

Magnezioriebeckit v červených silicitoch a bazaltoch z Jakloviec (jaklovská formácia meliatika) – indikátor iniciálneho štádia vysokotlakovej subdukčnej metamorfózy

PETER IVAN¹, ŠTEFAN MÉRES¹ a MILAN SÝKORA²

¹Katedra geochemie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; ivan@fns.uniba.sk, meres@fns.uniba.sk

²Katedra geológie a paleontológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava; sykora@fns.uniba.sk

Magnesioriebeckite in red cherts and basalts (Jaklovce Fm. of the Meliatic Unit, Western Carpathians): An indicator of initial stage of the high-pressure subduction metamorphism

In the Middle-Triassic red cherts and basalts, forming olistoliths in the Jurassic ophiolite mélange near village Jaklovce, thin veinlets of the blue sodic amphibole have been found. Sodic amphibole is compositionally close to magnesioriebeckite, less to riebeckite. The relatively low aluminium content in comparison to riebeckitic amphiboles from the HP/LT metamorphosed basalts and their retrogressed analogues could be the result of the lower metamorphic pressures and the high silica activity as well. Magnesioriebeckite/riebeckite veinlets were mostly replaced by actinolite aggregate with some calcite, epidote and albite, where only tiny relics of riebeckite or ferrowinchite are preserved. Probably short-lasting individual metamorphic phase at elevated pressures (≈ 600 MPa) is responsible for the formation of the magnesioriebeckite/riebeckite veinlets, followed by pressure relaxation and short metamorphic overprint in the greenschist facies conditions ($p \approx 300$ MPa). Observed metamorphic evolution could be interpreted as a manifestation of the Meliata Ocean subduction in Upper Jurassic, when oceanic rocks from the uppermost part of the subducting slab were involved into the lower part of the accretionary prism, consequently exhumed and tectonized.

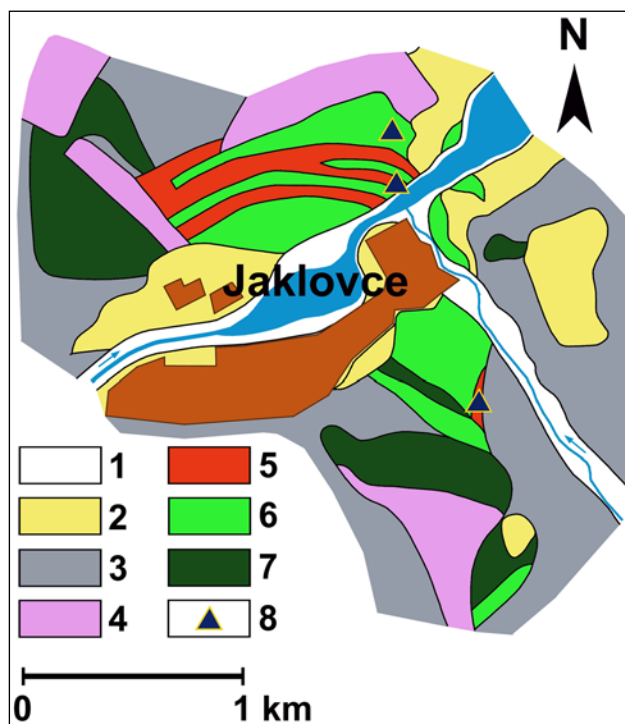
Key words: magnesioriebeckite, ophiolites, metamorphism, subduction, Meliata ocean

Úvod

Podľa súčasných poznatkov majú všetky mezozoické jednotky meliatika charakter melanží s olistolitmi ofiolitov aj sedimentov reprezentujúcich dno aj okrajové časti bývalého triasovo-jurského Meliatskeho oceánu. Horniny melanží boli následne ešte prepracované naloženými metamorfnými a tektonickými procesmi (Mello et al., 2000; Ivan, 2002; Dalmayer et al., 2008). Možno preto očakávať, že mnohé horniny tu môžu mať zložitú metamorfnú históriu, ktorá je kľúčom najmä k pochopeniu záverečných etáp vývoja Meliatskeho oceánu. Za dominujúci typ metamorfózy v časti meliatika, označovanej ako príkrov Bôrky, sa považovala subdukčná vysokotlakovo-nízkotepelná (HP/LT) metamorfóza fácie modrých bridlíc (Mello et al., 1998), kým v ostatných jednotkách meliatika sa predpokladala anchimetamorfóza, poprípade slabá metamorfóza do podmienok fácie zelených bridlíc (Mello et al., 1997; Árkai et al., 2003). V ostatnom čase sa však našli indicie vysokotlakového štádia metamorfózy vo formácii ofiolitov údolia Bodvy (Faryad a Dianiška, 1999; Horváth, 2000; Horváth a Árkai, 2005). Nález sodných amfibolov v silicitoch a bazaltoch v okolí Jakloviec môže uplatnenie takéhoto štádia naznačovať aj v jaklovskej formácii meliatika. V tejto práci sa venujeme bližšej charakteristike tohto nálezu.

Geológia

V širšom okolí Jakloviec metabazalty spolu s hlbokovodnými oceánskymi sedimentmi tvoria súčasť jurskej melanže vystupujúcej v pruhu medzi Kurtovou skalou na severozápade a dolinou Teplého potoka na juhovýchode (obr. 1). Geologickú stavbu tejto oblasti v minulosti detailnejšie skúmali Kamenický (1957), Ištvan (1984), Gaal (1984), Kozur a Mock (1995) a Mock et al. (1998). Metabazalty tu tvoria niekoľko telies s variabilnými rozmermi (rádovo desiatky až prvé stovky metrov) a pre väčšinu z nich je zrejماً úzka priestorová väzba medzi metavulkanitmi a pelitickými metasedimentmi typu červených sericiticko-kremičných bridlíc a rádiolaritických bridlíc až rádiolaritov (profil v záreze železničnej vlečky vápenky, profil pri ústí potoka Rieka do Hornádu, profil na sv. svahu hrebeňa v časti Za dlhou záhradou). Vek rádiolaritov bol paleontologicky stanovený ako vrchný anis až spodný ladin (Ištvan, 1984), kým vlastná melanž na základe veku zelenkastých rádiolaritov, ktoré sú súčasťou jej matrixu, má strednojurský vek (bat?; Kozur a Mock, 1995). Zdá sa, že metabazalty tvorili zväčša lávové príkrovy. Zistili sa aj náznaky výskytu pillow láv. Metabazalty spolu s hlbokooceánskymi sedimentmi tvoria pravdepodobne niekoľko samostatných olistolitov. Za olistolity sa považujú



Obr. 1. Schematická geologická mapa jaklovskej formácie meliatika (podľa Kamenického, 1957 a Zlocha, 1995 – upravené). Miesta výskytu sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) v žilkách sú vyznačené plnými trojuholníkmi. 1 – alúvium; 2 – kvartér; 3 – vápňité bridlice, brekcie (matrix melanže – jura); 4 – vápence (trias); 5 – červené kremité bridlice, silicity, rádiararity (vrchný anis až spodný ladin); 6 – bazalty; 7 – serpentinizované ultrabazity; 8 – výskyt žiliek so sodným amfibolom (magnezioriebeckitom). Súradnice GPS týchto výskytov: N 42° 52,950' E 020° 59,812'; N 48° 52,756' E 020° 59,788'; N 48° 52,293' E 020° 59,878'.

Fig. 1. Geological sketch-map of the Jaklovce Fm. of the Meliatic Unit (according to Kamenický, 1957 and Zlocha, 1995 – modified). Findings of the Na-amphibole (magnezioriebeckite) in veinlets are labelled by filled triangles. 1 – alluvium; 2 – Quaternary; 3 – calcareous shales, breccias (matrix of mélange – Jurassic); 4 – limestones (Triassic); 5 – siliceous shales, cherts, radiolarites (Upper Anisian – Lower Ladinian); 6 – basalts; 7 – serpentinitized ultrabasics; 8 – findings of sodic amphibole (magnezioriebeckite) veinlets. GPS coordinates of these findings: N 42° 52,950' E 020° 59,812'; N 48° 52,756' E 020° 59,788' and N 48° 52,293' E 020° 59,878'.

