozoika Barrandienu. Z 19 provedených analýz (DRÁBEK & POUBA 2000) jsou jen tři poměrně čisté vápence (nerozpustný podíl <5 %). V nich jsou obsahy Sr přepočtené na karbonátový podíl 200, 830 a 310 ppm, zatímco v méně čistých vápencích se pohybují v rozmezí 49 – 2600 ppm. Vazba těchto karbonátů na bazaltické vulkanity je ovšem tak těsná, že jejich situaci nelze srovnávat s moldanubickými.

Že vysoký obsah Sr v moldanubických mramorech je téměř vždy primární a nejde o vliv žádné pozdější alterace nebo snad dokonce vulkanické příměsi, dokazují nejlépe geochemické profily na grafitovém ložisku Městský vrch u Č. Krumlova (JÍŘELE 1983). Z celkem 37 analýz krystalických vápenců je zřejmé, že obsahy Sr jsou výrazně nižší v tenkých vrstvách a blízko hranic s jinými horninami (obr. 3); v žádné z dalších zastoupených hornin (včetně amfibolitů a erlánů) obsah Sr nedosahuje hodnot srovnatelných s vnitřními částmi mocnějších vrstev mramorů, které se pohybují od 613 do 1118 ppm.

Podobně FRANK et al. (1990) dokumentovali zvýšení poměru  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , nejspíše druhotné, na okrajích vrstev mramorů; podle těchto autorů je difúzní zóna méně mocná, nejvýše první decimetry.

**Obr. 3 – Vztah mezi koncentrací Sr v mramorech z Městského vrchu a přibližnou vzdáleností vzorkovaných bodů od okraje vrstvy mramoru ve směru štoly (zdroj dat: JÍŘELE 1983).**

**Fig. 3 – Sr concentration in marbles of the Městský vrch (near Č. Krumlov) as related to approximate distance from the rim of the marble layer in the direction of the gallery (data source: JÍŘELE 1983).**





## Závěr

Z porovnání stopových prvků v karbonátech moldanubika a Barrandienu vyplývají významné rozdíly:

1. vyšší obsahy Sr v moldanubických mramorech (kromě dolomitizovaných),
2. vyšší hodnoty Ce/Ce\* a nepřítomnost prokazatelné cerové anomálie v moldanubických mramorech.

I přes komplikovanost chemických změn při metamorfóze jsou reálné jen tyto dvě možnosti interpretace:

a) většina moldanubických krystalických vápenců měla původně výrazně vyšší obsahy Sr (a nižší poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) a v mělkovodních faciích mohly být i tvořeny jen aragonitem; původní poměry vzácných zemin zůstaly víceméně zachovány. Tato varianta by znamenala sedimentaci v raném proterozoiku.

b) v moldanubických vápencích byly druhotně nejen výrazně sníženy obsahy Sr (a zvýšeny poměry  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ), ale také změněny poměry vzácných zemin, takže původní vápence mohly mít cerovou anomálii. To by nejlépe odpovídalo sedimentaci ve středním proterozoiku.

Odhad stáří mramorů podle uvedených geochemických vlastností je vždy založen na nepřímých důkazech. Nicméně byly prokázány primární rozdíly ve složení vápenců moldanubika a paleozoika Barrandienu. Není nepravděpodobné, že výzkum stopových prvků a izotopů Sr ve vápencích metamorfovaných ostrovů by mohl jakékoliv časoprostorové srovnávání pestré skupiny moldanubika s Barrandiensem definitivně ukončit.

