ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CIII (2018): 2, 39–51, 2018

CHRÓMEM BOHATÉ SPINELY ZE SVRCHNOKARBONSKÝCH BALINSKÝCH SLEPENCŮ JIŽNÍ ČÁSTI BOSKOVICKÉ BRÁZDY

CHROMIUM RICH SPINELS OF UPPER CARBONIFEROUS BALINKA CONGLOMERATES FROM SOUTHERN PART OF BOSKOVICE GRABEN

PAVLA HRŠELOVÁ, STANISLAV HOUZAR & DAVID BURIÁNEK

Abstract

Hršelová, P., Houzar, S., Buriánek, D. (2018): Chrómem bohaté spinely ze svrchnokarbonských balinských slepenců jižní části boskovické brázdy. – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol. 103, 2, 39–51.

Chromium rich spinels of Upper Carboniferous Balinka conglomerates from south part of Boskovice Graben

Balinka conglomerates formed the basal Upper Carboniferous sedimentation of Boskovice Graben and locally contain light-green fine-grained aggregates of Cr-mica and clay minerals. During the study of these phyllosilicates, relicts of Cr-rich spinel were found. Cr-rich spinel is a common minor to accessory mineral in the Moldanubian peridotites. Two principal compositional types of spinel from Balinka conglomerates were identified: a) low Cr# (0,1–0,3) and high Mg# (0,71–0,76), which correspond to spinels from Hrubšice peridotite (Fo-Spl-Opx±Prp) analysis and b) high Cr# (0,72–0,77) and middle Mg# (0,43–0,51), which correspond to spinel analysis from Hrubšice serpentinite (Srp-Spl). Studied Cr-spinels from Hrubšice peridotite to serpentinite consist of variable amount of TiO_2 what shows limited using of this plot for distinguish between origin of spinel, which is common use in literature. Grains of partially corroded garnets were found in heavy fraction.

Key words: chromium spinel, chemical composition, Balinka conglomerate, Boskovice Graben, Hrubšice peridotite

Pavla Hršelová, Stanislav Houzar, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 659 37, Brno, Czech Republic, e-mail: phrselova@mzm.cz, shouzar@mzm.cz

David Buriánek, Czech Geological Survey, branch Brno, Leitnerová 22, 602 00, Brno, Czech Republic, e-mail: david.burianek@geology.cz

1. ÚVOD

Boskovická brázda náleží k sedimentárním pánvím charakteru příkopů s terestrickou výplní, které vznikaly v souvislosti s tektonickou aktivitou v samém závěru variské orogeneze ve svrchním stefanu, jejíž sedimenty se ukládaly na krystalinikum nebo diskordantně na starší spodnokarbonský pokryv. Na jihu boskovické brázdy započala tato svrchnokarbonská sedimentace klastiky charakteru brekcií až slepenců, tzv. balinskými slepenci.

V nejsvrchnějším karbonu se na těchto klastikách v příznivých areálech jezerní sedimentace vytvořily uhelné sloje, těžené od 18. století mezi Rosicemi a Oslavany (Jaroš a Malý 2001, Houzar *et al.* 2017).

Při výzkumu těchto bazálních balinských slepenců byly zjištěny nápadně zelené angulární minerální agregáty, tvořené Cr-illitem a Cr-muskovitem (Houzar *et al.* 2013). V současnosti nový výzkum zjistil větší rozšíření chrómových slíd v těchto slepencích a je studována jejich geneze a litologický význam.

Pro diskusi geneze těchto Cr-slíd je zásadní zjištění spinelidů bohatých chrómem mezi těžkými minerály pojiva balinských slepenců, které z těchto hornin nebyly donedávna vůbec známy. Jejich charakteristice je věnována tato studie.

2. GEOLOGICKÁ SITUACE

Boskovická brázda je úzký pruh permokarbonských sedimentů probíhající ve směru SSV – JJZ, předurčený zlomy různého charakteru, stáří a částečně až hlubinného dosahu (Čepek 1945, Jaroš 1961). V jejím podloží probíhá převážně tektonický kontakt několika samostatných jednotek západnější moldanubické zóny s moravikem, nejzápadnější částí brunovistulika (Malý 1962).

Západní okraj a podloží větší části brázdy tvoří horniny západomoravského krystalinika, které se skládá z několika jednotek. Postupně od S k J (od podloží k tektonickému nadloží) následuje moravikum, svratecké krystalinikum a moldanubikum. Moravikum svratecké klenby je reprezentováno hlavně jednotkou Bílého potoka a bítešskými ortorulami (obě nasunuté na paraautochtonní jádro svratecké klenby). V nadloží bítešské ortoruly vystupuje pestrý vývoj pararul, svorů, mramorů a grafitových hornin (olešnická jednotka) a jižněji svory, amfibolity a migmatity analogické svrateckému krystaliniku (Buriánek, ed. 2011). Na nich spočívají moldanubické biotitické pararuly s amfibolity a ojedinělými mramory; všechny tyto subjednotky vystupují převážně v podloží permokarbonu mezi Oslavany-Balinkou a Oslavany (Malý 1962). Nejvyšší tektonickou pozici zaujímá gföhlská jednotka moldanubika se světlými migmatity („gföhlskými rulami"), Grt+Ky ±Bt granulity, serpentinity a eklogity; část podloží boskovické brázdy od Nové Vsi u Oslavan až po Rakšice u Moravského Krumlova tvoří těleso „hrubšického serpentinitu" (Jaroš a Malý 2001).

