

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	51	21–26	2011
-----------------------------------------------------	----	-------	------

Základní chemická charakterizace erlanů a mramorů sušicko-votické a českokrumlovské pestré jednotky moldanubika

Basic chemical characteristics of calc-silicate rocks and marbles of the Sušice-Votice and Český Krumlov Varied units of Moldanubicum

Václav PROCHÁZKA¹ & Zdeňka PETÁKOVÁ²

¹V Bažantnici 2636, Kladno, ²Česká geologická služba

Abstract. Prevalently archived whole-rock analyses of marbles, paragneisses, calc-silicate rocks and metavolcanics were evaluated to trace the original non-carbonate fraction of Ca-rich metasediments. The less mobile major components – Al_2O_3 and TiO_2 – show the same trend in all metasedimentary rocks and completely different from metavolcanics, which excludes a significant volcanic contamination. The majority of calc-silicate rocks (especially if not very thin layers are considered) is also relatively enriched in SiO_2 and their original detrital portion corresponds rather to quartzites/quartzite paragneisses. It follows that the protolith of the most typical calc-silicate rocks were highly porous sandy sediments with calcitic or weakly dolomitic cement. In the little porous (meta) pelites and (meta)carbonates (where also the interfacial area between calcite and silica/silicates was smaller), decarbonization was very limited which explains why contacts of paragneisses and marbles without macroscopic reaction textures are common.

Keywords: calc-silicate rocks, marbles, paragneisses, major elements, clastic fraction of the protolith, Moldanubicum, southern and south-western Bohemia.

Abstrakt. Byly vyhodnoceny převážně archivované chemické analýzy mramorů, pararul, erlanů a metavulkanitů za účelem odlišení původního nekarbonátového podílu metasedimentů bohatých Ca. Nejméně mobilní oxidy – Al_2O_3 a TiO_2 – vykazují ve všech metasedimentárních horninách stejný trend, výrazně odlišný od metavulkanitů, což vylučuje významnou vulkanickou kontaminaci. Většina erlanů (zvláště z mocnějších vrstev) se od ostatních metasedimentů liší relativně vysokým SiO_2 v klastickém podílu, který tak odpovídá spíše kvarcitům až kvarcitickým pararulám. Vysvětlením je, že typickým protolitem erlanů byly vysoce porézní písčité sedimenty s kalcitovým tmelem. V málo porézních (meta)pelitech a vápencích, kde byla také mnohem menší kontaktní plocha mezi kalcitem a křemenem/silikáty, byly dekarbonizační reakce velmi omezené, což vysvětluje, proč jsou zachovány i hranice pararul a mramorů bez makroskopických projevů reakcí.

Klíčová slova: erlany, mramory, pararuly, protolit, klastický podíl, moldanubikum, jižní a jihozápadní Čechy.

Úvod

Regionálně přeměněné horniny velmi bohaté silikáty Ca lze rozdělit na erlany (dříve též označované jako „pyroxenické ruly“ – viz HEJTMAN 1962) a skarny, které jsou podle vymezení BURIÁNKA et al. (in prep.) bohatší železem. Erlany jsou jednou z běžných vložkových hornin pestrých jednotek moldanubika, spolu s krystalickými vápenci, amfibolity a kvarcity. Např. v českokrumlovské pestré jednotce tvoří erlany asi 1,5 % vymapovaného území v měřítku 1:50 000 (KADOUNOVÁ 1987). Mocnost těles erlanů kolísá od více než 50 m po polohy milimetrových mocností (HEJTMAN 1962). Podle stratigrafického schématu moldanubika (JENČEK & VAJNER 1968) jsou erlany charakteristické pro nižší až střední části vrstevního sledu pestré jednotky, tato relativně atektonická představa stavby moldanubika však již nebyla později rozvíjena.

Zvláštností vápenatosilikátových hornin je značná odlišnost chemického složení od protolitu, neboť CaO obsažený nyní v silikátech (v erlanech hlavně diopsid, bazický plagioklas, případně aktinolit/tremolit, wollastonit aj.) byl při metamorfóze zřejmě uvolněn rozkladem kalcitu, případně dolomitu. Z toho vyplývá značný potenciál těchto hornin pro rekonstrukci metamorfního vývoje. V tomto příspěvku se zabýváme složením moldanubických erlanů převážně v jižních Čechách (českokrumlovská a sušicko-votická pestrá jednotka) ve vztahu k horninám, které je doprovázejí, a také složením klastické příměsi v mramorech. Cílem je co nejlépe vymezit protolit erlanů a porovnat klastický podíl v protolitu různých metasedimentů.