## Zusammenfassung

Untersucht wurden die verfügbaren geochemischen Daten (vorwiegend aus der lithochemischen Datenbank des CGS) für detritus-arme Karbonate. Es bestehen bedeutende Unterschiede zwischen dem Unteren Paläozoikum des Barrandiums (Mittelböhmen) und der Bunten Serie des Moldanubikums, die nicht mit späteren Umwandlungen erklärt werden können. Die nicht dolomitisierten moldanubischen Marmore enthalten meist deutlich mehr Sr als die Kalksteine des Barrandiums (Tab. 1), wobei die höchsten Sr-Gehalte innerhalb der Marmorschichten auftreten (Fig. 3). Dies deutet auf ein anderes Sedimentationsmilieu der moldanubischen Marmore im Vergleich zu den Kalksteinen des Barrandiums hin (Sprudelsteinkristallisation in wärmerem Wasser?). Die niedrigen  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  Isotopenverhältnisse dieser reinen Marmore von etwa 0,7060 (FRANK et al. 1990) sind unbeeinflusst von vulkanischen Detritus und unterscheiden sich von denen des paläozoischen Ozeans. Die Kalksteine des Barrandiums zeigen im Gegensatz zu den moldanubischen Karbonaten starke negative Cer-Anomalien. Aufgrund der grösseren Mobilität des Sr im Vergleich zu den Selten-Erden ist es unreal, dass die moldanubischen Marmore ursprünglich einen Chemismus hatten, der der Zusammensetzung typischer paläozoischer Kalksteine (nicht nur des Barrandiums) entsprach, die stark negative Cer-Anomalien und Sr-Gehalte nicht grössere als 1500 ppm aufweisen. Diese Tatsachen ausschliessen ein paläozoisches Alter der Bunten Serie und deuten eher auf ein proterozoisches Alter des Protoliths.

## Literatura

- BAU M. & DULSKI P., 1996: Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. – *Precambrian Research* 79, 37–55.
- BURKE W. H., DENISON R. E., HETHERINGTON E. A., KOEPNICK R. B., NELSON H. F. & OTTO J. B., 1982: Variations of seawater  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  through Phanerozoic time. – *Geology* 10, 516-519.

- BURKOV J. K. & RUNDQUIST D.V., 1979: Ore Element Accumulation in the Earth's Crust Evolution. In Ahrens L.H. (1979): Origin and Distribution of the Elements. – Pergamon Press Oxford, New York, pp. 565-573.
- ČADKOVÁ Z., 1989: Katalog geochemických dat základní regionální sítě – sedimenty. – MS ÚÚG, archiv ČGS, Praha.
- ČADKOVÁ Z., JAKEŠ P., HAKOVÁ M. & MRÁZEK P., 1985: Katalog geochemických dat základní regionální sítě. – MS ÚÚG, archiv ČGS, Praha.
- DOLENEC T., LOJEN S. & RAMOVŠ A., 2001: The Permian–Triassic boundary in Western Slovenia (Idrijca Valley section): magnetostratigraphy, stable isotopes, and elemental variations. – *Chem. Geol.* 175, 175-190.
- DRÁBEK M. & POUBA Z., 2000: Geochemistry of Neoproterozoic calcareous rocks from the Barrandian (Czech Republic). – *Věstník ČGÚ* 75/3, 265-270.
- DRÁBEK M. & STEIN H., 2003: The age of formation of a marble in the Moldanubian Varied Group, Bohemian massif, Czech Republic using Re-Os dating of molybdenite. – Mineral exploration and sustainable development, Eliopoulos et al. (eds), Proc. of the SGA meeting, Athens, 973-976.
- DRÁBEK M., FRÝDA J. & JANOUŠEK V., 1999: Regionally metamorphosed carbonatite-like marbles from the Varied Group, Moldanubian Unit, Bohemian Massif, Czech Republic, and their Mo-Th-Nb-REE mineralization. – Proc. 5. biennial SGA meeting and 10. quadrennial IAGOD meeting, London, pp. 635-638.