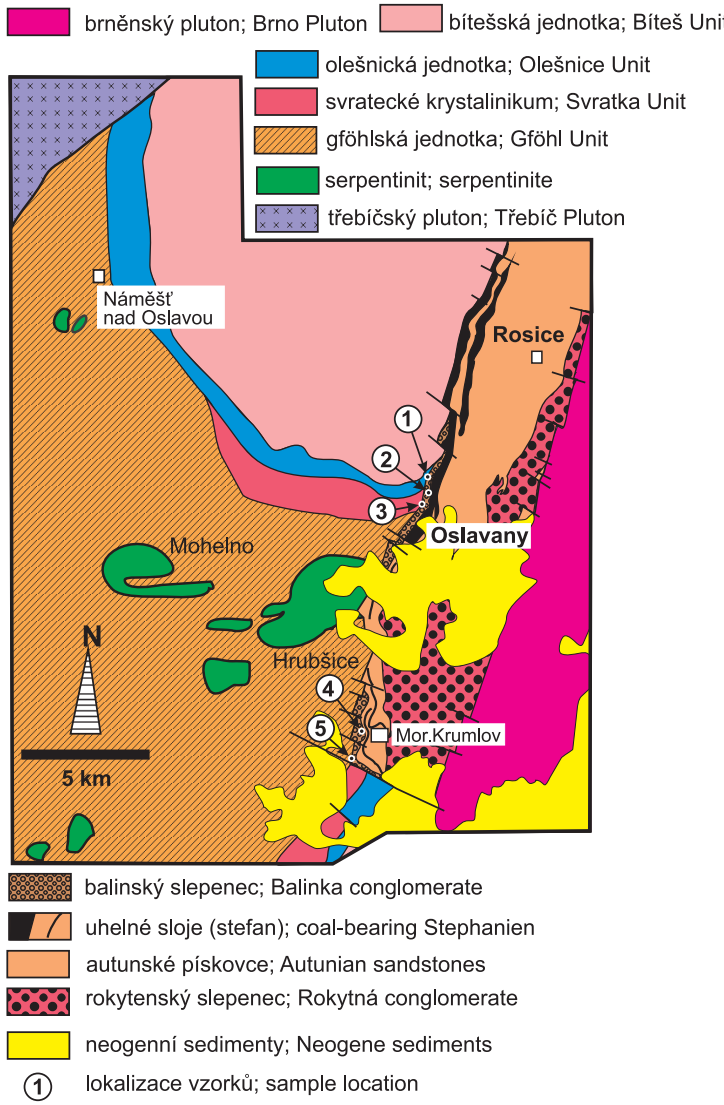
Na východním okraji jižní části brázdy vystupuje dyjsko-ivančický pluton (Cháb *et al.* 2008), ve starší literatuře označovaný jako západní část brněnského masivu (plutonu). Je tvořen granodiority až diority s enklávami rul, migmatitů, amfibolitů a vápenatosilikátových rohovců. Při jeho tektonickém styku s permokarbonem vystupují v tektonických šupinách devonské vápence a spodnokarbonské klastické sedimenty. Spodnokarbonské droby jsou zmiňovány i z podloží východní části boskovické brázdy u Oslavan (Malý 1966).

Výplň jižní části boskovické brázdy je asymetrická a materiál permokarbonských sedimentů byl derivován převážně z blízkého okolí, Při jejím západním okraji vystupují nejspodněji uložené svrchnokarbonské **balinské slepence**, které směrem do nadloží přecházejí do šedě zbarvených cyklů tvořených převážně pískovci a aleuropelity, v nichž jsou vyvinuty 1–3 uhelné sloje (**rosicko-oslavanské souvrství**). Hranice karbon-perm leží několik desítek metrů nad nejvyšší uhelnou slojí. Severně od Oslavan je lokálně zvýrazněna polohou vulkanitu, z jehož zirkonů bylo zjištěno stáří ~299 Ma (Opluštil *et al.* 2017). Nadložní **padochovské souvrství** (spodní perm) tvoří převážně žlutohnědé i červenohnědé arkózové pískovce, střídající se s aleuropelity a slepenci, ojediněle s bituminózními a vápnitými sedimenty. Ekvivalentem tohoto sedimentárního sledu na východě jsou hrubozrnné **rokytenské slepence** tvořené převážně valouny drob; místy obsahují i valouny devonských vápenců a ojediněle magmatických hornin brunovistulika (Jaroš a Malý 2001).

2.1 Balinské slepence

Bazální balinské slepence jsou středně zrnité až hrubozrnné, polymiktní, převážně hnědočerveně zbarvené a jejich maximální mocnost je obvykle několik desítek metrů. Jednotlivé polohy slepenců se vyznačují navzájem velkou petrografickou variabilitou valounů. Jsou tvořeny převážně málo zaobleným klastickým materiálem, v němž dominují ruly, migmatity, svory a fylity, pocházející z přilehlého západomoravského krystalinika. Předpokládá se relativně krátký transport klastické složky (řádově stovky metrů až první kilometry) a většina těchto slepenců (až brekcií) na počátku sedimentace zarovnávala hlavně ne-

rovnosti podloží (Malý 1966, Jaroš a Malý 2001). Lokálně časté jsou ve valounech slepenců kulmské droby a jemnozrnné červeně zbarvené valounky devonských (?) pískovců (Malý a Uhrová 1985). Na klasické lokalitě v údolí Balinky mohou dokonce valouny drob místy převládat nad materiálem krystalinika (Jaroš 1964). V jižní části boskovické brázdy v nich byly lokálně zjištěny zmíněné sytě („malachitově“) zelené jemnozrnné agregáty Cr-slíd a jílových minerálů o převažující velikosti 5–10 mm (Houzar *et al.* 2013). V podrobnější charakteristice balinských slepenců odkazujeme na údaje v zevrubné rešerši věnované geologii a petrografii jižní části boskovické brázdy a zejména k literatuře v ní citované (Houzar *et al.* 2017).



Obr. 1. Topograficko-geologická pozice studovaných vzorků.
Fig. 1. Topographic and geological position of studied sample.