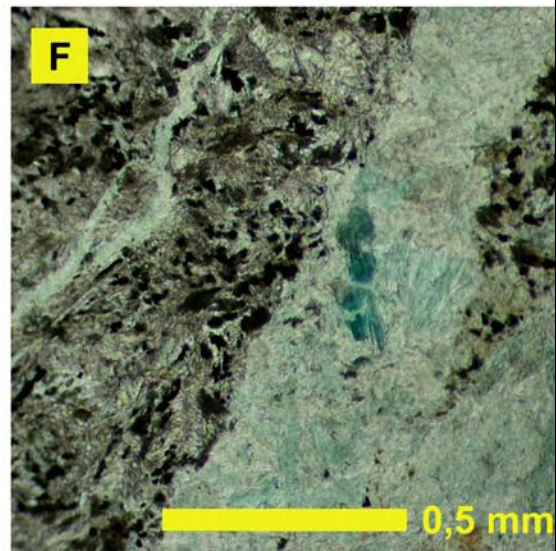
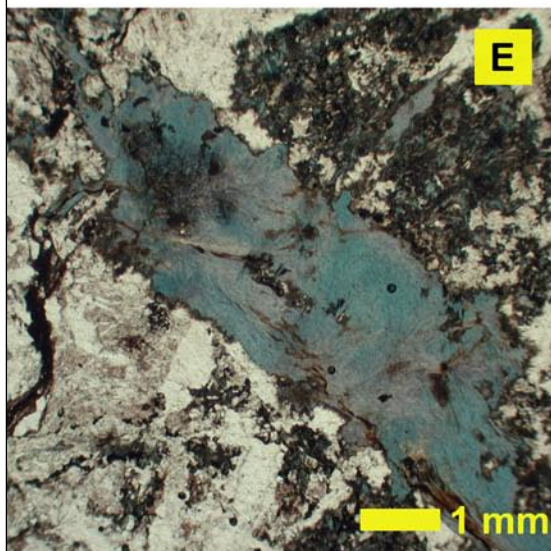
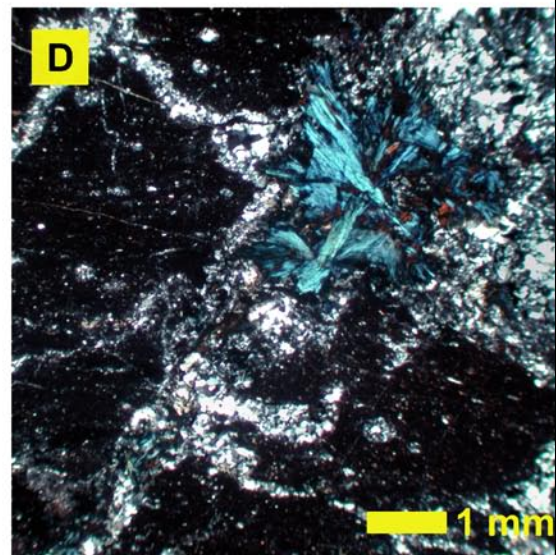
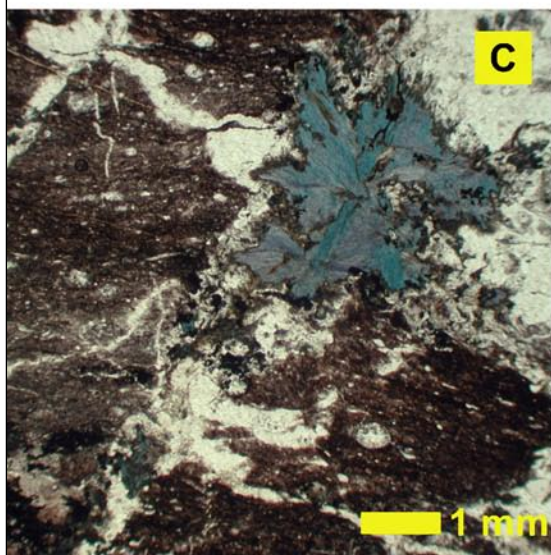
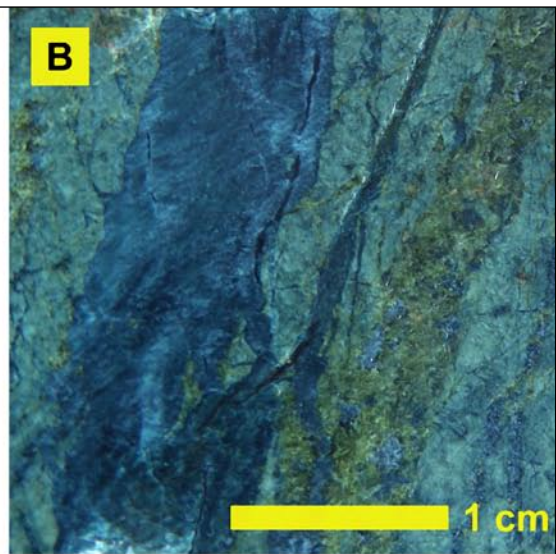
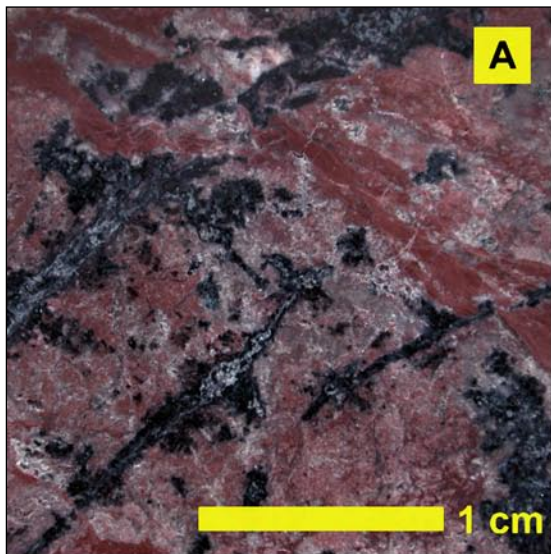
aj spodnotriasové klastické sedimenty, svetlé mramory aniského veku a ladinské aj norické pelagické červené rohovcové vápence (Mock et al., 1998). Zistili sa aj keratofýry (Hovorka, 1977) a metaryolity. Súčasťou jaklovskej formácie meliatika sú aj telesá serpentinizovaných ultrabazitov, bunkovité dolomity a brekcie s anhydritom a sadrovcom (Zlocha, 1995). Matrix melanže reprezentujú slabo metamorfované a zbrekčovatené turbidity s prevažne pelitickou zrnitosťou – sivé a sivozelené bridlice, lokálne s tenkými preplástkami silicítov, v menšej miere aj hrubozrnné pieskovce a mikrokonglomeráty. Jurský vek matrixu sa potvrdil aj nálezom zvyškov belemnítov (Kozur a Mock, 1995; Mock et al., 1998).

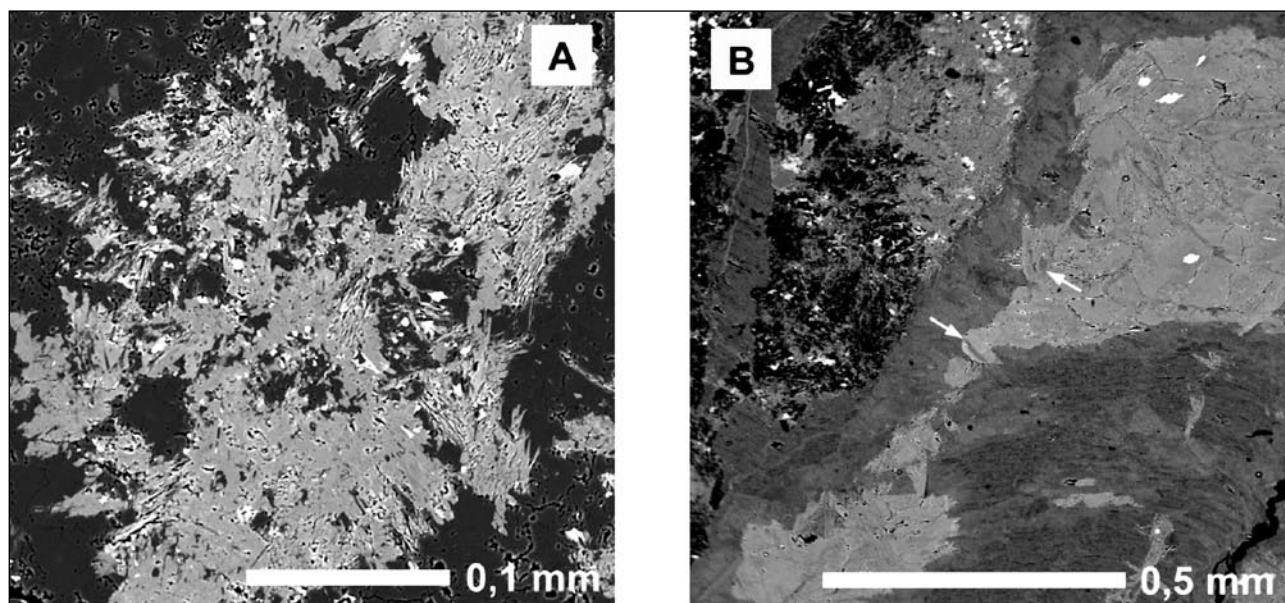
Metodika práce

Žilky obsahujúce sodné amfiboly sa zistili pri systematickom petrografickom výskume oceánskych sedimentov a bazaltov v okolí Jakloviec (asi 80 vzoriek). Identifikovali sa len v troch vzorkách, pretože výskum bol orientovaný na neporušené horninové typy. Poznatky z dodatočného zberu slúžili na doplnenie petrografických charakteristík. Analýzy amfibolov a ďalších relevantných minerálov sa urobili na elektrónovom mikroanalýzátore CAMECA SX 100 v Štátnom geologickom ústave D. Štúra v Bratislave. Podmienky merania: urýchľujúce napätie 15 kV, prúd elektrónového lúča 20 nA, merací čas 20 s, priemer lúča 2 – 10 μm. Použité štandardy: Si, Ca – wollastonit, Ti – TiO₂, Al – Al₂O₃, Cr – elementárny chróm, Fe – fayalit, Mn – rodonit, Mg – forsterit, Na – albit, K – ortoklas. Stechiometrické vzorce sodných a sodno-vápenatých amfibolov na základe odporúčení z prác Endersa et al. (2000) a Gualda a Vlacha (2005), ktoré vychádzajú z prepočtov amfibolov s kvantitatívne stanoveným Fe³⁺, sa vypočítali metódou 13eCNK. Stechiometrické vzorce vápenatých amfibolov na základe odporúčenia z práce Gualda a Vlacha (2005) sa vypočítali pre stechiometricky maximálne možné Fe³⁺ metódou Schumachera in Leake et al. (1997). Kvôli komparácii s tematicky blízkymi prácami používame platnú klasifikáciu amfibolov IMA (Leake et al., 1997, resp. 2004). V zmysle tejto klasifikácie obsah Si vyšší ako 8 vzorcových jednotiek, čo je prípad väčšiny našich analýz, sa spravidla považuje za analytický problém.

Obr. 2. Makroskopický a mikroskopický pohľad na žilky sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) a produkty ich retrogresívnej premeny vyskytujúce sa v hlbokovodných červených kremitých sedimentoch, rádiararitoch a ofiolitových bazaltoch z Jakloviec. **A** – žilky sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) v červenom rádiararite (vzorka FJAK-46); **B** – žilky vápenatého amfibolu (aktinolitu), miestami aj s epidotom, kalcitom, chloritom a smektitom, obsahujúce drobné reliktu sodného a sodno-vápenatého amfibolu (magnezioriebeckitu, riebeckitu a ferowinchitu) v bazalte (vzorka FJAK-69); **C** – radiálny agregát sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) v rádiararite popretínanom tenkými kremennými žilkami. Prierezy rádiararít možno ešte dobre rozpoznať, II N; **D** – detto, XN; **E** – dva typy sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) v rádiararite (vzorka FJAK-46): (1) žilka zložená z vejárikovitých agregátov a (2) drobné agregáty v matrixe, II N; **F** – reliktu sodného amfibolu (magnezioriebeckitu) v žilke pretínajúcej bazalt tvorenej agregátom slabomodrastého aktinolitu (vzorka OS-07-11), II N.

Fig. 2. Macroscopic and microscopic views on the sodic amphibole (magnezioriebeckite) veinlets and products of their retrogression, occurring in the deep-sea cherts, radiolarites and ophiolitic basalts from the Jaklovce village (Jaklovce Fm., Meliatic Unit). **A** – Na-amphibole (magnezioriebeckite) veinlets in the red radiolarite (sample FJAK-46); **B** – Ca-amphibole (actinolite) veinlets, locally also with epidote, calcite, chlorite and smectite, containing tiny relics of Na- and Na-Ca-amphibole (magnezioriebeckite, riebeckite, ferrowinchite) in basalt (sample FJAK-69); **C** – Radial aggregate of Na-amphibole (magnezioriebeckite) in radiolarite, being crosscutted by the small quartz veins. Radiolaria sections are still well-recognizable, II N (sample FJAK-46); **D** – the same, XN; **E** – two types of Na-amphibole (magnezioriebeckite) in radiolarite (sample FJAK-46): (1) veinlet composed of the fan-shaped aggregates and (2) small aggregates in the matrix, II N; **F** – Na-amphibole (magnezioriebeckite) relics in the veinlet composed of columnar aggregate of the pale bluish actinolite crosscutting basalt (sample OS-07-11), II N.