Použitá data a jejich zpracování

Byla zpracována především nepublikovaná data. Největším souborem je 120 analýz metasedimentů bohatých Ca ze sušické a českokrumlovské pestré jednotky (PRANTL et al. 1970). Bohužel většina těchto analýz nezahrnuje alkálie, přesto však analytické sumy v mramorech neklesají pod 96 % a v erlanech byla nejnižší suma 94,3 %. Dále byly použity analýzy mramorů a hornin označených jako erlany z českokrumlovské a sušicko-votické pestré jednotky v Litogeochemické databázi ČGS, soubory analýz různých hornin (pararuly, mramory, erlany, amfibolity) českokrumlovské pestré jednotky (FEDIUKOVÁ 1985, ČÍŽEK 1985, KODYMOVÁ 1985, KADOUNOVÁ 1987, ROMANOVÁ 1989) a sušicko-votické pestré jednotky (MACHART 1976, CHÁBOVÁ 1987, SOUČKOVÁ 1989, BRUNNEROVÁ et al. 1990). Pro srovnání nekarbonátového podílu s pararulami byly dále použity analýzy pararul až kvarcitických pararul z kaplické zóny (BROŽ 1987, TOJŠL 1987) a z jižního okolí Veselí nad Lužnicí (MATĚJKA 1988), a pro srovnání s amfibolity též data JANOUŠKA et al. (2008) (chýnovská a českokrumlovská pestrá jednotka).

Bylo vypočteno minimální množství CaO, které musí být v hornině v jiných než karbonátových minerálech, a to odečtením množství CaO, které by bylo v kalcitu za předpokladu, že by kalcit zahrnoval veškerý CO₂, od celkového obsahu CaO v hornině. Pokud nebyl stanoven CO₂, byla použita ztráta žíháním snižená o 0,5 % (nemnoho analýz mramorů a erlanů z Klatovska, kde byl současně stanoven CO₂ i ztráta žíháním – VÁŇA et al. 1996, ukazuje, že vyšší obsahy dalších těkavých složek lze očekávat jen výjimečně, což souhlasí i s většinou suchou minerální asociací erlanů). Jako „erlany“ byly dále zpracovávány všechny vzorky kromě amfibolitů, u nichž takto vypočtený obsah CaO přesáhl 10 % (pokud by bylo 10 % CaO v hornině soustředěno např. v diopsidu, zaujímal by asi 40 hmot. % horniny). Pojmenování metasedimentů tedy není vždy stejné jako podle původních autorů. Vybrané analýzy metasedimentů, klasifikovaných v souladu s uvedeným vymezením erlanů, jsou v tabulce 1.

Zaměřili jsme se na vybrané hlavní prvky, které jsou málo mobilní a nejsou obsaženy v karbonátovém podílu: Al, Ti a Si. Tyto prvky byly porovnány v erlanech, ostatních metasedimentech a v amfibolitech. Celkem bylo zpracováno 297 analýz metasedimentů a 21 amfibolitů. Protože analýzy

Tab. 1 – Reprezentativní silikátové analýzy metasedimentárních hornin.

Tab. 1 – Representative silicate analyses of metasedimentary rocks.