3. METODIKA

Bylo studováno 5 lokalit balinských slepenců (obr. 1):

(1) Oslavany-Balinka (výchozy slepenců uložené na muskovit-biotitických svorech až fylitech za „Havírnou"); (2) Oslavany-Nový Svět (výchozy na levém břehu Neslovického potoka; uloženy na muskovitických svorech); (3) Oslavany (výchozy na bázi permokarbonu na profilu podél řeky Oslavy; uloženy na migmatitech se svory); (4) Moravský Krumlov (výchozy v korytu náhonu „za bývalým lesním úřadem"; podloží neznámé); (5) Rakšice (pravý břeh Dobřínského potoka při počátku rybníka zjz. od hráze; podloží migmatity s granátickým peridotitem, v nadloží šedé břidlice s tenkou slojkou uhlí).

Na studovaných lokalitách bylo odebráno cca 10 kg slepenců, které byly mechanicky rozdruženy a z každého vzorku byla odstraněna hrubá frakce (nad 2 mm). Podsítná část vzorku byla zachycena na rýžovací pánve a rozplavena. Rýžováno bylo za pomocí plastové kónické pánve s drážkami, následně hladké kónické pánve („čínský klobouk"). Získané těžké minerály byly vysušeny. Jednotlivé TM byly separovány pod binokulárním mikroskopem.

Z vyseparovaných TM byla vybraná zrna spinelidů na ÚGV PřF MU (doc. J. Štelcl) vakuově napařena uhlíkem a byla provedena EDX analýza fází pro studium povrchů zrn a pro identifikaci fází na elektronovém rastrovacím mikroskopu JEOL 6490-LV s připojeným EDX analyzátorem (urychlovací napětí 15 kV, délka načítání ED spektra 60 s). Z každého vzorku byly současně provedeny chemické analýzy a fotodokumentace.

Na ÚGV PřF MU byly také z odebraných hornin zhotoveny výbrusy hornin a tablety s vyseparovanými TM. Dva leštěné výbrusy hornin z hrubšického serpentinového tělesa poskytlo pracoviště České geologické služby v Brně.

Chemické složení spinelidů bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalyzátoru CAMECA SX 100 na společném pracovišti Ústavu geologických věd, PřF MU a ČGS v Brně za podmínek: urychlovací napětí 15 keV a proud svazku 20 nA. Vzorec spinelidů byl vypočítán normalizací na 4 kyslíky a železo rozpočteno na Fe^{2+} a Fe^{3+}. Jako standardy byly u spinelidů použity dobře definované přírodní a syntetické minerální fáze: (Fe), Mn_2SiO_4 (Mn), anatas Hardangervidda (Ti), wollastonit (Ca), sanidin (Al), olivín (Mg), titanit (Si), chromit (Cr), gahnit (Zn), vanadinit (V, Cl) a Ni_2SiO_4 (Ni). Pro ostatní analyzované minerály byly použity albit (Na), sanidin (Si, Al, K), almandin (Fe), spesartin (Mn), baryt (Ba), ortoklas (K), titanit (Ti), andalusit (Si), Mg_2SiO_4 (Mg), fluorapatit (P), YAG (Y), topaz (F), Rb leucit (Rb), $SrSO_4$ (Sr), $ScVO_4$ (Sc). Získaná data byla zpracována pomocí korekce PAP (Pouchou a Pichoir 1985).

Zhodnoceno bylo cca 70 chemických analýz chromspinelidů, 50 z pojiva balinských slepenců a 20 analýz Cr-spinelidů z přilehlého ultrabazického tělesa u Hrubšic, které byly studovány pro srovnání. V TiO_2-Al_2O_3 diagramu byly rovněž využity analýzy spinelidů z padochovského souvrství (Nehyba *et al.* 2012).

4. CHEMICKÉ SLOŽENÍ CR-SPINELIDŮ A JEJICH MOŽNÉ ZDROJOVÉ HORNINY

Minerály ze skupiny spinelu (spinelidy) jsou rozšířené minerály s obecným chemickým vzorcem AB_2O_4. Na základě dominantního obsazení trojmocného ionu v pozici B se dělí do tří skupin: Al^{3+}-, Fe^{3+}- a Cr^{3+}-spinely. Chrómem bohaté spinelidy jsou součástí ultrabazických, méně i bazických plutonických a vulkanických hornin různého původu. Náleží v nich nejen k typickým akcesorickým minerálům, ale mohou tvořit i masivní agregáty s ložiskovým významem jako surovina chrómu (Barnes a Roeder 2001).

Chrómem bohaté spinelidy odrážejí podmínky magmatické krystalizace stejně jako metamorfní rekrystalizace a jsou často využívány i jako provenienční materiál sedimentárních hornin. Jak je zřejmé z různých diskriminačních diagramů (srov. např. Čopjako-

vá 2007), pouhé chemické složení Cr-spinelidů bez zhodnocení celkové minerální asociace často neposkytuje jednoznačná data o jejich geotektonickém původu, neboť je výsledkem komplexních procesů, počínaje složením a vývojem magmatu, možným metamorfním přepracováním a následnými alteracemi, od hydrotermálních procesů až po přeměny v supergenní zóně. Pro získání petrogenetických informací z chemického složení spinelů se obvykle používá tzv. Cr-číslo (Cr #), které je dáno poměrem Cr/(Cr+Al), a Mg-číslo (Mg#) = Mg/(Mg+Fe^{2+}), poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} a obsah TiO_2. Cr-číslo představuje pro magmatické spinely důležitý indikátor stupně frakcionace magmatu, chemického složení magmatu a teploty vzniku spinelu. Frakcionace Mg a Fe^{2+} mezi spinelidy a silikátovou taveninou je silně teplotně závislá a poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} odráží fugacitu O_2. Složení spinelidů může být pozměněno i metamorfózou od úrovně střední amfibolitové facie (např. Barnes 2000, Kamenetsky *et al.* 2001, Scoon a Costin 2018). Změny chemického složení chromitů během metamorfózy závisí na složení koexistujících silikátových minerálů jako je chlorit nebo serpentinové minerály (Barnes 2000). Při prográdní metamorfóze ultrabazických hornin se primární chromit obvykle mění na Fe-chromit nebo dokonce chrómový magnetit, další změny mohou proběhnout při serpentinizaci (Farahat 2008).