Obr. 3. Zobrazenie v odrazených elektrónoch (BEI) amfibolov v silicite a ofiolitovom bazalte z Jakloviec. **A** – agregát sodného amfibolu (magnezioriebeckitu – sivý) spolu s oxidmi železa, obklopený kremeňom v silicite (vzorka FJAK-46); **B** – žilka smektitu (tmavosivý), čiastočne zmeneného na chlorit (strednosivý), spolu s mladším aktinolitom (svetlosivý) s drobnými reliktnými magnezioriebeckitu (označené šípkou) v bazalte (vzorka OS-07-11).

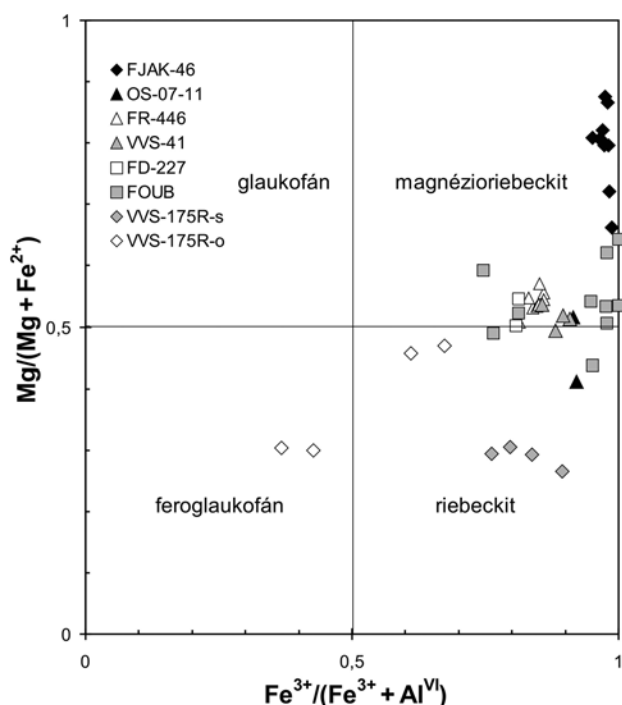
Fig. 3. Backscattered electron imaging (BEI) of amphiboles in the chert and basalt from the Jaklovce locality. **A** – Na-amphibole (magnesioriebeckite) aggregate (grey) together with Fe-oxides surrounded by quartz in the chert (sample FJAK-46); **B** – veinlet of smectite (dark grey) partly transformed to chlorite (medium grey) together with younger actinolite (pale grey) aggregate with tiny relics of magnesioriebeckite (labelled by arrows) in basalt (sample OS-07-11).

Takéto hodnoty vychádzajú aj v opakovaných analýzach pri väčšine meraných riebeckitických amfibolov v horninách s vysokým obsahom kremeňa nielen zo skúmanej lokality, ale aj z lokalít príkrovu Bôrky. Možné príčiny rozoberáme neskôr. Koncové členy skúmaných amfibolov sa vypočítali spôsobom uvedeným v práci Aoki et al. (2008), a to takto: magnezioriebeckit/riebeckit $X_{\text{mrieb}} = \text{Fe}^{3+}/(\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+}) \cdot \text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})_{\text{B}}$, glaukofán $X_{\text{gln}} = \text{Al}^{\text{VI}}/(\text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+}) \cdot \text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})_{\text{B}}$, aktinolit $X_{\text{akt}} = (2 - \text{Al}^{\text{IV}})/2 \cdot \text{Ca}/(\text{Na} + \text{Ca})_{\text{B}}$, tschermakit $X_{\text{ts}} = \text{Al}^{\text{IV}}/2 \cdot \text{Ca}/(\text{Na} + \text{Ca})_{\text{B}}$. Podiel Al^{IV} , ktorý je výsledkom edenitovej substitúcie, je zahrnutý v rámci tschermakitovej substitúcie.

Petrografia

Sodné amfiboly sa v červených silicitoch a metabazaltoch nevyskytujú na ich odkryvoch plošne, ale skôr sporadicky. Vzorka silicitu s makroskopicky identifikovateľným sodným amfibolom sa našla v záreze poľnej cesty v sv. svahu kóty Za dlhou záhradou (asi 200 m na JZ od križovatky v Jaklovciach). Sodné amfiboly v podobe reliktných zŕn sa zachovali v žilkách tvorených modrastým sodným aktinolitom, nájdených miestami tak v silicitoch, ako aj v metabazaltoch najmä v oblasti medzi obcou Jaklovce a vápenkou. V juhozápadnej časti opusteného lomu nad vápenkou sa v metabazaltoch hojne vyskytujú žilky vláknitého modrastého aktinolitu sprevádzaného epidotom do hrúbky až 5 mm. Podstatne tenšie žilky s reliktnými riebeckitu možno nájsť v ich bezprostrednom okolí.

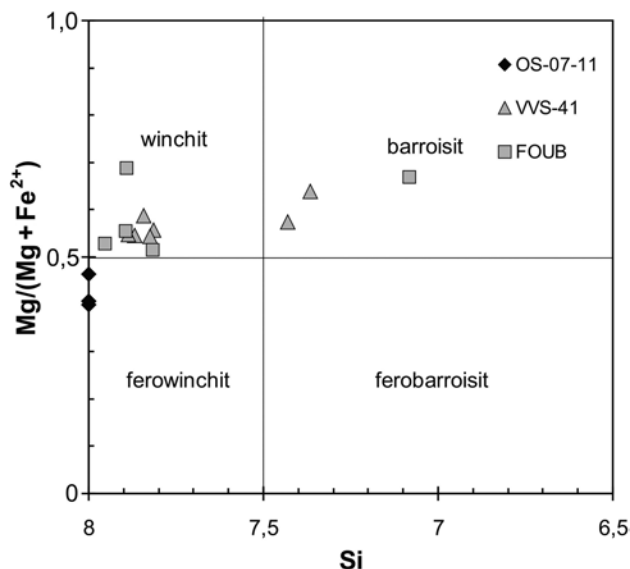
Makroskopický vzhľad hnedastočerveného silicitu bohatého na modrý sodný amfibol (vzorka FJAK-46) je zachytený na obr. 2A. Mikroskopicky je silicit pomerne nehomogénny. Skladá sa z petrograficky rozdielnych oblastí, ktoré sú odrazom pôsobenia naložených premien. Časť horniny má pomerne homogénnu stavbu. Tvoria ju veľmi jemnozrnný agregát kremeňa s homogénne rozptýleným pigmentom oxidov železa. Časté sú v nej prierezy rádiolárií, zriedkavo aj obdĺžnikové fantómové prierezy po neznámom mineráli. V iných častiach je už pigment čiastočne usporiadaný do planoparalelných žiliek, ktoré obtekajú mierne deformované častice a prierezy rádiolárií. Miera usmernenia lokálne rastie až do takej miery, že horninu tu tvoria žilkovité útvary z nahromadeného pigmentu. Pigment tu nie je rozmiestnený homogénne, ale celý útvar sa skladá z husto vedľa seba uložených planoparalelných žiliek pigmentu. Medzi nimi sú uzatvorené zväčša deformované pretiahnuté zrná, pôvodne asi prierezy rádiolárií. Žilkovité útvary sú oproti okoliu ostro vymedzené alebo na jednu stranu je prechod pozvoľný. Sodný amfibol sa v silicite vyskytuje v dvoch formách – ako samostatné agregáty (1) alebo ako žilky (2) (obr. 2C – E). Prvú formu predstavujú nepravidelne rozložené oblasti tvorené prevažne vejárikovitými agregátmi sodného amfibolu spolu s nepravidelnou impregnáciou väčších zŕn rudného minerálu – hematitu, resp. magnetitu (obr. 3A). Drobný kremeň sa tu vyskytuje len nepatrne, pozorujeme tu však prierezy rádiolárií. To vylučuje možnosť, že tieto miesta môžu primárne predstavovať klasty s odlišným zložením,



Obr. 4. Sodné amfiboly z rádiolaritu (vzorka FJAK-46) a bazaltu (OS-07-11) z Jakloviec v klasifikačnom diagrame $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}})$ verzus $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$. Klasifikácia je podľa kritérií Leakea et al., 1997. Na porovnanie sú uvedené reliktné sodné amfiboly z HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých naloženou metamorfózou v podmienkach fácie zelených bridlic, ako aj sodné amfiboly z HP/LT metamorfovaných rádiolaritov pochádzajúcich z rôznych jednotiek meliatika a gemerika. *Vysvetlivky:* FR-446 – metabazalt, zlatnícka formácia(?)/príkrov Bôrky(?), Rudňany; VVS-41 – metabazalt, príkrov Bôrky, Kobeliarovo; FD-227 – metabazalt, rakovecká skupina, Dobšiná; FOUB – metabazalty a metagabrá ofiolitov formácie údolia Bodvy; VVS-175R – metarádiolarit, príkrov Bôrky, Honce: s – stred zŕn, o – okraj zŕn sodných amfibolov. Zdroj údajov: Ivan a Méres, 2009; Horváth a Árkai, 2005 a nepublikované údaje.

Fig. 4. Na-amphiboles from radiolarite (sample FJAK-46) and basalt (sample OS-07-11) both from the Jaklovce locality in the classification diagram $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{VI}})$ vs. $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$. Classification criteria by Leake et al. (1997) were used. Selected relic Na-amphiboles from the HP/LT-metamorphosed basalts overprinted by metamorphic phase in the greenschist facies conditions, which occur in the various formations of the Meliatic and Gemeric units and Na-amphiboles from the HP/LT metamorphosed radiolarite of the Bôrka nappe are displayed for comparison. *Explanations:* FR-446 – metabasalt, Zlatník Fm.(?)/Bôrka nappe(?), Rudňany village; VVS-41 – metabasalt, Bôrka nappe, Kobeliarovo village; FD-227 – metabasalt, Rakovec Gr., Dobšiná town; FOUB – metabasalts and metagabbros of the Bodva valley Fm., VVS-175R – HP/LT metamorphosed radiolarite, Honce village, Bôrka nappe: s – core and o – rim of the Na-amphibole grains. Data sources: Ivan and Méres (2009); Horváth and Árkai (2005) and unpublished data.

stĺpčekov modrastého aktinolitú s početnými drobnými reliktnými sodného amfibolu, poprípade prerasty aktinolitú s kalцитom (obr. 2F; obr. 3B). Najmladšou etapou je tvorba výplne žiliek zloženej zo zelenkastého vláknitého aktinolitú spolu s epidotom.



Obr. 5. Sodno-vápenaté amfiboly zo žilky v bazalte (vzorka OS-07-11) v klasifikačnom diagrame podľa Leakea et al. (1997). Na porovnanie sú uvedené sodno-vápenaté amfiboly z metabazaltu z príkrovu Bôrky (VVS-41, Kobeliarovo) a z metabazaltov a metagabier ofiolitovej formácie údolia Bodvy (FOUB). Zdroj údajov: Horváth a Árkai, 2005 a nepublikované údaje.

Fig. 5. Na-Ca amphiboles from the veinlet in basalt (sample OS-07-11) in the classification diagram by Leake et al. (1997). Na-Ca amphiboles from metabasalt of the Bôrka nappe (VVS-41, Kobeliarovo village) as well as metabasalts and metagabbros from the Bodva valley ophiolite formation (FOUB) are given for comparison. Data sources: Horváth and Árkai (2005) and unpublished data.