- ELDERFIELD H. & GREAVES M.J., 1982: The rare earth elements in seawater. – *Nature* 296, 214-219.
- FRANK W., 1994: Geochronology and evolution of the south Bohemian Massif: a review. – *Mitt. Öst. Miner. Ges.* 139, 41-43.
- FRANK W., HAMMER S., POPP F., SCHARBERT S. & THÖNI M., 1990: Isotopengeologische Neuergebnisse zur Entwicklungsgeschichte der Böhmisches Masse proterozoische Gesteinsserien und variszische Hauptorogense. – *Österr. Beitr. Met. Geophys.* 1990/3, 185-228.
- FRIEDL G., FINGER F., PAQUETTE J.-L., QUADT A., MC NAUGHTON N.J. & FLETCHER I.R., 2004: Pre – Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U–Pb zircon ages. – *Int. J. Earth. Sci. (Geol. Rundsch.)* 93, 802-823.
- FRÝDA J., VOKURKA K., 1997: Izotopové složení stroncia silurské a devonské vody v pražské pánvi (Barrandien): studie stratotypu hranice silur-devon (Klonk u Suchomast). – *Zpr. Geol. Výzk. v Roce* 1996, 106-108.
- FUCHS G. & MATURA A., 1976: Zur Geologie des Kristallins der südlichen Böhmisches Masse. – *Jahrb. Geol. Bundesanst.* Wien 119, 1-43.
- GAO G., DWORKIN S.I., LAND L.S. & ELMORE R.D., 1996: Geochemistry of late Ordovician Viola limestone, Oklahoma: Implications for marine carbonate mineralogy and isotopic compositions. – *Journ. Geol.* 104/3: 359-367.
- GERMAN C. R., HOLLIDAY B. P. & ELDERFIELD H., 1991: Redox cycling of rare earth elements in the suboxic zone of the Black Sea. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 55, 3553-3558.
- GITTINS J., HARMER R. E. & BARKER D. S., 2005: The bimodal composition of carbonatites: Reality or misconception? – *Lithos* 85, 129-139.
- GRAUCH R.I., 1990: Rare Earth elements in metamorphic rocks. – In LIPIN B.R., MCKAY G.A. (eds.), Geochemistry and mineralogy of Rare Earth elements. *Reviews in mineralogy* 21, 201-225.
- HALL S. M. & VEIZER J., 1996: Geochemistry of Precambrian carbonates: VII. Belt supergroup, Montana and Idaho, USA. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 60/4, 667-677.
- HOUZAR S., 2004: Metamorfované karbonátové horniny v geologické stavbě a vývoji jihovýchodní části Českého masivu. – MS, Disertační práce, Ústav geol. Věd MU v Brně, 200 s.
- HOUZAR S. & NOVÁK M., 2002: Metacarbonates with carbonatite-like geochemical signature from variegated units of the Bohemian Massif, Czech Republic and their geological significance. – *J. Czech Geol. Soc.* 47/3-4, 103-109.
- HOUZAR S., NOVÁK M., DOLEŽALOVÁ H., HRAZDIL V. & PFEIFEROVÁ A., 2006: Přehled mineralogie, petrografie a geologie nedvědeckých mramorů, svratecké krystalinikum. – *Acta Mus. Morav., Sci geol.* 91, 3-77.
- CHAO E. C. T., BACK J. M., MINKIN J. A., TATSUMOTO M., WANG J., CONRAD J. E. & MCKEE J. H., 1997: The sedimentary carbonate-hosted Giant Bayan Obo REE-Fe-Nb ore deposit of hydrothermal origin. – *U.S. Geol. Surv. Bull.* 2143, 1-65.
- CHLUPÁČ I., 1992: The metamorphic Palaeozoic of the 'Islet Zone' as a possible connecting link between the Barrandian and the Moldanubicum. – Proc. 1st International Conference on the Bohemian Massif (ed. Z. KUKAL), 49-52.