Chrómem-bohaté spinelidy jsou na západní Moravě běžnou akcesorickou součástí ultrabazických hornin různého původu. Chromit, magneziochromit a Al-spinely s obsahem Cr se vyskytují v serpentinizovaných peridotitech. Obvyklá minerální asociace je olivín (forsterit), ortopyroxen (enstatit), Cr-spinel ± granát (pyrop) a pargasitický amfibol. Medaris *et al.* (2005) a Medaris a Jelínek (2011) rozlišil tři typy peridotitů: nejhojnější spinelové peridotity I (typ Mohelno), v nichž je vzácný granát (pyrop) pouze v blízkosti kontaktů s okolními granulity, dále pyroxenické peridotity s pyroxenity, relativně bohaté Fe (II typ, prostorově omezený na Horní Bory) a III typ granátických peridotitů (typ Nové Dvory) s vložkami a pásky plášťových eklogitů.

Chrómem bohaté spinelidy tvoří v peridotitech hnědočerná až černá izometrická zrna a oktaedrické krystaly velikosti do několika mm. Nejčastěji jsou rozptýlená, ve spinelových peridotitech a v dunitech tvoří i shluky a pásky, vzácněji masivní polohy (Drahonín, Hrubšice). V granátických peridotitech bývají i ve formě inkluzí v granátech nebo v jejich kelyfitických lemech (Medaris *et al.* 2005, Čopjaková a Houzar 2010, Čopjaková *et al.* 2005).

Chromity a Cr-spinely jsou známy i ze serpentinitů a mastek-tremolitových hornin v brněnském plutonu. Jejich vzácná izolovaná tělesa tam však nedosahují větších rozměrů a patrně nebyly zdrojem Cr-spinelidů pro balinské slepence jižní části boskovické brázdy (Buriánek 2010).

Chrómem bohaté spinelidy jsou rovněž udávány z K-Mg granitů až syenitů třebíčského plutonu, kde tvoří inkluze ve flogopitu, aktinolitickém amfibolu a apatitu, publikovaných údajů je však minimum (Sulovský 2001).

5. VÝSLEDKY

5. 1 Minerální asociace Cr-spinelidů v pojivu balinských slepencích

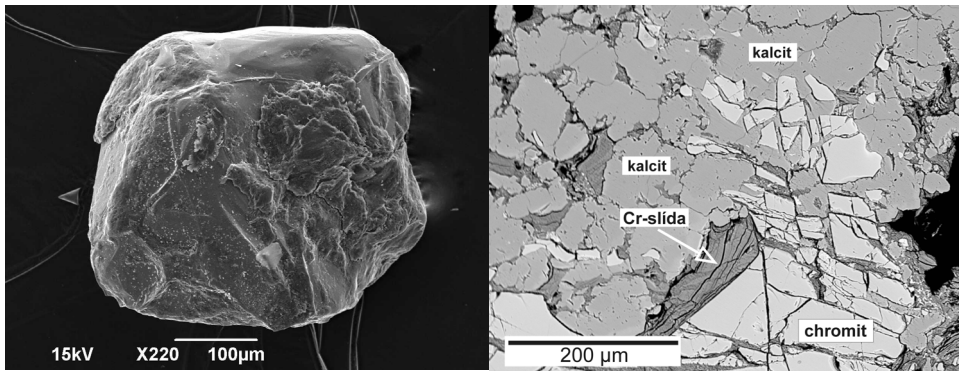
Ve valounové složce balinských slepenců dominují převážně ruly-migmatity, fylity-svory, droby a křemen. Jejich pojivo odpovídá složením silně variabilním arkózovým pískovcům až prachovcům. Je tvořeno, vedle dominujícího křemene a živců, různorodými klasty metamorfovaných, sedimentárních a magmatických hornin, muskovitu a hematitizovaného biotitu. Pojivo se vyznačuje kolísavým podílem kalcitu (0–30 mod. %), částečně s Fe (≤ 0,12 hm. % FeO) a Mn (≤ 2,30 hm. % MnO), místy i dolomitu. Ojediněle jsou zastoupeny nenápadné zaoblené agregáty šedozeleného i bělavého mastku a klasty serpentinitu (Houzar et al. 2013), jejichž maximální velikost se pohybuje řádově v mm.

Těžkou frakci balinských slepenců velikosti < 0.2 mm tvoří převážně velmi chudá minerální asociace. Převládá hematitizovaný chloritizovaný biotit (> 90 obj. %), ostatní těžké minerály jsou vzácnější. Ve všech studovaných vzorcích byl běžně zjištěn pouze granát a zirkon (v nejjemnější frakci), opakní minerály včetně Cr-spinelidů, magnetitu a ilmenitu, a turmalín (celkem cca 10 %), jen lokálně hojnější je turmalín, naopak zcela ojedinělý je rutil, kyanit, apatit a novotvořený pyrit.