Mineralógia

V skúmaných vzorkách silicítov a metabazaltov sa analyzovalo predovšetkým zloženie amfibolov (tab. 1 a 2). Okrem zložiek uvedených v tabuľkách bol stanovený aj NiO (0,00 – 0,03 %), Cl (0,00 – 0,03 %) a F (0,00 %). Analyzovalo sa aj zloženie chloritu, smektitu a epidotu (tab. 3).

Amfiboly reprezentujú najmä sodné a vápenaté amfiboly, našli sa však aj sodno-vápenaté amfiboly. Klasifikácia sodných amfibolov zo skúmaných hornín z Jakloviec podľa kritérií v práci Leake et al. (1997) je znázornená na obr. 4. Na porovnanie sú uvedené aj analogické výskyty reliktných sodných amfibolov z metabazaltov meliatika a gemerika, ako aj z metarádiolaritu od Honiec (hačavská formácia meliatika). Sodný amfibol zo silicitu a väčšina sodných amfibolov z metabazaltov zodpovedá magnézioriebeckitu, len malá časť z nich zasahuje do poľa riebeckitu. Výrazne riebeckitové zloženie majú len jadrá amfibolov z metarádiolaritu z Honiec, pričom ich okraje môžu zodpovedať až feroglaukofánu. V sodných amfiboloch zo silicitu v Jaklovciach je pomerne výrazná variabilita pomeru $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$, vyššie pomery sú skôr v centrálnych častiach zŕn (tmavšia fáza na obr. 3A). Sodno-vápenaté

Tab. 2

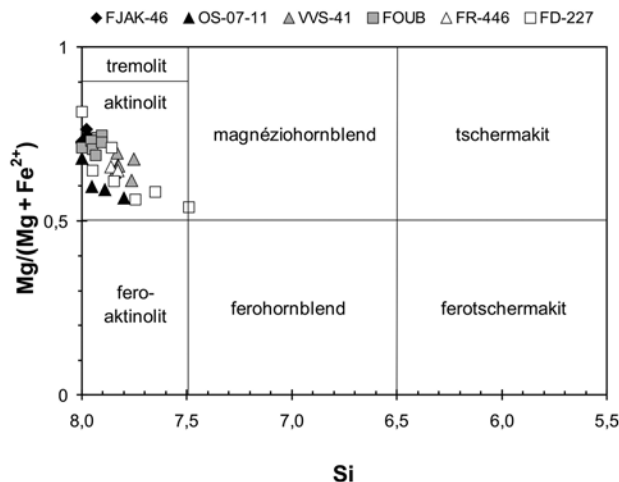
Analýzy vápenatých amfibolov z rádiolaritu (vzorka FJAK-46) a bazaltu (vzorka OS-07-11) z Jakloviec
Analyses of the calcic amphiboles from the radiolarite (sample FJAK-46) and basalt (sample OS-07-11) from the Jaklovce locality

Vzorka	FJAK-46	FJAK-46	FJAK-46	FJAK-46	FJAK-46	OS-07-11	OS-07-11	OS-07-11	OS-07-11
Analýza	M2_1	M4_1	M4_2	M5_2	M5_3	M4_3	M7_11	M7_12	M7_13
Amfibol	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit
SiO ₂	56,40	56,49	56,04	55,99	56,35	53,09	53,66	54,01	55,07
TiO ₂	0,04	0,10	0,15	0,13	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,80	0,63	0,80	0,74	0,60	2,14	1,04	0,62	0,16
Cr ₂ O ₃		0,02		0,02	0,03				
FeO	11,12	11,11	10,92	10,41	11,32	17,81	17,16	16,46	13,39
MnO	0,30	0,28	0,33	0,28	0,31	0,34	0,38	0,29	0,33
MgO	16,55	16,52	16,46	16,99	16,46	11,85	12,66	13,16	15,21
CaO	12,02	11,85	11,82	12,12	11,66	11,36	11,83	11,99	12,07
Na ₂ O	0,76	0,65	0,86	0,16	0,93	0,86	0,47	0,33	0,44
K ₂ O	0,16	0,11	0,11	0,13	0,14	0,11	0,04	0,02	0,00
Suma	98,17	97,82	97,54	96,99	97,91	97,63	97,25	96,88	96,69
Si	8,005	8,028	7,976	7,978	8,016	7,801	7,889	7,953	8,008
Al ^{IV}	0,000	0,000	0,024	0,022	0,000	0,199	0,111	0,047	0,000
Al ^{VI}	0,133	0,106	0,111	0,102	0,100	0,172	0,070	0,031	0,027
Ti	0,004	0,010	0,016	0,014	0,009				
Fe ³⁺	0,000	0,009	0,099	0,121	0,015	0,184	0,168	0,078	0,070
Fe ²⁺	1,320	1,312	1,200	1,119	1,332	2,006	1,941	1,950	1,558
Mn	0,037	0,034	0,039	0,034	0,037	0,043	0,047	0,036	0,041
Mg	3,502	3,501	3,493	3,609	3,491	2,596	2,775	2,890	3,297
Ca	1,827	1,805	1,803	1,851	1,777	1,788	1,864	1,891	1,881
Na	0,208	0,179	0,238	0,045	0,255	0,245	0,135	0,095	0,125
K	0,028	0,019	0,019	0,024	0,025	0,021	0,007	0,003	0,001
Na ^B	0,173	0,179	0,238	0,045	0,223	0,212	0,135	0,095	0,119
Prepočet	13eCNK	13eCNK	15eK	13eCNK	13eCNK	13eCNK	15eK	15eK	13eCNK

amfiboly sa zistili len v metabazalte a zložením zodpovedajú ferowinchitu (obr. 5). Vápenaté amfiboly v skúmaných aj porovnávaných horninách zodpovedajú aktinolit (obr. 6).

Prevažná väčšina nami skúmaných sodných amfibolov zo silicitov z Jakloviec (ale aj z metasilicitov iných lokalít v meliatiku) vykazuje zreteľný prebytok Si (Si > 8), a to aj v opakovaných meraniach. Tento prebytok nekoreluje s ostatnými zložkami amfibolov, a teda ani neovplyvňuje uplatňujúce sa substitúcie a nemá ani podstatný vplyv na pozíciu priemetných bodov vo väčšine použitých diagramov. Zhodné prebytky možno zaznamenať v analogických prípadoch aj v literatúre (napr. Hefferan et al., 2002). V menšej miere a menej výrazne sa uplatňujú aj v prípade amfibolov z metabazitov.

Diagram Al^{IV} versus Na^B (obr. 7) vyjadruje možný vplyv teploty (Al^{IV}) a tlaku (Na^B) na zloženie amfibolov a využíva sa ako empirický geobarometer (Brown, 1977) pre sodno-vápenaté a vápenaté amfiboly. Prevažná časť amfibolov zo skúmaných hornín má prakticky nulový obsah Al^{IV}. Trendy v zložení analogických amfibolov z retrogresívne zmenených metabazitov z príkrovu Bôrky a z ofiolitov údolia Bodvy sú mierne odlišné (vyšší obsah Al^{IV}), čiastočná zhoda je len v prípade aktinolitov. V diagrame 100Al/(Si + Al) versus 100Na/(Na + Ca) (Laird a Albee, 1981) možno názorne vidieť rozdiely v zložení medzi sodnými amfibolmi z rádiolaritov z Jakloviec a z rádiolaritov od Honiec, ktoré sú súčasťou hačavskej



Obr. 6. Vápenaté amfiboly z rádiolaritu (vzorka FJAK-46) a bazaltu (OS-07-11) z Jakloviec v klasifikačnom diagrame Si versus Mg/(Mg + Fe) (Leake et al., 1997). Na porovnanie sú uvedené aj vápenaté amfiboly z HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých retrogresiou do fácie zelených bridlic z rôznych jednotiek meliatika a gemerika. Vysvetlivky: ako pri obr. 4.

Fig. 6. Ca-amphiboles from radiolarite (sample FJAK-46) and basalt (sample OS-07-11), both from the Jaklovce locality in the classification diagram Si vs. Mg/(Mg + Fe) (Leake et al., 1997). Ca-amphiboles from the HP/LT-metamorphosed basalts overprinted by the greenschist facies metamorphic phase, occurring in various formations of the Meliatic and Gemeric units are displayed for comparison. Explanations: see Fig. 4.

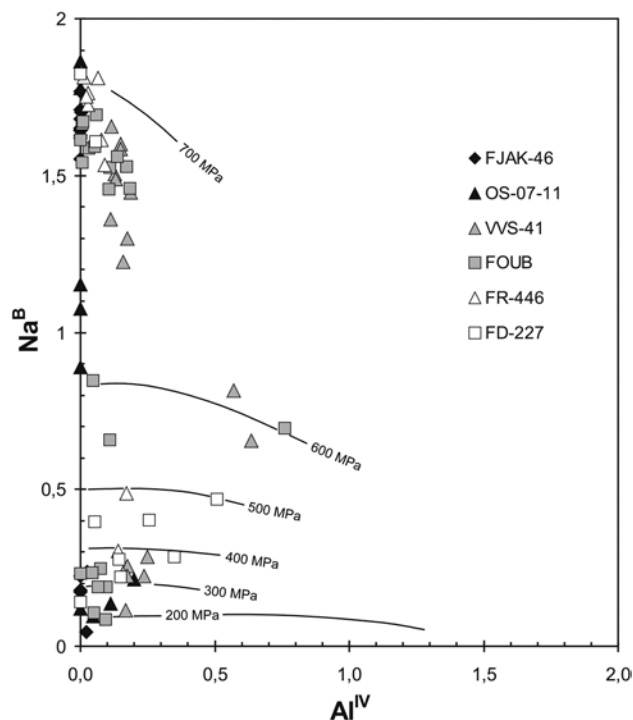
Tab. 3
Analýzy epidotu, chloritu a smektitu zo žíliek v bazalte
(vzorka OS-07-11) z Jakloviec
Analyses of epidote, chlorite and smectite from the veinlets
in basalt (sample OS-07-11) from the Jaklovce village

Vzorka	OS-07-11	OS-07-11	OS-07-11	OS-07-11	OS-07-11
Analýza	M7_16	M4_4	M7_14	M7_15	M4_5
Minerál	Epidot	Chlorit	Chlorit	Chlorit	Smektit
SiO ₂	37,11	28,05	27,51	27,21	30,93
TiO ₂	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,24	17,20	17,73	18,66	14,39
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO ₁	15,25	24,49	24,51	25,51	21,61
MnO	0,05	0,37	0,37	0,39	0,28
MgO	0,02	16,11	16,24	15,29	17,78
CaO	22,20	0,05	0,05	0,04	0,33
NiO	0,00	0,03	0,06	0,00	0,01
Na ₂ O	0,04	0,11	0,21	0,07	0,06
K ₂ O	0,00	0,01	0,01	0,04	0,04
Suma	94,95	86,43	86,72	87,25	85,45
Si	6,062	5,971	5,847	5,770	
Al	3,896	4,316	4,441	4,664	
Ti	0,002	0,000	0,002	0,000	
Cr	0,002	0,000	0,001	0,000	
Fe*	2,083	4,360	4,357	4,524	
Mn	0,007	0,067	0,067	0,071	
Mg	0,004	5,113	5,146	4,834	
Ca	3,885	0,011	0,010	0,010	
Ni	0,000	0,005	0,011	0,000	
Na	0,014	0,047	0,088	0,029	
K	0,001	0,003	0,003	0,011	
Prepočet	25 O	28 O	29 O	30 O	

Vysvetlivky: Fe* – v prípade epidotu je všetko železo počítané ako Fe³⁺.