Hornina	Lokalita	Zdroj	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO
pararula	Vlkov	MATĚJKA 1988	63,15	0,76	15,43	1,65	4,23	0,13	2,52	3,05
grafitická pararula	Městský vrch (důl)	KADOUNOVÁ 1987	48,76	0,86	15,14	1,53	6,82	1,29	2,18	5,05
kvarcitická pararula	Votická pest. sk.	CHÁBOVÁ 1987	83,56	0,1	7,92	0,54	0,14	0,01	0,19	0,83
pararula bohatá Ca	Budějovice	BRUNNEROVÁ 1990	62,16	0,42	10,78	0,35	2,89	0,051	1,58	12,98
erlan	Výhořice	BRUNNEROVÁ 1990	49,14	0,16	2,61	0,2	1,22	0,041	1,58	40,64
erlan	Výhořička	BRUNNEROVÁ 1990	50,46	0,21	4,02	0,07	1,51	0,052	0,78	37,48
erlan s dolomitem	Prácheň	PRANTL 1970	31,54	0,07	3,15	1,56*			7,78	35,41
kalcitický mramor	Budějovice-Hůrčí	BRUNNEROVÁ 1990	2,15	0,01	1,51	0,15	0,05	0,039	1,11	51,44
kalcitický mramor	Nehodiv	PRANTL 1970	1,68	0,04	0,47	0,66*		0,01**	2,77	50,42
kalcitický mramor	Nezdice	PRANTL 1970	2,4	0,01	0,5	0,14*			0,79	52,48
nečistý calc. mramor	Radomyšl	PRANTL 1970	21,61	0,03	3,82	0,15*		0,01**	1,51	39,98
dolomitický mramor	Jaroškov	PRANTL 1970	0,96	0,04	0,35	0,86*		0,04	20,92	30,09

* Fe₂O₃tot, ** Mn

Tab. 1 – Pokračování.

Tab. 1 – Continued.

Hornina	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	C	H ₂ O ⁺	F	S	H ₂ O ⁻	ztr. žih.	suma
pararula	2,95	3,42	0,22	0,69		2,19			0,14		100,53
grafitická pararula	1,84	2,9	0,48	0,07	7,22	2,46		1,84	0,02		98,46
kvarcitická pararula	1,55	4,15	0,04					0,01	0,24	0,87	99,28
pararula bohatá Ca	2,15	1,7	0,13	3,75	0,18	1,07	0,11	0,02	0,01		100,28
erlan	0,04	0,15	0,09	3,18	0,02	0,94	0,06	0,03	0,2		100,27
erlan	0,99	0,75	0,07	2,3	0,05	0,29	0,05	0,1	0,1		99,24
erlan s dolomitem										18,54	98,05
kalcitický mramor	0,08	0,12	0,35	41,04	0,07	1,26	0,07	<0,01	0,03		99,45
kalcitický mramor	0,19	0,08								42,84	99,21
kalcitický mramor										42,04	98,36
nečistý calc. mramor	1	0,79								30,57	99,49
dolomitický mramor	0,07	0,03	0,057							45,63	99,06

* Fe₂O₃tot, ** Mn

PRANTLA et al. (1970) jsou většinou neúplné a jsou výrazně starší než většina ostatních a též díky tomu, že jde o tělesa větších mocností, jsou prezentovány zvlášť. Všechna zpracovaná data představují silikátové (ne karbonátové) analýzy.

Výsledky a interpretace

Až na velmi málo výjimek se všechny metasedimenty výrazně liší od amfibolitů nižším obsahem TiO_2 , resp. vyššími poměry Si/Ti a Al/Ti (obr. 1a–c v barevné příloze č. 3) (je třeba si uvědomit, že vzájemné poměry těchto prvků v nejčistších mramorech jsou zatíženy velkou chybou stanovení jak kvůli větší analytické nepřesnosti, tak i kvůli menší reprezentativnosti vzorků pro minerály v podružném množství). Vzhledem k tomu, že titan i hliník patří mezi nejméně mobilní prvky (a relativně – vzhledem k vysokým obsahům SiO_2 ve většině hornin – byla nepatrná i mobilita křemíku), lze tyto rozdíly považovat za důkaz, že přímý vliv vulkanismu na složení erlanů, ale pravděpodobně i mramorů byl většinou zanedbatelný.

Kromě toho se většina erlanů zkoumaných PRANTLEM et al. (1970) i část erlanů vzorkovaných dalšími autory liší od mramorů, pararul i amfibolitů vyšším poměrem Si/Al (obr. 1d v barevné příloze č. 3), některé se dokonce blíží čistému wollastonitu (např. u Výhořic – viz též BRUNNEROVÁ et al. 1990, VÁŇA et al. 1996). To by znamenalo zřejmě větší podíl písku na úkor jílu v původním sedimentu ve srovnání s mramory a tzv. břidličnými pararulami. Podobně má většina erlanů vyšší poměr Si / Ti (obr. 1b v barevné příloze č. 3). Jejich původní klastická příměs tedy zřejmě odpovídala tzv. drobovým (kompaktním) pararulám, které jsou bohatší SiO_2 (SUK 1962), až kvarcitům. To souhlasí s častým výskytem kvarcitických erlanů, které se nacházejí i např. v kaplické jednotce (BROŽ 1987, TOJŠL 1987). Oproti většině metasedimentů jsou erlany ochuzeny také o alkálie, ale ze stávajících dat nelze rozhodnout, jestli jde jen o důsledek vyššího obsahu křemene v protolitu, nebo mohlo dojít i ke ztrátě alkálií při metamorfóze.