Ponecháme-li stranou zmíněný hematitizovaný biotit, jsou nejčastější doprovodné minerály Cr-spinelidů granáty, mezi nimiž lze rozlišit dvě hlavní skupiny. Naprosto převažují **almandinové granáty** (63–91 % Alm) s kolísajícím podílem dalších komponent (hlavně 13–23 % Prp, ojediněle ≤ 12 % Sps), dále byly zjištěny granáty s vyšším podílem **pyropové** složky (57–66 % Prp). Zrna granátů jeví znaky silného postdepozičního orientovaného rozpouštění a vyznačují se korozivními tvary s „parketovaným" povrchem, podobně jak je tomu např. u granátů karbonské hornoslezské pánve (Jirásek *et al.* 2016) nebo kulmských drob (Čopjaková 2007). Vzniklé dutiny po korodovaných granátech vyplňuje obvykle kalcit; granát v něm někdy tvoří kostrovité relikty.

5. 2 Spinelidy balinských slepenců

Množství zrn spinelidů v balinských slepencích značně kolísá, hojné jsou zejména v polohách bohatých zelenými Cr-fylosilikáty. Nachází se zde nejčastěji obklopeny výše zmíněnými fylosilikáty. Zrna spinelidů jsou ve slepencích černá, izometrická, velikosti < 0,5 mm. Vzácně se v centru fylosilikátů dají nalézt i automorfně omezené krystaly spinelidů (obr. 2). Spinelidy jsou ve výbrusech xenomorfně omezené, často rozpraskané a rozlámané. Bývají obklopeny mladšími Cr-fylosilikáty, častá je i přítomnost kalcitu (obr. 2).



Obr. 2. Mírně zaoblený a korodovaný oktaedr chromitu, Oslavany-Balinka (vlevo, foto J. Štelcl). Reliktní Cr-spinel s kalcitem a chromitým muskovitem–illitem (vpravo), Oslavany-Nový Svět (foto P. Gadas).

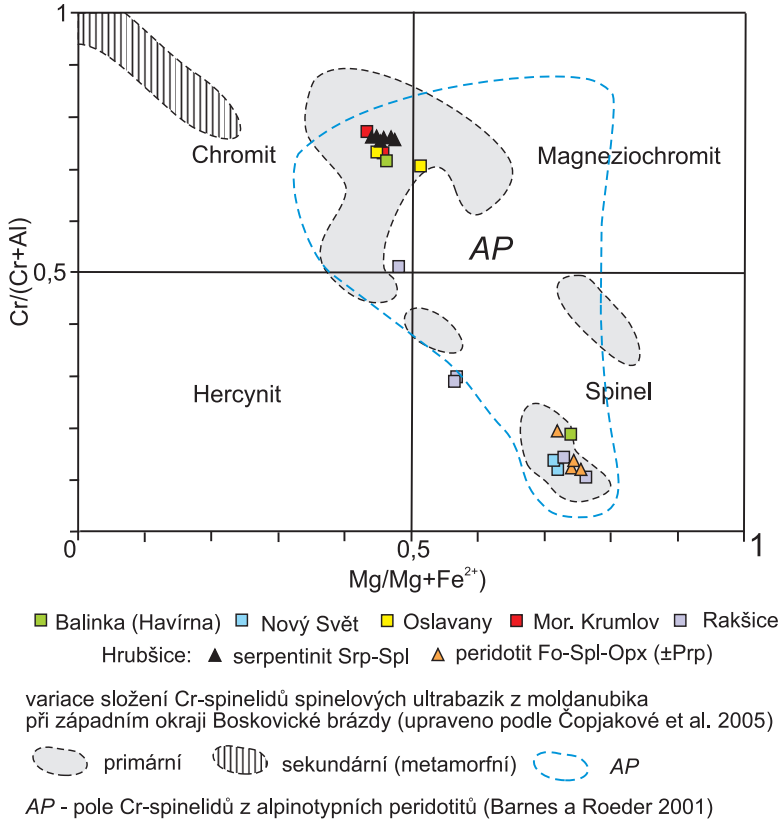
Fig. 2. Slightly rounded and coroded octaedr of chromite, Oslavany-Balinka (left, photo J. Štelcl). Relic of Cr-spinel with calcite and chromian muscovite-illite (right), Oslavany-Nový Svět (BSE photo P. Gadas).

Chemické složení Cr-spinelidů v sedimentech se pohybuje v rozmezí 9,80–56,73 hm. % Cr_2O_3, 0,203–1,472 apfu Cr, přičemž jsou patrné dvě zřetelně oddělené podskupiny s rozdílným obsahem Cr # (< 0,30 a >0,70) a vzhledem k $CrAl_{-1}$substituci s rozdílným Al (11,41–57,31 hm. % Al_2O_3, 0,441–1,766 apfu Al). Odlišit lze i dvě skupiny na základě obsahu (Mg #): MgO 8,84–19,22 hm. %, 0,432–0,749 apfu Mg. Zřetelně kolísá podíl TiO_2 0,00–0,39 hm. %, což odpovídá 0,000–0,010 apfu Ti, (maximální zjištěná hodnota 0,57 hm. % TiO_2, 0,13 apfu Ti), FeO 10,75–20,50 hm. %, 0,235–0,563 apfu Fe^{2+} a Fe_2O_3 1,26–5,20 hm. %, 0,026–0,123 apfu Fe^{3+}; velmi nízký je obsah V_2O_3 0,00–0,28 (výjimečně 0,47 hm. %), 0,000–0,007 (0,011 apfu V); ZnO 0,03–0,41 hm. %, 0,001–0,008 apfu Zn a NiO 0,00–0,42 hm. %, 0,000–0,009 apfu Ni. Zonálnost v jednotlivých zrnech nebyla pozorována. Reprezentativní analýzy jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1. Reprezentativní chemické analýzy Cr-spinelidů z balinských slepenců.
Table 1. Representative chemical analyses of Cr-spinels from Balinka conglomerates.