Explanations: Fe* – in the case of epidote all iron as Fe³⁺.

formácie príkrovu Bôrky (obr. 8). Analogické rozdiely vykazuje aj zloženie amfibolov v metabazitoch, pričom sodné amfiboly z Jakloviec majú v oboch prípadoch nízky pomer Al a Si. Pri všetkých porovnávaní lokality zostáva hodnota pomeru Al/(Si + Al) so zmenou pomeru Na/(Na + Ca) stabilná. Ich koreláciu môžeme pozorovať až pri vápenatých amfiboloch, kde tvoria trend zodpovedajúci amfibolom vznikajúcim retrogresiou za vysokotlakových podmienok. Variabilita zastúpenia relevantných koncových členov v rámci substitúcie v amfiboloch zo skúmaných hornín z Jakloviec a z podobných výskytov v meliatiku a gemeriku je zachytená na obr. 9. Zloženie amfibolov zo skúmaných metabazaltov z Jakloviec je blízke zloženiu amfibolov z bazaltov príkrovu Bôrky postihnutých retrogresiou, pôvodne vysokotlakovo-nízkoteplo (HP/LT) metamorfovaných. Magnezioriebeckit z rádiaritu má nižší podiel glaukofánového člena. Podobné zloženie má časť amfibolov pochádzajúcich z HP/LT metamorfovaných gabroidných hornín formácie ofiolitov údolia Bodvy (FOUB) postihnutých retrogresiou. Sodný amfibol z HP/LT metamorfovaného rádiaritu hačavskej formácie príkrovu Bôrky, ktorý nenesie znaky retrogresie,

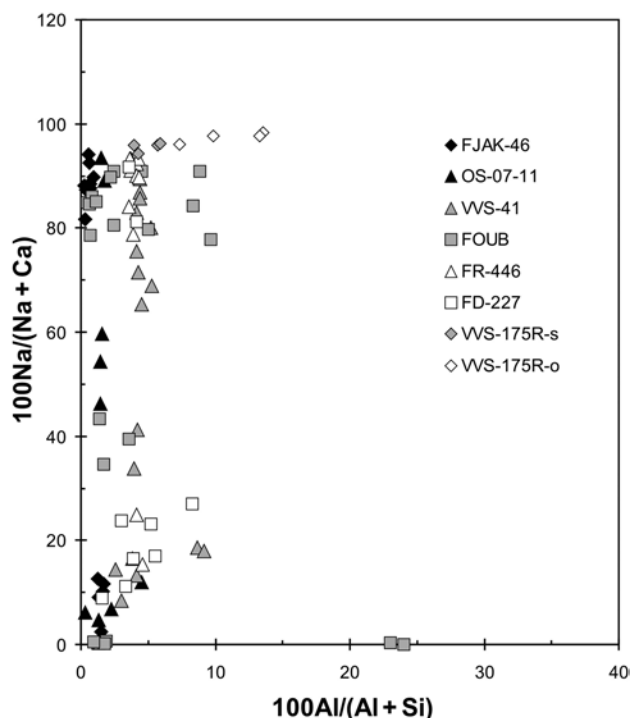


Obr. 7. Diagram Al^{IV} verzus Na^B (Brown, 1977) pre amfiboly z rádiaritu (vzorka FJAK-46) a bazaltu (OS-07-11) z Jakloviec. Na porovnanie sú uvedené aj amfiboly z HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých retrogresiou do fácie zelených bridlíc z rôznych jednotiek meliatika a gemerika. Vysvetlivky: ako pri obr. 4.

Fig. 7. Diagram Al^{IV} vs. Na^B (Brown, 1977) for amphiboles from radiolarite (sample FJAK-46) and basalt (sample OS-07-11), both from the Jaklovce locality. Amphiboles from the HP/LT-metamorphosed basalts overprinted by the greenschist facies metamorphic phase, occurring in the various formations of the Meliatic and Gemic units, are displayed for comparison. Explanations: see Fig. 4.

má vo všeobecnosti vyšší podiel glaukofánovej zložky. Jej zastúpenie výrazne rastie v okrajových častiach zrn. Porovnanie zloženia amfibolov skúmaných hornín so zložením amfibolov z niektorých podobných výskytov vo svete je na obr. 10. Vo všeobecnosti majú riebeckitické amfiboly z metabazitov a metadioritov o niečo vyšší podiel glaukofánovej zložky ako ich všetky analógy z meliatika aj gemerika. V prípade acidnejších typov protolitu, ako sú silicity, aplity alebo granity, tento podiel výrazne klesá. Rovnaké aktinolity s malým podielom glaukofánovej zložky ako v skúmaných horninách sa nachádzajú aj v metabazitoch z oblasti Sanbagawa v Japonsku (Banno, 2001; Aoki et al., 2008).

Analýzované chlority (tab. 3) zložením zodpovedajú klinochlóru [v staršej klasifikácii Heya (1954) ripidolitu], v klasifikácii Zaneho a Weissa (1998) typu I, a horečnatému chloritu. Ide o chlority typické pre bázičné horniny metamorfované vo fáci zelených alebo modrých bridlíc (Zane et al., 1998). V porovnaní s chloritmi hydrotermálne alterovaných bazaltov typu N-MORB sú rovnako ako smektit mierne železnatejšie (napr. Gillis a Thompson, 1993).



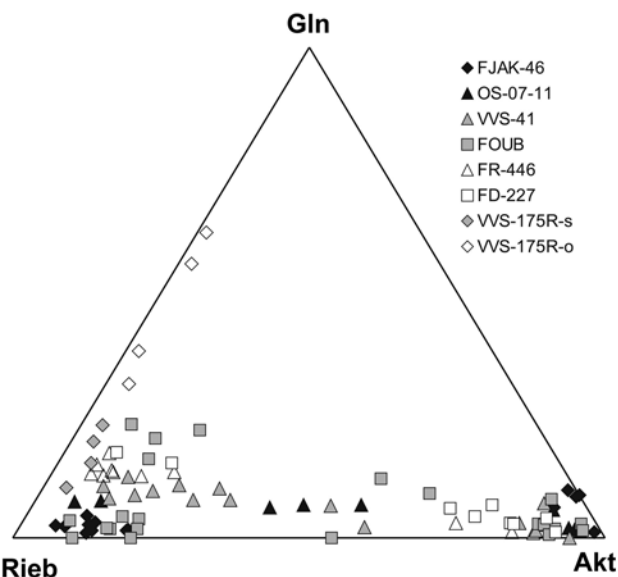
Obr. 8. Amfiboly z rádiolaritu (vzorka FJAK-46) a bazaltu (OS-07-11) z Jakloviec v diagrame Al/(Al + Si) verus Na/(Na + Ca) (Laird a Albee, 1981). Na porovnanie sú uvedené aj amfiboly z HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých retrogresiou do fácie zelených bridlíc z rôznych jednotiek meliatika a gemerika. Vysvetlivky: ako pri obr. 4.

Fig. 8. Amphiboles from radiolarite (sample FJAK-46) and basalt (sample OS-07-11), both from the Jaklovce locality, in the diagram Al/(Al + Si) vs. Na/(Na + Ca) (Laird and Albee, 1981). Amphiboles from the HP/LT-metamorphosed basalts overprinted by the greenschist facies metamorphic phase, occurring in the various formations of the Meliatic and Gemic units, are added for comparison. Explanations: see Fig. 4.

Diskusia

Sodný amfibol v horninách z okolia Jakloviec nie je rozšírený plošne, ale vyskytuje sa lokálne a pomerne zriedkavo v žilných útvaroch vystupujúcich tak v silicitoch, ako aj v bazaltoch. Žilky sa viažu na samostatnú etapu deformácie, ktorá je v silicitoch mladšia ako diagenetické(?) procesy čiastočného rozpúšťania, mobilizácie a rekryštalizácie kremeňa. Zdá sa, že v metabazaltoch je mladšia ako etapa tvorby žiliek vyplnených smektitom. Kým v silicitoch sa žilky magnezioriebeckitu zachovali prakticky aj bez prejavov retrogresie, v metabazaltoch sa dosiaľ zistili len žilky s prejavmi výraznej retrogresie (obr. 2A – B). Tu boli pôvodné magnezioriebeckitové/riebeckitové žilky (\pm albit) nahradené agregátom aktinolitu, ku ktorému sa lokálne pripája aj kalcit, epidot a chlorit. Spolu predstavujú mladšiu naloženú asociáciu a z pôvodného riebeckitu zostali len drobné relikt.

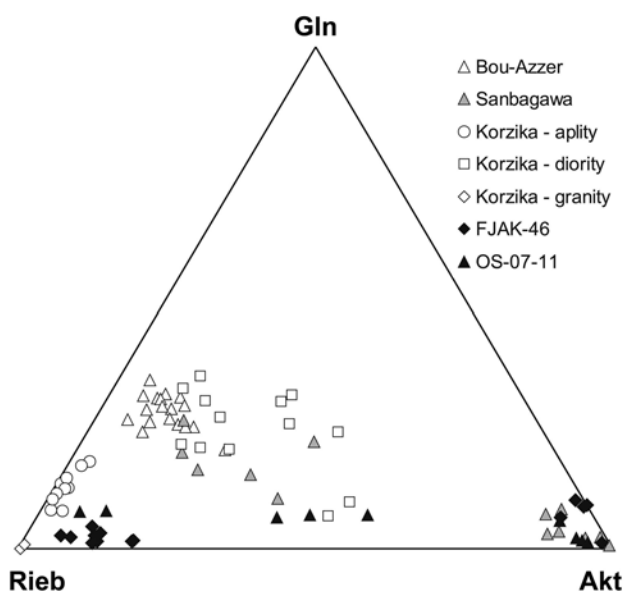
Prítomnosť magnezioriebeckitu/riebeckitu je v prevažnej miere indikačným znakom niektorého z dvoch principiálne odlišných geologických prostredí. Prvé z nich



Obr. 9. Zastúpenie koncových členov v amfiboloch z Jakloviec (rádiolarit – vzorka FJAK-46; bazalt – OS-07-11) v diagrame glaukofán – riebeckit – aktinolit. Na porovnanie je uvedené aj zloženie amfibolov z HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých retrogresiou do fácie zelených bridlíc z rôznych jednotiek meliatika a gemerika. Vysvetlivky: ako pri obr. 4.