Zatím nelze s jistotou soudit na žádný vztah chemického složení erlanů k jejich geologické situaci. Například vzorek ze všech zpracovaných analýz erlanů zřejmě nejvíce ovlivněný vulkanickou příměsí tvoří tenkou vložku v mramorech, naopak v erlanech tvořících jen tenké pásy v amfibolitech (KLÍMOVÁ 1980) není vulkanická příměs ze silikátové analýzy patrná.

Pokud jde o karbonátový podíl mramorů, nápadná je nespojitost mezi kalcitickými a dolomitickými mramory (obr. 2a v barevné příloze č. 3). Na bimodální rozdělení podílu dolomitu v mramorech upozorňovalo již mnoho autorů (např. JENČEK & VAJNER 1968).

Za zmínku též stojí, že ve zkoumané části moldanubika se nevyskytují metasedimenty bohaté silikáty Mg, jež by bylo možno interpretovat jako produkt dekarbonizace čistě dolomitických mramorů, což by se ve složení horniny projevilo vysokým obsahem MgO (až ~ 20 %) při relativně nízkém obsahu CO_2 (obr. 2b v barevné příloze č. 3). Přitom reakce dolomitu s křemenem a některými silikáty lze očekávat již od nižších teplot než je tomu u kalcitu. Vysvětlením zřejmě je, že pro vznik Mg-bohatých analogů erlanů chyběl vhodný protolit, protože téměř neexistují ani přechodné horniny mezi pararulami a dolomitickými mramory (obr. 2a, b v barevné příloze č. 3).

Získané výsledky umožňují nejen poměrně jednoduše objasnit látkovou výměnu při metamorfóze, ale také vysvětlit, proč erlany zdaleka nejsou systematicky vyvinuty na všech rozhraních mramorů a silikátových hornin. Nejvhodnějším protolitem pro vznik erlanů byly původně značně porézní písčité sedimenty s vápnitým až slabě dolomitickým tmelem. V těchto horninách byla mnohem větší kontaktní plocha, kde mohly probíhat reakce karbonátu s křemenem, případně i se silikáty. Navíc v raných stádiích metamorfózy se mohla projevit i pórovitost původního sedimentu, usnadňující únik CO_2 , což je základní podmínka pro významné uplatnění dekarbonizačních reakcí. Na dekarbonizaci

se zřejmě významně podílela fluida bohatá H₂O. Naproti tomu v převážně pelitických sedimentech a karbonátových horninách, které se střídaly ve vrstvách, byla styčná plocha pro reakci mnohem menší, a také CO₂ unikalo obtížněji (k čemuž přispěla i malá pórovitost a propustnost karbonátových hornin). Proto se zachovaly pararuly s kalcitem stejně jako nečisté mramory, a vložky mramorů v pararulách apod. bez makroskopických reakčních lemů.

Naše výsledky ukazují, že je vhodné důsledně rozlišovat mezi erlany jakožto horninami s podstatným množstvím silikátů Ca na jedné straně a nečistými mramory nebo pararulami s kalcitem na druhé straně, neboť tyto horniny se liší nejen nynějším minerálním i chemickým složením, ale velmi často také složením protolitu.

Diskuse a závěr

Vápenatosilikátové horniny v pojednávané části moldanubika nebyly podle našich informací systematicky zkoumány s výjimkou ložiskových průzkumů hornin bohatých wollastonitem na Klatovsku (VÁŇA et al. 1996). Některé výskyty byly označeny jako skarny vzhledem k předpokládané úloze kontaktní metamorfózy (KUŽVART 1992, ŠPAČEK et al. 1990). Tu sice v případě některých akumulací wollastonitu nevylučujeme, nicméně vzhledem k tomu, že jde o tělesa tvořící poměrně tenké a plošně rozsáhlé vrstvy (ŠPAČEK et al. 1990), je zřejmé, že složení původního sedimentu bylo i v tomto případě faktorem rozhodujícím o složení současné horniny.