	Oslavany Balinka	Oslavany Balinka	Oslavany Balinka	Oslavany Nový Svět	Oslavany Nový Svět	Oslavany profil u řeky	Oslavany profil u řeky	Moravský Krumlov	Moravský Krumlov	Rakšice	Rakšice	Rakšice
	50	47	51	76	77	52	52	58	62	61	66	68
	Cr-spinel	Cr-spinel	chromit	Cr-spinel	Cr-spinel	chromit	Mg-chromit	chromit	chromit	Cr-spinel	chromit	Cr-spinel
TiO_2	b.d.	0,08	0,28	0,06	b.d.	0,12	b.d.	0,38	0,39	0,06	0,57	0,09
Al_2O_3	49,36	56,32	13,44	54,06	52,18	13,10	25,32	11,41	13,53	41,21	26,24	54,69
Cr_2O_3	17,67	11,39	52,58	10,75	11,87	53,64	42,96	56,73	54,59	25,77	40,86	12,43
V_2O_3	0,07	0,07	0,10	0,06	0,05	0,14	0,13	0,27	0,28	0,08	0,47	b.d.
Fe_2O_3	2,05	1,26	5,03	4,93	5,20	4,16	2,00	2,46	2,18	2,36	1,90	1,48
FeO	12,72	11,7	19,75	12,42	12,42	19,94	19,29	20,5	19,83	18,13	20,39	11,63
MnO	0,14	0,10	0,30	0,12	0,15	0,31	0,29	0,41	0,30	0,36	0,21	0,11
MgO	17,20	18,84	9,47	18,18	17,73	9,11	10,81	8,84	9,45	13,41	10,62	18,53
ZnO	0,41	0,12	0,18	0,25	0,23	0,19	0,29	0,09	0,09	0,03	0,35	0,24
NiO	0,21	0,34	0,05	0,37	0,37	0,08	b.d.	0,03	0,10	b.d.	0,07	0,27
TOTAL	99,84	100,22	101,17	101,20	100,20	100,79	101,09	101,12	100,74	101,41	101,68	99,47
Ti^{4+}		0,002	0,007	0,001		0,003		0,009	0,010	0,001	0,013	0,002
Al^{3+}	1,578	1,735	0,513	1,675	1,644	0,504	0,912	0,441	0,518	1,371	0,939	1,707
Cr^{3+}	0,379	0,235	1,348	0,223	0,251	1,384	1,038	1,472	1,402	0,575	0,981	0,260
V^{3+}	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,004	0,003	0,007	0,007	0,002	0,011	
Fe^{3+}	0,042	0,025	0,123	0,098	0,105	0,102	0,046	0,061	0,053	0,050	0,043	0,030
Fe^{2+}	0,289	0,256	0,535	0,273	0,278	0,544	0,493	0,563	0,539	0,428	0,518	0,257
Mn^{2+}	0,003	0,002	0,008	0,003	0,003	0,009	0,008	0,011	0,008	0,009	0,005	0,002
Mg^{2+}	0,695	0,734	0,458	0,713	0,706	0,443	0,493	0,432	0,458	0,564	0,481	0,731
Zn^{2+}	0,008	0,002	0,004	0,005	0,005	0,005	0,007	0,002	0,002	0,001	0,008	0,005
Ni^{2+}	0,005	0,007	0,001	0,008	0,008	0,002		0,001	0,003		0,002	0,006
CATSUM	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
O	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

b.d. pod mezí stanovení; below detection limits

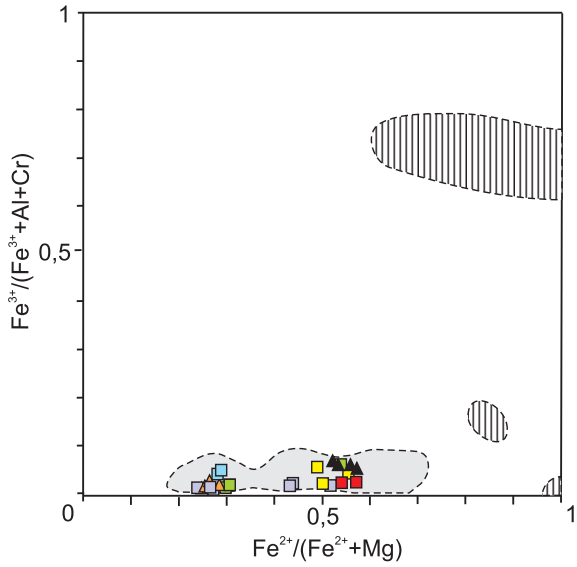


Obr. 3. Chemické složení Cr-spinelidů z balinských slepenců a z peridotitového tělesa Hrubšice.
Fig. 3. Chemical composition of Cr-spinels from Balinka conglomerates and Hrubšice peridotite body.

Chrómové spinelidy balinských slepenců jsou v diagramu soustředěny do dvou polí, pouze několik analýz z Rakšic leží mezi nimi. U spinelů s Cr# v rozmezí od 0,1 do 0,3 se poměr $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ pohybuje v rozmezí 0,71–0,76. Druhou skupinu tvoří chromity s Cr# v rozmezí 0,72–0,77, a Mg# od 0,43 do 0,51. Vzácněji se hodnoty Cr# pohybují okolo 0,5, přičemž Mg# jsou také cca 0,5 (Rakšice, Oslavany).

Do diagramu Mg# – Cr# (obr. 3) byly použity údaje Čopjakové *et al.* (2005) z různých typů variabilně serpentinizovaných spinelových peridotitů (typ I podle Medarise *et al.* 2005), která zahrnula i Cr-spinelidy analyzované Medarisem *et al.* (2005). Chrómem nejbohatší mohou odpovídat chromitům ovlivněným metamorfózou, ostatní by měly odpovídat primárním spinelidům magmatických peridotitů (Čopjaková *et al.* 2005). Problémem zůstává nedostatek údajů a dat o složení a vývoji Cr-spinelidů v jednotlivých typech zmíněných ultrabazických hornin (peridotity vs dunity, lherzolity a harzburgity), ležících při jz. okraji boskovické brázdy.