Fig. 9. Diagram glaucophane – riebeckite – actinolite illustrating end-member participation on the composition of amphiboles from the Jaklovce locality (radiolarite – sample FJAK-46; basalt – OS-07-11). Amphibole compositions from the HP/LT-metamorphosed basalts overprinted by the greenschist facies metamorphic phase, occurring in the various formations of the Meliatic and Gemic units, are added for comparison. Explanations: see Fig. 4. End-members were calculated by method used in Aoki et al. (2008).

je magmatické – spolu s arfvedsonitom je riebeckit typický horninotvorný minerál v diferencovaných horninách alkalického radu (napr. Wooley, 2001). Druhé prostredie je metamorfné, kde prítomnosť magnezioriebeckitu/riebeckitu indikuje iniciálne štádiá HP/LT metamorfózy (Liou a Maruyama, 1987; Maruyama a Liou, 1988; Banno, 1988). Výskyt pri Jaklovciach možno pokladať za tento prípad. HP/LT typ metamorfózy reprezentovaný fáciou modrých bridlíc sa jednoznačne viaže na zóny subdukcie, kde je do plášťa zatahovaný predovšetkým materiál oceánskej kôry. Červené rádiolarity, rádiolaritové bridlice a sericiticko-kremité bridlice vystupujúce spolu s metabazaltmi v oblasti Jakloviec k nemu jednoznačne patria. Dokazuje to hlbokoceánske prostredie vzniku uvedených sedimentov a geochemický typ metabazaltov na rozhraní medzi BABB (bazalty zaoblúkových bazénov) a N-MORB (normálne bazalty stredoceánskych riftov), typických pre oceánsku kôru (Mock et al., 1998; Ivan, 2002, 2006). Magnezioriebeckit z metasilicítov tvoriacich súčasť HP/LT metamorfovaných oceánskych hornín je známy napr. zo sutúry Sistán vo východnom Iráne (Fotoohi Rad et al., 2005), riebeckit z metamorfovaných rádiolaritov z južnej časti alpínskej Korziky (Garfagnoli et al., 2009) alebo aj z hačavskej formácie príkrovu Bôrky od Honiec. Magnezioriebeckit v metabazitoch, ktoré



Obr. 10. Variabilita v zastúpení koncových členov (glaukofán, riebeckit, aktinolit) v zložení amfibolov z rádiolaritu (FJAK-46) a bazaltu (OS-07-11) z Jakloviec v porovnaní s amfibolmi hornín s rôznym zložením postihnutých subdukčnou metamorfózou z vybraných svetových lokalít (metabasity – Bou Azzer, Sanbagawa; granity, aplity, diority – Korzika). Zdroj údajov: Hefferan et al., 2002; Malasoma et al., 2006; Aoki et al., 2008; Garfagnoli et al., 2009.

Fig. 10. The amphibole end-member (glaucofan, riebeckite and actinolite) variability for amphiboles from the radiolarite (FJAK-46) and basalt (OS-07-11) of the Jaklovce locality in comparison with amphiboles from rocks of various composition from selected localities of the world, related to the subduction metamorphism (metabasites – Bou Azzer, Sanbagawa; granites, aplites and diorites – Corsica). Data sources: Hefferan et al. (2002); Malasoma et al. (2006); Aoki et al. (2008) and Garfagnoli et al. (2009). End-members were calculated by method used in Aoki et al. (2008).

podľahli progresívnej metamorfnej premene od prehnitovo-pumpellyitovej fácie po fáciu modrých bridlíc, je známy z pruhu Chichibu (Japonsko; Suzuki a Ishizuka, 1998), z pruhu Shimanto (zóna Sanbagawa, Japonsko; Banno, 1998; Aoki et al., 2008) alebo aj z franciskánskej melanže (Liou a Maruyama, 1987; Maruyama a Liou, 1988). Banno (2000) zo zóny Sanbagawa uvádza magnezioriebeckit aj ako produkt vysokotlakovej metamorfózy za klesajúcej teploty nasledujúci po barroisite a winchite. Pretože riebeckitický amfibol je pri nižšom tlaku stabilnejší ako glaukofán (napr. Evans, 1990), častejšie býva zachovaný v podobe relikto v pri poklese tlaku. Relikty magnezioriebeckitu v pôvodne HP/LT metamorfovaných bazaltov postihnutých retrogresiou sú známe zo severu gemerika (rakovecká skupina, zlatnícka formácia), ako aj z jednotiek príkrovu Bôrky (Ivan, 2004, 2007a, 2007b). Ich zloženie sa prekrýva so zložením magnezioriebeckitu z metabazaltov z Jakloviec. Platí to aj pre sodno-vápenaté a vápenaté amfiboly, ktoré vznikli pri retrogresii (obr. 7 až obr. 9). Amfiboly s úplne identickým zložením ako v Jaklovciach sú známe napr. z retrogresívne metamorfovaných modrých bridlíc zo severného Tibetu (Kapp et al., 2000).

Magnezioriebeckit z jaklovských silicítov má nižší obsah Al, a teda aj nižší podiel glaukofánovej zložky, kým aktinolit z týchto hornín má obsah tejto zložky relatívne vyšší.

Väčšina skúmaných sodných amfibolov zo silicítov vykazuje prebytok Si v porovnaní s teoretickou hodnotou 8. V menšej miere a menšom rozsahu podobnú anomáliu vykazujú aj riebeckitické amfiboly z metabazitov. Tento prebytok, najmä v prípade amfibolov z metabazitov, možno sčasti nepochybné pripísať analytickej chybe v situácii, keď reálny obsah Si je blízky teoretickej hodnote (napr. Horváth a Árkai, 2005; Topuz et al., 2008). Vyššie prebytky v magnezioriebeckitoch z hornín bohatých na kremeň (napr. táto práca; Hefferan et al., 2002) môžu mať aj odlišnú príčinu. Hoci Hawthorne a Oberti (2006; 2007) v súvislosti so sodnými amfibolmi ako čisto teoretickú možnosť uviedli aj algebraicky odvodený koncový člen $\square\text{Na}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_{10}\text{Al}_{-2})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, substitúcia prebytku Si za inú relevantnú zložku nie je pravdepodobná, okrem iného aj pre chýbajúcu koreláciu s obsahom iných zložiek. V tomto prípade by sa skôr dalo uvažovať o možnej prítomnosti drobných inklúzií kremeňa.

Odvodiť kvantitatívne p-T podmienky vzniku riebeckitu v silicítov a metabazaltov z Jakloviec nie je možné pre nerovnovážny charakter prítomných minerálnych asociácií, ako aj pre nedostatok vhodných koexistujúcich minerálnych párov. Zloženie samotného riebeckitického amfibolu nie je len funkciou p-T podmienok, ale aj zloženia horniny (Bousquet et al., 2008). Rast teploty sa prejaví nárastom hodnoty Al^{IV} , nárast tlaku zvýšeným obsahom Na^{B} , Al^{VI} aj celkového Al (Liou a Maruyama, 1987; Banno, 2000). Zdá sa, že v acidných horninách s voľným kremeňom sa zloženie sodného amfibolu posúva smerom k čistému riebeckitu (obr. 8; cf. Malasoma et al., 2006; Garfagnoli et al., 2009). Metarádiolarit z Honiec (obr. 9) predstavuje osobitý prípad, pretože tu kremeň úplne nahradil novotvorené metamorfné minerály. Podľa Otsukiho a Banna (1990) pri subdukčnej metamorfóze je magnezioriebeckit pri vyšších p-T podmienkach stabilnejší ako winchit a ten je pri vyšších podmienkach stabilnejší ako aktinolit. Pre vznik ferowinchitu v metabazaltov z Jakloviec vychádza z empirického geobarometra Al^{IV} versus Na^{B} (Brown, 1977; obr. 7) hodnota tlaku okolo 600 MPa. To by sa mohlo chápať aj ako rozumná spodná hranica tlaku pre vznik magnezioriebeckitu. Z porovnaní hodnôt $100\text{Al}/(\text{Al} + \text{Si})$ (resp. Al^{VI}) v riebeckitických amfiboloch (obr. 8) vyplýva, že magnezioriebeckit z Jakloviec vznikol pri tlaku, ktorý je o niečo nižší ako tlak zaznamenaný v magnezioriebeckite tvoriacom relikty v retrogresívne metamorfovaných metabazitoch príkrovu Bôrky a gemerika alebo počiatočné štádiá tvorby sodného amfibolu v progresívne metamorfovaných rádiolaritoch z Honiec. Teplota metamorfózy pravdepodobne podstatne neprevýšila spodnú hranicu fácie modrých bridlíc.

Na základe všetkých uvedených údajov možno teda konštatovať, že žilky magnezioriebeckitu/riebeckitu v silicítov a metabazaltov z Jaklovciach sú produktom krátko trvajúcej metamorfnej etapy prebiehajúcej za zvýšeného tlaku, ktorú možno stotožniť s iniciálnou etapou metamorfózy v subdukčnej zóne. Vystriedala

ju dekompresia ($p \approx 300$ MPa; obr. 7) a naložená slabá metamorfóza v podmienkach fácie zelených bridlíc. Geologicky možno tento metamorfny vývoj interpretovať ako zatiahnutie zoškrabaného materiálu z najvrchnejších partii oceánskej kôry do spodných častí akrečnej prizmy (cf. Kimura a Ludden, 1995) a jeho následnú exhumáciu, po ktorej nasledovalo mierne prehriatie, zrejme ako výsledok ďalšej tektonickej evolúcie. Všetky tieto udalosti súviseli so subdukciou Meliatskeho oceánu vo vrchnej jure (cf. Kozur a Mock, 1995; Dallmeyer et al., 2008). Jej existencia je presvedčivo doložená p-T parametrami HP/LT metamorfózy v hačavskej formácii príkrovu Bôrky (Faryad, 1995, 1997).

Záver

Skúmanie foriem výskytu a zloženia modrého sodného amfibolu zo silicitov a bazaltov reprezentujúcich bloky ofiolitov v melanži jaklovskej formácie meliatika v oblasti Jakloviec nás priviedlo k nasledujúcim záverom:

- Modrý sodný amfibol tvoriaci samostatné žilky alebo reliktu v žilkách tvorených aktinolitom, \pm kalcitom, \pm albitom, \pm epidotom zložením zodpovedá magnezioriebeckitu, zriedkavejšie riebeckitu.

- Žilky magnezioriebeckitu/riebeckitu vznikli počas krátkej samostatnej metamorfnej fázy, mladšej ako premeny v silicitoch a bazaltoch na oceánskom dne. Táto fáza predstavuje iniciálne štádium vysokotlakovo-nízkotepelnej subdukčnej metamorfózy fácie modrých bridlíc a krátkodobý nárast tlaku mohol dosiahnuť hodnotu okolo 600 MPa.

- Po vyššielakovej fáze nastala dekompresia a krátka naložená metamorfna fáza v podmienkach fácie zelených bridlíc ($p \approx 300$ MPa).