K diskusí o látkové výměně při metamorfóze v moldanubiku lze dodat, že pro vznik erlanů není třeba uvažovat přínos Si ani Ca. Kromě toho se Al, Ti a snad i Si zdají být slibné pro bližší charakterizaci klastické příměsi i v nejčistších mramorech, a proto by bylo záhodno tyto prvky v karbonátových horninách stanovovat dostatečně citlivými metodami společně se stopovými prvky.

Poděkování

Práce vznikla s podporou VZ MZP 0002579801.

Literatura

- BROŽ B., 1987: Ověřování regionálních šlichových anomálií scheelitu, kassiteritu a zlata v okolí Vyššího Brodu. – Ms., 117 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- BRUNNEROVÁ Z., VLČKOVÁ L., DUŠEK K. & KADOUNOVÁ Z., 1990: Zemědělské karbonáty a bentonity Západočeského kraje. – Ms., 136 p. [Depon. in.: Čes. geol. služba, Praha]
- BURIÁNEK D., KONOPÁSEK J. & ŽÁČEK V. (in prep.): Zásady pojmenování a klasifikace metamorfovaných hornin. Příloha II-3. – In: HANŽL P. et al. (in prep.): Směrnice pro sestavení Základní geologické mapy České republiky 1 : 25 000. Metodické pokyny. Čes. geol. služba.
- ČÍŽEK J., 1985: Izotopické složení uhlíku grafitových ložisek Českého masívu. – Ms., 100 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- FEDIUKOVÁ E., 1985: Závěrečná zpráva o vrtu NV-1 Novosedly, okres Český Krumlov. – Ms., 26 p. [Depon. in.: Čes. geol. služba, Praha]
- HEJTMAN B., 1962: Petrografie metamorfovaných hornin. – ČSAV, Praha, 540 p.
- CHÁBOVÁ A., 1987: Strukturně geologické poměry moldanubika a středočeského plutonu východně od Votic. – Ms., 102 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- JANOŠEK V., VRÁNA S., ERBAN V., VOKURKA K. & DRÁBEK M., 2008: Metabasic rocks in the Varied Group of the Moldanubian Zone, southern Bohemia – their petrology, geochemical character and possible petrogenesis. – *Journal of Geosciences* 53: 31–46.

- JENČEK V. & VAJNER V., 1968: Stratigraphy and relations of the groups in the Bohemian part of the Moldanubicum. – *Krystalinikum* 6: 105–124.
- KADOUNOVÁ Z., 1987: Petrologický, petrochemický a strukturní výzkum ložiska grafitu Městský vrch a jeho vztah k horninám krumlovské pestré skupiny. – Ms., 134 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- KLÍMOVÁ J., 1980: Petrologie a geochemie amfibolitových hornin oblasti Strážov-Běšiny na Klatovsku. – Ms. 102 p. [Rigor. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- KODYMOVÁ A., 1985: Chemické rozbory vzorků z vrtů ČK-3 a MV-1 v Městském vrchu u Českého Krumlova. – Ms., 1 p. [Depon. in: Ústř. úst. geol., Praha]
- KUŽVART M. (red.), 1992: Ložiska nerudných surovin ČR II (nové poznatky za léta 1975–1990). – Karolinum, Praha, 631 p.
- MACHART J., 1976: Petrografie moldanubika na území severně od Strakonice. – Ms., 116 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- MATĚJKA D., 1988: Petrologicko-geochemický výzkum hornin moldanubika mezi Veselím n. Lužnicí a Vlko-
vem. – Ms., 75 p. [ÚGV UK, Praha]
- PRANTL F., CMUNTOVÁ M., ČTYROKÝ V. & ZELINKOVÁ Z., 1970: Závěrečná zpráva – Šumavské mramory – etapa průzkumu vyhledávací. – Ms., 76 p. [Čes. geol. služba – Geofond, Praha]
- ROMANOVÁ L., 1989: Střední část českokrumlovské pestré série a termometrie jejích metabazitů. – Ms., 69 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- SOUČKOVÁ M., 1989: Litostratigrafie a geochemie hornin moldanubika v okolí Radomyšle (severně od Strakonice) a jejich vztah k scheelitové mineralizaci. – Ms., 141 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- SUK M., 1962: Látková charakteristika procesů metamorfózy a migmatitizace pararul moldanubika ve středních Čechách. – Ms., 135 p. [Disert. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- ŠPAČEK K., RADIMSKÝ V., PERTOLDOVÁ J. & BUČEK T., 1990: Dílčí závěrečná zpráva Mochtín, surovina: wollastonit, etapa průzkumu vyhledávací. – Ms., 53 p. [Geoindustria, GMS a Čes. geol. služba – Geofond, Praha]
- TOJŠL P., 1987: Ověřování regionálních šlichových anomálií scheelitu, kassiteritu a zlata v okolí Rožmberka nad Vltavou. – Ms., 105 p. [Dipl. pr., depon. in: Přírodovědecká Fakulta UK, Praha]
- VÁŇA J., POTUŽÁK V., VÁŇA T., BRTNÁ M., JUNGBAUER M. & PERTOLDOVÁ J., 1996: Závěrečná zpráva úkolu Wollastonit II, surovina: wollastonit. Etapa průzkumu: vyhledávací. – Ms., 66 p. [Geoindustria, GMS a Čes. geol. služba – Geofond, Praha]