Dalším důležitým kritériem charakterizujícím složení Cr-spinelidů je poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} (KAMENETSKY *et al.* 2001). Studované spinelidy mají velmi nízký obsah Fe_2O_3 (1,27–5,20 hm. %, 0,026–0,105 apfu Fe^{3+}), poměr Fe^{2+}/Fe^{3+} se pohybuje od 2,65–12,05 (obr. 4).



Obr. 4. Chemické složení studovaných Cr-spinelidů z jižní části boskovické brázdy v porovnání s Cr-spinely z hrubšického hadcového tělesa a s publikovanými daty složení spinelidů z moldanubické oblasti (ČOPJAKOVÁ *et al.* 2005). Vysvětlivky viz obr. 3.

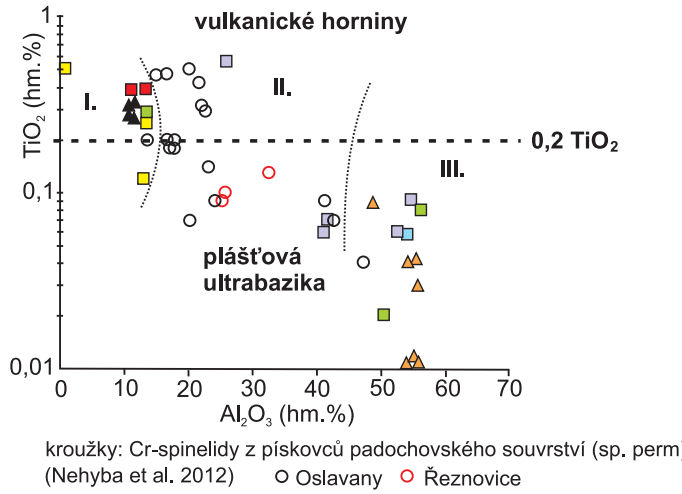
Fig. 4. Chemical composition of studied Cr-spinels from south part of Boskovice graben compared with spinels of Hrubšice serpentinite and Cr-spinel data from Moldanubicum (ČOPJAKOVÁ *et al.* 2005). See fig. 3 for explanations.

Chemické složení spinelidů je poměrně variabilní a mohlo by být vysvětleno přínosem z geneticky odlišných bazických a ultrabazických hornin. V diagramu obr. 5 část analýz leží poblíž rozhraní mezi poli spinelidů z bazických a ultrabazických hornin což zdánlivě tento předpoklad potvrzuje. Nově provedené analýzy spinelidů z ultrabazických hornin moldanubika (ČOPJAKOVÁ *et al.* 2005 a tato práce) ale naznačují, že pozorovaná variabilita představuje spíše výsledek odlišného stupně alterace spinelidů z ultrabazických hornin, spíše než pestré geologické stavby v předpokládané snosové oblasti.

V diagramu TiO_2-Al_2O_3 (obr. 5), který se někdy využívá k rozlišení Cr-spinelidů vulkanických hornin od ultrabazik, lze u studovaných Cr-spinelidů odlišit tři relativně samostatná pole.

První, nejmenší pole I zahrnuje hliníkem chudé (<13 hm. % Al_2O_3) a titanem bohaté (TiO_2 > 0,25) **chromity** ze spinelových serpentinitů od Hrubšic, ze „smíšených slepenců" z Moravského Krumlova a ojedinělé chromity z bazálních balinských slepenců od Oslavan, vzácně i z dalších studovaných lokalit.

K prvnímu poli přiléhá rozsáhlejší II. pole **chromitů** s kolísajícím obsahem Al_2O_3 (15–35 hm. %), relativně bohaté titanem (TiO_2 > 0,07 hm. %), pocházejících z oslavanské části padochovského souvrství boskovické brázdy z Řeznovic a patří k němu i několik analýz odpovídající složením **Cr bohatým spinelům** (NEHYBA *et al.* 2012).



Obr. 5. Diagram zobrazující poměr TiO_2 a Al_2O_3 analyzovaných spinelidů z balinských slepenců a z peridotitu z Hrubšic v porovnání se spinelidy padochovského souvrství (NEHYBA *et al.* 2012). Další vysvětlivky viz obr. 3.

Fig. 5. Discrimination plot of TiO_2 vs. Al_2O_3 for investigated spinels from Balinka conglomerates and Hrubšice peridotite compared with spinels from Padochov Formation (NEHYBA *et al.* 2012. Circles = Cr-spinellide from sandstones of Padochov Formation. See fig. 3 for next explanations.

Třetí, relativně samostatné pole III odpovídá titanem chudým **Cr-spinelům** (Al_2O_3 > 40 hm. %). Zahrnuje Cr-spinely ze spinelového peridotitu s pyropem z Hrubšic (neobsahují Ti nad mezí detekce mikrosondy) a obdobné spinelidy z bazálních balinských slepenců od Rakšic, Oslavan-Nového Světa a ojediněle z Oslavan-Balinky.

Studované Cr-spinelidy ze serpentinizovaných peridotitů u Hrubšic spadají do polí s rozdílnou hodnotou TiO_2 (vulkanické Cr-spinelidy by měly mít obsah TiO_2 > 0,2), což ukazuje na omezenou možnost využití tohoto diagramu pro rozlišení původu spinelidů, jak je běžně uváděno v literatuře a bylo použito i v boskovické brázdě (NEHYBA *et al.* 2012). Zvýšené obsahy Ti spíše souvisejí s úrovní metamorfózy, složením a stupněm serpentinizace zdejších peridotitů.