- JANOŮŠEK V., VOKURKA K. & VRÁNA S., 1997: Izotopy stroncia a neodymu v amfibolech pestré skupiny moldanubika v okolí Chýnova (23-13 Tábor). – *Zpr. Geol. Výzk.* v roce 1996, 80-81.
- JENČEK V. & VAJNER V., 1968: Stratigraphy and relations of the groups in the Bohemian part of the Moldanubicum. – *Krystalinikum* 6, 105-123.
- JÍŘELE P., 1983: Distribuce vybraných stopových prvků v horninách jihočeských grafitových ložisek. – MS diplomová práce, PřF UK, Praha.
- JOHAN Z., JOHANOVÁ V., SCHARM B. & POUBA Z., 1995: Minéralogie et géochimie des terres rares et du chrome dans les cherts protérozoïques de Kokšín, République tchèque. – *Comp. R. Acad. Sci.* IIa, 321, 1127-1138.
- KNAUTH L.P., 2005: Temperature and salinity history of the Precambrian ocean: implications for the course of microbial evolution. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 219, 53-69.
- KOŠLER J., 1988: Geochemie metasedimentů vybraných oblastí středočeské ostrovní zóny. – MS diplomová práce, PřF UK Praha.
- LE BAS M.J., BA-BTTAT M.A.O., TAYLOR R.N., MILTON J.A., WINDLEY B.F. & EVINS P.M., 2004: The carbonatite-marble dykes of Abyan province, Yemen Republic: the mixing of mantle and crustal carbonate materials revealed by isotope and trace element analysis. – *Mineral. Petrol.* 82, 105-135.
- LIEW T. C. & HOFMANN A. W., 1988: Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian fold belt of central Europe: indications from a Nd and Sr isotopic study. – *Contrib. Min. Petrol.* 98, 129-138.
- MASUDA A. & IKEUCHI Y., 1979: Lanthanide tetrad effect observed in marine environment. – *Geochem. J.* 13, 19-22.
- MINGRAM P., KRÖNER A., HEGNER E. & KRENTZ O., 2004: Zircon ages, geochemistry, and Nd isotopic systematics of pre-Variscan orthogneisses from the Erzgebirge, Saxony (Germany), and geodynamic interpretation. – *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* 93, 706-727.
- MIURA N. & KAWABE I., 2000: Dolomitization of limestone with MgCl<sub>2</sub> solution at 150 degrees C: Preserved original signatures of rare earth elements and yttrium as marine limestone. – *Geochem. J.* 34/3: 223-227.
- NOVÁK M., 1987: Metamorfované karbonátové horniny při severovýchodním okraji moldanubika. – *Acta Mus. Morav., Sci. natur.* 72, 5-28.
- OLIVIER N. & BOYET M., 2006: Rare earth and trace elements of microbialites in Upper Jurassic coral- and sponge-microbialite reefs. – *Chem. Geol.* 230, 105-123.
- PACLTOVÁ B., 1980: Further micropaleontological data for the paleozoic age of Moldanubian carbonate rocks. – *Čas. Min. Geol.* 25/3, 275-279.
- PATOČKA F., 1991: Geochemistry and primary tectonic environment of the amphibolites from the Český Krumlov Varied Group (Bohemian Massif, Moldanubicum). – *Jb. Geol. Bundesanst.* 134, 117-133.
- PETERMAN Z. E., HEDGE C. E. & TOURTELOT H. A., 1970: Isotopic composition of strontium in seawater throughout the Phanerozoic. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 34, 105-120.
- PILI E., POITRASSON F., GRATIER J. P., 2001: Carbon-oxygen isotope and trace element constraints on how fluids percolate faulted limestones from the San Andreas Fault system: partitioning of fluid sources and pathways. – *Chem. Geol.* 190, 231-250.
- PROCHÁZKA V., 2007: ETR en marsédimentoj. – *Geol. Int.* 10/1, 43-62.
- RENÉ M., 2001: Geochemická charakteristika pararu uranového ložiska Okrouhlá Radouň. – *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz.* 9, 252-257.
- ROBERT F. & CHAUSSIDON M., 2006: A palaeotemperature curve for the Precambrian oceans based on silicon isotopes in cherts. – *Nature* 443, 969-972.
- SHIELDS G. & VEIZER J., 2002: Precambrian marine carbonate isotope database: version 1.1. – *Geochem. Geophys. Geosys.* 3, U1-U12.
- SOUČKOVÁ M., 1989: Litostratigrafie a geochemie hornin moldanubika v okolí Radomyšle (severně od Strakonice) a jejich vztah k scheelitové mineralizaci. – MS, diplomová práce, Přír. fak. UK v Praze.
- TAYLOR S.R. & MCLENNAN S.M., 1985: The continental crust: its composition and evolution. – Blackwell, Oxford, 312 s.
- TICHOMIROVA M., WHITEHOUSE M.J. & NASDALA L., 2005: Resorption, growth, solid state recrystallisation, and annealing of granulite facies zircon - a case study from the Central Erzgebirge, Bohemian Massif. – *Lithos* 82, 25-50.
- VEIZER J., HOEFS J., LOWE D.R. & THURSTON P.C., 1989: Geochemistry of Precambrian carbonates: II. Archean greenstone belts and Archean seawater. – *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 859-871.
- VEIZER J., BUHL D., DIENER A., EBNETH S., PODLAHA O.G., BRUCKSCHEN P., JASPER T., KORTE C., SCHAAF M., ALAD. & AZMY K., 1997: Strontium isotope stratigraphy: potential resolution and event correlation. – *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology* 132, 65-77.

*Adresa autora:* Václav PROCHÁZKA  
Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů,  
Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy  
Albertov 6  
CZ – 128 43 Praha 2  
e-mail: vprochaska@seznam.cz