- Pozorovaný metamorfny vývoj je pravdepodobne odrazom zatiahnutia oceánskych silicitov a bazaltov následkom subdukcie do spodných častí akrečnej prizmy, ich rýchlej exhumácie a následných tektonických procesov. Tieto udalosti súviseli so subdukciou Meliatskeho oceánu vo vrchnej jure.

Podakovanie. Výsledky uvedené v tejto práci sú súčasťou výskumu oceánskych sedimentov a s nimi súvisiacich vulkanitov, podporovaného projektmi APVV-0571-06 a VEGA 1/4035/07. Autori ďakujú Mgr. Viere Kollárovej, PhD., zo Štátneho geologického ústavu D. Štúra za ústretovosť a veľkú pomoc pri riešení analytických problémov súvisiacich so zložením riebeckitu. Rovnako sú zaviazaní vďakou doc. RNDr. Pavlovi Uherovi, CSc., z Katedry ložiskovej geológie PriF UK, ako aj druhému, anonymnému recenzentovi za opravy a konštruktívne pripomienky, ktoré významne prispeli k zlepšeniu tejto práce.

Literatúra

AOKI, K., ITAYA, T., SHIBUYA, T., MASAGO, H., KON, Y., TERABAYASHI, M., KANEKO, Y., KAWAI, T. & MARUYAMA, S., 2008: The youngest blueschist belt in SW Japan: Implication for the exhumation of the Cretaceous Sanbagawa high-P/T metamorphic belt. *J. metamorph. Geol.*, 26, 5, 583 – 602.

ÁRKAI, R., FARYAD, S. W., VIDAL, O. & BALOGH, K., 2003: Very low-grade metamorphism of sedimentary rocks of the Meliata Unit, Western Carpathians, Slovakia: Implications of phyllosilicate characteristics. *Int. J. Earth Sci.*, 92, 68 – 85.

BANNO, S., 1998: Pumpellyite-actinolite facies of the Sanbagawa metamorphism. *J. metamorph. Geol.*, 16, 117 – 128.

BANNO, Y., 2000: Intermediate high-pressure exhumation of the northern segment of the Sanbagawa belt, Saruta-gawa area, central Shikoku, Japan. *Lithos*, 50, 289 – 303.

BANNO, Y., 2001: Chemical compositions of amphiboles in hematite-bearing schists from the Saruta-gawa area in the Sanbagawa belt, central Shikoku, Japan. *Bull. Geol. Surv. Jap.*, 52, 9, 425 – 443.

BOUSQUET, R., EL MAMOUN, R., SADDIQUI, O., GOFFÉ, B., MÖLLER, A. & MADI, A., 2008: Mélanges and ophiolites: Was the Bou-Azzer's ophiolite suite (Morocco) a Franciscan-type wedge during the Pan-African orogeny? In: *Ennih, N. & Liégeois, J.-P. (eds.): The boundaries of the West African Craton. Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, 297, 233 – 247.

BROWN, E. H., 1977: The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *J. Petrology*, 18, 53 – 72.

DALLMEYER, R. D., NEUBAUER, F. & FRITZ, H., 2008: The Meliata suture in the Carpathians: Regional significance and implications for the evolution of high-pressure wedges within collisional orogens. In: *Siegesmund, S., Fügenschuh, B., Froitzheim, N. (eds.): Tectonic aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian system. London, Geol. Soc., Spec. Publ.*, 298, 101 – 115.

ENDERS, M., SPEER, D., MARESCH, W. V. & MCCAMMON, C. A., 2000: Ferric/ferrous iron ratios in sodic amphiboles: Mössbauer analysis, stoichiometry-based model calculation and the high-resolution microanalytical flank method. *Contr. Mineral. Petrology*, 140, 135 – 147.

EVANS, B. W., 1990: Phase relations of epidote-blueschists. *Lithos*, 25, 3 – 23.

FARYAD, S. W., 1995: Phase petrology and p,T conditions of mafic blueschists from the Meliata Unit, West Carpathians, Slovakia. *J. metamorph. Geol.*, 13, 701 – 714.

FARYAD, S. W., 1997: Lithology and metamorphism of the Meliata unit high-pressure rocks. In: *Grečula, P., Hovorka, D. & Putiš, M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. Bratislava, Miner. Slov. – Monogr.*, 131 – 144.

FARYAD, S. W. & DIANIŠKA, I., 1999: Metagabbro with relic richterite from the Permian evaporite mélange near Bohúňovo (Western Carpathians). Abstract. 77 DMG Conf., MinWin 1999, Vienna. *Beihft Europ. J. Mineral.*, 11, 68.

FOTOOHI RAD, G. R., DROOP, G. T. R., AMINI, S. & MOAZZEN, M., 2005: Eclogites and blueschists of the Sistan Suture Zone, eastern Iran: A comparison of P-T histories from subduction mélange. *Lithos*, 84, 1 – 24.

GAAL, L., 1984: Správa z výskumu mezozoika v okolí Jakloviec. *Manuskript. Bratislava, archív Št. Geol. Úst. D. Štúra*, 1 – 22.

GARFAGNOLI, F., MENNA, F., PANDELI, E. & PRINCIPI, G., 2009: Alpine metamorphic and tectonic evolution of the Inzecca-Ghisoni area (southern Alpine Corsica, France). *Geol. J.*, doi: 10.1002/gj.1141, in press.

GILLIS, K. M. & THOMPSON, G., 1993: Metabasalts from the Mid-Atlantic Ridge: New insight into hydrothermal systems in slow-spreading crust. *Contr. Mineral. Petrology*, 113, 502 – 523.

GUALDA, G. A. R. & VLACH, S. R. F., 2005: Stoichiometry-based estimates of ferric iron in calcic, sodic-calcic and sodic amphiboles: A comparison of various methods. *Anais. Acad. Brasil. Cienc.*, 77, 3, 521 – 534.

HAWTHORNE, F. C. & OBERTI, R., 2006: On the classification of amphiboles. *Canad. Mineralogist*, 44, 1 – 21.

HAWTHORNE, F. C. & OBERTI, R., 2007: Classification of the amphiboles. In: *Hawthorne, F. C., Oberti, R., Ventura, G. D. & Mottana, A. (eds.): Amphiboles: crystal chemistry, occurrence and health issues. Revs. Mineral. Geochemistry*, 67, Mineral. Soc. Amer., 55 – 88.

HEFFERAN, K. P., ADMOU, H., HILAL, R., KARSON, J. A., SAQUAQUE, A., JUTEAU, T., BOHN, M. M., SAMSON, S. D. & KORNPROBST, J. M., 2002: Proterozoic blueschist-bearing mélange in the Anti-Atlas Mountains, Morocco. *Precamb. Res.*, 118, 3 – 4, 179 – 194.

- HEY, M. H., 1954: A new review of the chlorites. *Min. Mag.*, 30, 277 – 292.
- HORVÁTH, P., 2000: Metamorphic evolution of gabbroic rocks of the Bódva Valley Ophiolite Complex, NE Hungary. *Geol. Carpath.*, 51, 121 – 129.
- HORVÁTH, P. & ÁRKAI, P., 2005: Amphibole-bearing assemblages as indicators of microdomain-scale equilibrium conditions in metabasites: An example from Alpine ophiolites of the Meliata Unit, NE Hungary. *Mineral. Petrology*, 84, 233 – 258.
- HOVORKA, D., 1977: Keratofýry triasu pri Jaklovciach. *Acta geol. geogr. Univ. Comen., Geol.*, 32, 57 – 77.
- IŠTVAN, J., 1984: Geologické pomery v oblasti Margecian, Jakloviec a Krompách. Diplomová práca. Bratislava, archív Katedry geológie a paleontológie PriF UK, 1 – 51.
- IVAN, P., 2002: Relics of the Meliata Ocean crust: Geodynamic implications of mineralogical, petrological and geochemical proxies. *Geol. Carpath.*, 53, 245 – 256.
- IVAN, P., 2004: Indície metamorfických podmienok fácie modrých bridlíc v polyštádióvo metamorfovaných paleozoických komplexoch rakoveckej a zlatníckej skupiny gemerika. *Miner. Slov.*, 36, 2, Geovest., 11.
- IVAN, P., 2006: Suprasubdukčný vznik Meliatskeho oceánu: dôkazy z geochemického štúdia slabo metamorfovaných bazaltov meliatskej jednotky. In: *Ďurža, O. & Rapant, S. (eds.): Geochémia 2006. Konf., Symp., Sem. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 121 – 123.*
- IVAN, P., 2007a: Litostratigrafické jednotky príkrovu Bôrky: ich stručná charakteristika a možný pôvod. In: *Jurkovič, L. (ed.): Geochémia v súčasných geologických vedách. Cambelove dni 2007 Bratislava, Univerzita Komenského, 42 – 48.*
- IVAN, P., 2007b: Nález retrogresne zmenených glaukofanitov meliatika(?) v okolí Dobšinej: petrograficko-geochemická charakteristika a geodynamické prostredie vzniku. In: *Ďurža, O. & Rapant, S. (eds.): Geochémia 2007. Konf., Symp., Sem. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 49 – 51.*
- IVAN, P. & MÉRES, Š., 2009: Enkláva metamorfitu fácie modrých bridlíc v dobšinskom serpentinitovom lome – dôkaz spojitosti ultrabázického telesa s hačavskou formáciou príkrovu Bôrky. *Miner. Slov.*, 41, 4, 407 – 418.
- KAMENICKÝ, J., 1957: Serpentinity, diabázy a glaukofanitické horniny triasu Spišsko-gemerského rudohoria. *Geol. Práce, Zoš.*, 45, 5 – 108.
- KAPP, P., YIN, A., MANNING, C. E., MURPHY, M., HARRISON, T. M., SPURLIN, M., LIN, D., DENG, X.-G. & WU, C.-M., 2000: Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet. *Geology*, 28, 19 – 22.
- KIMURA, G. & LUDDEN, J., 1995: Peeling oceanic crust in subduction zones. *Geology*, 23, 3, 217 – 220.
- KOZUR, H. & MOCK, R., 1995: First evidence of Jurassic in the Folkmar Suture Zone of the Meliaticum in Slovakia and its tectonic implications. *Miner. Slov. (Bratislava)*, 27, 301 – 307.
- LAIRD, J. & ALBEE, A. L., 1981: Pressure, temperature and time indicators in mafic schist: Their implication to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. *Amer. J. Sci.*, 281, 127 – 175.
- LEAKE, B. E., WOOLEY, A. R., ARPS, C. E. S., BIRCH, W. D., GILBERT, M. C., GRICE, J. D., HAWTHORNE, F. C., KATO, A., KISCH, H. J., KRIVOVICHEV, V. G., LINTHOUT, K., LAIRD, J., MANDARINO, J., MARESCH, W. V., NICKEL, E. H., ROCK, N. M. S., SCHUMACHER, J. C., SMITH, D. C., STEPHENSON, N. C. N., UNGARETTI, L., WHITTAKER, E. J. W. & YOUZHI, G., 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. *Min. Mag.*, 61, 295 – 321.
- LIU, J. G. & MARUYAMA, S., 1987: Parageneses and compositions of amphiboles from Franciscan jadeite-glaucophane type facies series metabasites at Cazadero, California.
- MALASOMA, A., MARRONI, M., MUSUMECI, G. & PANDOLFI, L., 2006: High-pressure mineral assemblage in granitic rocks from continental units, Alpine Corsica, France. *Geol. J.*, 41, 1, 49 – 59.
- MARUYAMA, S. & LIU, J. G., 1985: The stability of Na-Ca pyroxene in low-grade metabasites of high-pressure intermediate facies series. *Amer. Mineralogist*, 70, 16 – 29.
- MELLO, J., ELEČKO, M., PRISTAŠ, J., REICHWALDER, P., SNOPO, L., VASS, D., VOZÁROVÁ, A., GAÁL, L., HANZEL, V., HÓK, J., KOVÁČ, P., SLAVKAY, M. & STEINER, A., 1997: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 1 – 255.
- MELLO, J., FILO, I., HAVRILA, M., IVAN, P., IVANIČKA, J., MADARÁS, J., NÉMETH, Z., POLÁK, M., PRISTAŠ, J., VOZÁR, J., VOZÁROVÁ, A., LIŠČÁK, P., KUBEŠ, P., SCHERER, S., SIRÁŇOVÁ, Z., SZALAIÓVÁ, V. & ŽÁKOVÁ, E., 2000: Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského raja, Galmusu a Hornádskej kotliny 1 : 50 000. Bratislava, GS SR, Vyd. D. Štúra, 1 – 303.
- MELLO, J., REICHWALDER, P. & VOZÁROVÁ, A., 1998: Bôrka nappe: High-pressure relic from the subduction-accretion prism of the Meliata ocean (Inner Western Carpathians, Slovakia). *Slovak Geol. Mag.*, 4, 261 – 273.
- MOCK, R., SYKORA, M., AUBRECHT, R., OŽVOLDOVÁ, L., KRONOME, B., REICHWALDER, P. & JABLONSKÝ, J., 1998: Petrology and petrography of the Meliaticum near the Meliata and Jaklovce villages, Slovakia. *Slovak Geol. Mag.*, 4, 223 – 260.
- OTSUKI, M. & BANNO, S., 1990: Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *J. metamorph. Geol.*, 8, 425 – 439.
- TOPUZ, G., OKAY, A. I., ALTHERR, R., SATIR, M. & SCHWARZ, W. H., 2008: Late Cretaceous blueschist facies metamorphism in southern Thrace (Turkey) and its geodynamic implications. *J. metamorph. Geol.*, 26, 895 – 913.
- WOOLEY, A. R., 2001: Alkaline rocks and carbonates of the world. Part 3: Africa. 2. Vyd. Bath, Geol. Soc. publish. House, 1 – 372.
- ZANE, A., SASSI, R. & GUIDOTTI, C. V., 1998: New data on metamorphic chlorite as a petrogenetic indicator mineral, with special regard to greenschist-facies rocks. *Canad. Mineralogist*, 36, 713 – 726.
- ZANE, A. & WEISS, Z., 1998: A procedure for classifying rock-forming chlorites based on microprobe data. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 9, 1, 51 – 56.
- ZLOCHA, J., 1995: Ložiská azbestu. In: *Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria. Zv. 1. Bratislava, Miner. Slov., Monogr.*, 675 – 686.