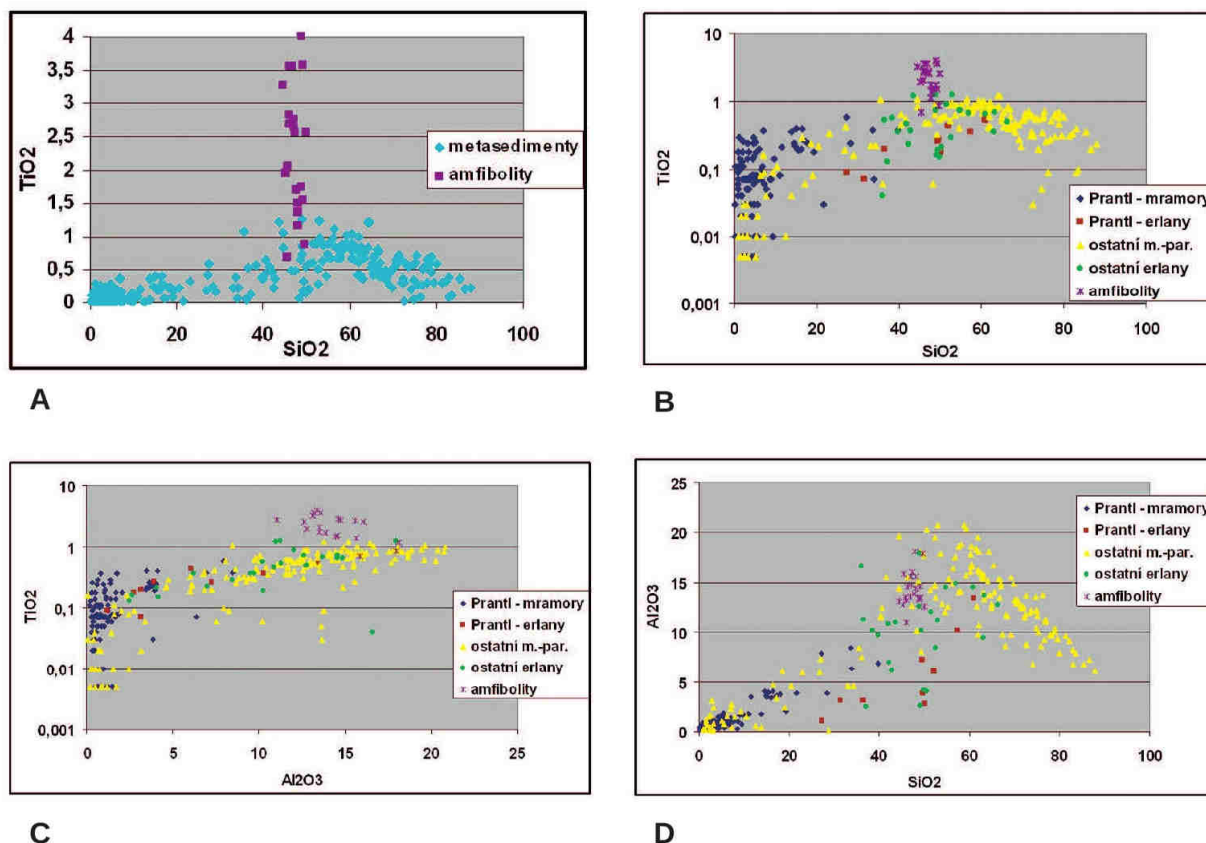
Adresy autorů:

Václav PROCHÁZKA
V Bažantnici 2636
CZ – 272 01 Kladno
e-mail: vprochaska@seznam.cz

Zdeňka PETÁKOVÁ
Česká geologická služba
Klárov 3
CZ – 118 21 Praha 1
e-mail: petakova@seznam.cz

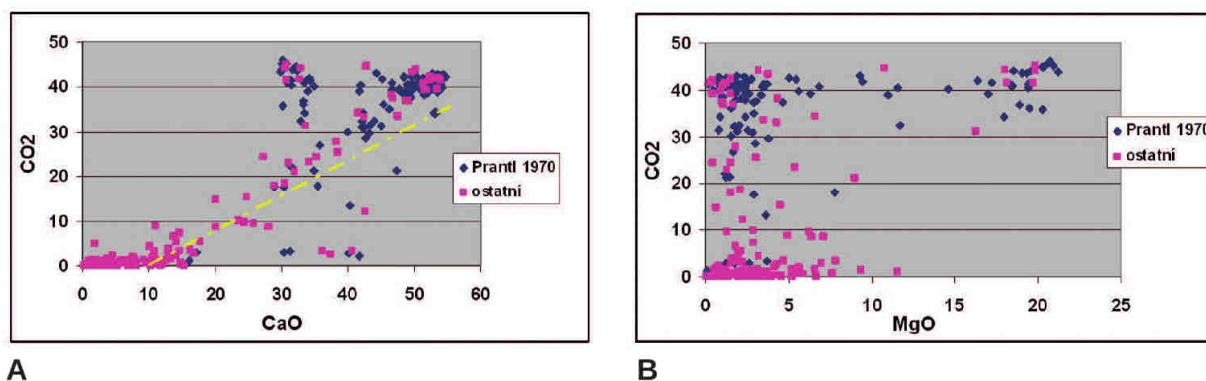
Došlo: 23. 5. 2011

Přijato: 27. 9. 2011



Obr. 1 – (a) Vztah SiO_2 a TiO_2 v metasedimentech a amfibolitech, (b) tentýž graf s logaritmickou škálou TiO_2 a s rozlišením metasedimentů na erlany a ostatní a na analýzy PRANTLA et al. (1970) a z ostatních zdrojů, (c) Al_2O_3 (lineární škála) a TiO_2 (logaritmická škála), (d) SiO_2 a Al_2O_3 .

Fig. 1 – (a) Plot of SiO_2 a TiO_2 in metasediments and amphibolites, (b) the same with logarithmic scale for TiO_2 and with discrimination of metasediments into calc-silicate rocks and others and into analyses of Prantl et al. (1970) and others, (c) the same for Al_2O_3 (linear scale) and TiO_2 (logarithmic scale), (d) SiO_2 and Al_2O_3 (linear scale).



Obr. 2 – (a) Vztah CaO a CO_2 v analyzovaných metasedimentech; erlany podle vymezení v tomto článku jsou vpravo dole od žlutě vyznačené linie, poměrně izolovanou skupinu tvoří dolomitické mramory (> 30 % CO_2 a cca 30–35 % CaO). (b) Vztah MgO a CO_2 v metasedimentech; dole paragneisy a erlany, vlevo nahoře kalcitické a vpravo nahoře dolomitické mramory.

Fig. 2 – (a) Plot of CaO and CO_2 in analyzed metasediments; calc-silicate rocks as defined in this paper are on the right and bottom from the yellow line. The dolomitic marbles form a relatively isolated group (> 30 % CO_2 and ca. 30–35 % CaO). (b) Plot of MgO and CO_2 in metasediments (bottom: paragneisses and calc-silicate rocks, upper left: calcitic marbles, upper right: dolomitic marbles). Note that there are no Mg-rich and CO_2 -poor metasediments as an analogue of the calc-silicate rocks.