Rukopis doručený 30. 11. 2009

Revidovaná verzia doručená 9. 2. 2010

Rukopis akceptovaný red. radou 17. 2. 2010

Magnesioriebeckite in red cherts and basalts (Jaklovce Fm. of the Meliatic Unit, Western Carpathians): An indicator of initial stage of the high-pressure subduction metamorphism

The Mesozoic formations of the Meliatic Unit are represented by mélanges with olistoliths of magmatic and sedimentary rocks formed originally at the bottom and marginal parts of the former Meliata Ocean. Only formations belonging to the Bôrka nappe were metamorphosed in the high-pressure/low-temperature (HP/LT) conditions. For the other formations anchimetamorphic to greenschist facies metamorphic conditions have been proposed (Mello et al., 1997; Mello et al., 1998; Mello et al., 2000; Ivan, 2002; Árkai et al., 2003; Dalmayer et al., 2008). However, during the last years the indices of HP/LT metamorphic stage in the Bodva valley ophiolite Fm. have been found (Faryad and Dianiška, 1999; Horváth, 2000; Horváth and Árkay, 2005). The finding of such indices in the Jaklovce Fm. we are describing in this paper.

In the Jaklovce Fm. the Triassic carbonates, clastic sediments and ophiolites form olistoliths in the Jurassic sedimentary matrix. In the area of the Jaklovce village the olistolith composed of effusive basalts together with Upper Anisian to Lower Ladinian sericite-quartzite schists, cherts and radiolarites crop out (Fig. 1; Kamenický, 1957; Ištvan, 1984; Gaal, 1984; Kozur and Mock, 1995; Mock et al., 1998). Basalts display geochemical signature transitional between BABB and N-MORB types and together with sediments represent the uppermost part of the typical oceanic crust profile (Mock et al., 1998; Ivan, 2002, 2006).

Thin veinlets (up to 5 mm) or oriented veinlet networks of the blue sodic amphibole or bluish-green products of its transformation have been locally found in cherts, radiolarites and basalts as well (Fig. 2A – B). Veinlets are fully filled by the aggregate of radial or fan-like oriented acicular Na-amphibole crystals intensively pleochroic (Figs. 2C – E and 3A). In the studied sample of radiolarite they are non-conformable oriented to the plains of hematite pigment concentrations formed by diagenetic(?) silica mobilization, in basalts, which are relatively very fresh with well-preserved magmatic mineral associations and textures, they intersect veins of smectite partly replaced by chlorite. The sodic amphibole veinlets are mostly replaced by aggregate of randomly oriented columnar bluish actinolite. Also some calcite, albite and epidote are locally presented. Tiny relics of sodic amphibole only are preserved inside actinolite or albite (Figs. 2F and 3B).

Chemical compositions of blue amphiboles, actinolite, chlorite and smectite have been studied by electron microprobe CAMECA SX 100 at the D. Štúr State Geological Institute in Bratislava. The microprobe operated at 15 kV accelerating voltage and 20 nA beam current, counting time 20 s and beam diameter 2 – 10 μm ; standards: Si, Ca – wollastonite, Ti – TiO_2 , Al – Al_2O_3 , Cr – elementary chromium, Fe – fayalite, Mn – rhodonite, Mg – forsterite, Na – albite, K – orthoclase. Sodic and sodic-calcic amphibole stoichiometric formulas were calculated by

the 13eCNK method according to references from Enders et al. (2000) and Gualdo and Vlach (2005). The calcic amphibole stoichiometric formulas were calculated using the method by Schumacher (in Leake et al., 1997) according to references from Gualdo and Vlach (2005). Results are listed in the Tables 1 to 3. Most of our analyses of sodic amphiboles display excess of silica, which is generally interpreted as an analytical problem. Nevertheless such excess is observable not only in control analyses but also in the analogical data published from another localities (e.g. Hefferan et al., 2002). It could not be excluded that there is analytical error combines with further reason – maybe tiny quartz inclusions. But no important effect follows from the silica excess on interpretation of these analytical data.

In the amphibole classification scheme by Leake et al. (1997) most of the blue sodic amphiboles correspond to magnesioriebeckite, some relics from veinlets in basalt are riebeckites (Fig. 4) and also Na-Ca amphibole ferrowinchite has been identified (Fig. 5). All other amphiboles are actinolites (Fig. 6). Amphiboles of retrogressed blueschists from the further formations of the Meliatic Unit and from the neighbouring Gemic Unit are shown for comparison. As follows from Al^{IV} vs. Na^{B} (Brown, 1977; Fig. 7) and $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Si})$ vs. $\text{Na}/(\text{Na} + \text{Ca})$ (Laird and Albee, 1981; Fig. 8) diagrams, amphiboles from the Jaklovce area are similar in composition to other aforementioned amphiboles but they differ in generally lower Al^{IV} and $\text{Al}/(\text{Al} + \text{Si})$ values respectively. Manifestation of this fact is also the lower glaucophane end-member content in the most of studied amphiboles (Figs. 9 and 10) in comparison with the other riebeckitic amphiboles from the basic rocks of adjacent units and selected world localities as well. Low aluminium contents display riebeckites from the rocks with the high silica content.

Magnesioriebeckite/riebeckite is a mineral of the magmatic or metamorphic origin. Magmatic riebeckite together with arfvedsonite is a typical rock-forming mineral of the more evolved alkali magmas (e.g. Wooley, 2001), whereas metamorphic riebeckite is mostly related to subduction metamorphism being created in the lower range of the blueschist facies conditions (Liou and Maruyama, 1987; Maruyama and Liou, 1988). Magnesioriebeckite/riebeckite, as a product of subduction-related metamorphism, is known from many ophiolite complexes e.g. in Japan, California, Tibet or Corsica (Liou and Maruyama, 1987; Maruyama and Liou, 1988; Suzuki and Ishizuka, 1998; Banno, 2000; Kapp et al., 2000; Malasoma et al., 2006; Aoki et al., 2008; Garfagnoli et al., 2009). It was found not only in metabasalts but also in the metamorphosed cherts and radiolarites (Fotoohi Rad et al., 2005; Garfagnoli et al., 2009). Composition of magnesioriebeckite/riebeckite seems to be a function of

the p-T conditions of the formation and together with the composition of the mother rock (Bousquet et al., 2008). The Al^{IV} value rises progressively with the metamorphic temperature, Al^{VI} and Na^B values with the pressure. The high silica content in the mother rock seems to transfer from the composition of amphibole closer to pure magnesioriebeckite/riebeckite (Fig. 10).

The magnesioriebeckite/riebeckite in the cherts, radiolarites and basalts from the Jaklovce village represents probably a product of the single short-lasting metamorphic event at elevated pressure conditions. In comparison to occurrences at other localities in the Meliatic and Gemeric units and majority of the selected world localities it seems to be formed at slightly lower p-T-conditions (lower Al-content of magnesioriebeckite from basalts). The quantitative

determination of these conditions is problematic due to lack of suitable mineral pairs or association, but $p \approx 600$ MPa, which follows from empirical geobarometer (Brown, 1977; Fig. 7) for ferrowinchite, could be the reasonable minimum pressure estimation. Temperature does not significantly exceed the lower boundary of the blueschist facies stability field. The high-pressure metamorphic stage was changed by the decompression and short-lasting metamorphic overprint in the greenschist facies conditions ($p \approx 300$ MPa). All this metamorphic evolution was probably connected with the subduction of the Meliata Ocean in Upper Jurassic, when rocks from the uppermost part of the subducting slab were involved into lower part of an accretionary prism, consequently exhumed and tectonized.