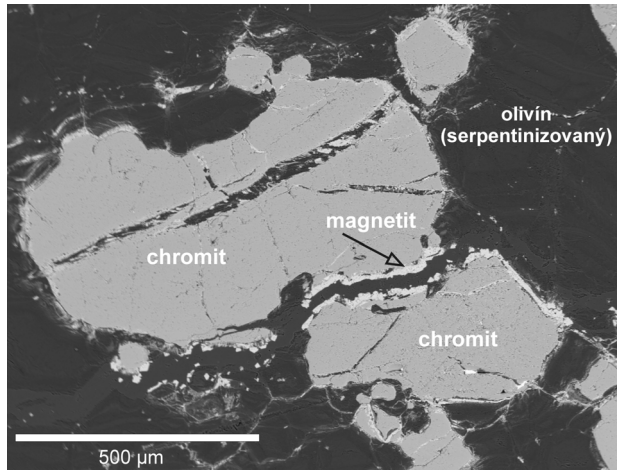
6. DISKUSE PROVENIENCE CR-SPINELIDŮ V BALINSKÝCH SLEPENCÍCH

Složení všech studovaných Cr-spinelidů z balinských slepenců odpovídá složením Cr-spinelidům z ultrabazických hornin okolního moldanubika. Přestože se většina analýz soustředila přibližně do dvou relativně samostatných polí (srv. obr. 3), spadajících do pole alpinotypních ultrabazik (BARNES a ROEDER 2001), je zřejmé, že většina studovaných zrn se svým chemickým složením blíží spinelidům z peridotitů typu I (podle klasifikace MEDARISE *et al.* 2005). Poměrně značná variabilita v obsahu Fe ve studovaných zrnech dokládá přínos z peridotitů různého složení, které byly navíc postiženy metamorfózou a variabilním stupněm serpentinizace které modifikovaly složení primárních spinelidů (FARAHAT 2008).

Podobně také srovnávací analýzy Cr-spinelidů ze zmíněného tělesa serpentinitu u Hrubšic (spinelový typ peridotitu podle MEDARISE *et al.* 2005; lokalitu označuje jako Biskoupky, s různým stupněm serpentinizace) spadají do dvou úzce omezených polí (obr. 3). O tomto tělese však chybějí bližší petrografické a mineralogické údaje, týkající se klasifika-

ce hornin tvořících toto těleso, zejména z pohledu přítomnosti granátu (MEDARIS *et al.* 2005), stupně serpentinizace a texturních typů chromitu a jeho vztahu k magnetitu. To snižuje možnou detailnější korelaci, avšak není v rozporu s výskytem granátu bohatších pyropovou složkou v balinských slepencích.

Za pravděpodobný zdroj Cr-spinelidů považujeme na základě geologické pozice balinských slepenců a chemického složení spinelidů ultrabazické horniny přilehlého moldanubika. Chrómem bohaté spinelidy jsou tam běžně přítomny zejména v peridotitech a serpentinitech (MEDARIS *et al.* 2005, ČOPJAKOVÁ *et al.* 2005, ČOPJAKOVÁ a HOUZAR 2010). Tyto spinelidy jsou charakteristické středním až vysokým Mg# 0,50–0,75, variabilním Cr# (≤ 0,50), přičemž je jasně patrná negativní korelace, kdy s vyšším Cr# klesá Mg#. Vykazují vesměs nízký obsah MnO, ZnO, NiO, TiO_2 a Fe_2O_3. V některých případech bývají obrůstány a zatlačovány magnetitem (obr. 6). Jako relativně odolné a těžké minerály se tyto spinelidy následně dostávají do zvětralinových pokryvů.



Obr. 6. Zrno chromitu v serpentinizovaném spinelovém peridotitu s úzkým nesouvislým magnetitovým lemem (bílý); lokalita Hrubšice (BSE foto P. Gadas).

Fig. 6. Grain of chromite in serpentinized spinel peridotite with thin discontinous rim of magnetite (white); location Hrubšice (BSE photo P. Gadas).

Spinelidy v horninách třebíčského masivu jsou zastoupeny vzácně a podle SULOVSKÉHO (2001) odpovídají poměrně čistému chromitu (Mg# 0,03 – 0,10), který je relativně bohatý na Zn (1,9–3,5 hm. % ZnO). Tento typ spinelidů v balinských slepencích nebyl zjištěn.

Z hlediska složení Cr-spinelidů je patrné, že v balinských slepencích chybějí „sekundární“, výše oxidované Cr-spinelidy (viz samostatné pole s vysokým poměrem Fe^{3+}/Fe^{2+} vpravo nahoře v obr. 4), příp. spinelidy bohaté magnetitovou komponentou. Dvě skupiny Cr-spinelidů z balinských slepenců s kolísajícím podílem železa odpovídají nejspíš rozdílnému složení v primárních horninách.

7. ZÁVĚR

Na základě porovnání minerální asociace a chemického složení Cr-spinelidů z pojiva balinských slepenců s publikovanými údaji (l. c.) z primárních hornin západomoravského

krystalinika lze říci, že zdrojovou oblastí pro tyto spinelidy byla tělesa spinelových (+ortopyroxen ± granát) peridotitů postižená variabilním stupněm serpentinizace. Rozdílnost v jejich chemickém složení odpovídá nejspíše různému stupni přeměny primárních Cr-spinelidů ze serpentinizovaných peridotitů než původu z rozdílných horninových typů (ultrabazika vs vulkanity). Zdrojová alpinotypní ultrabazika, složením odpovídající převážně peridotitům, se nacházejí v podobě větších i menších těles v granulitech gföhlské jednotky moldanubika při západním okraji boskovické brázdy v okolí Rakšic u Moravského Krumlova, Mohelna, Dobřínska, Jamolic, Hrubšic a Biskoupek i v jejím podloží v prostoru od Polánky přes Hrubšice a Řeznovice po Novou Ves.

8. PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum DKRVO, MK000094862 a ČGS 321180 (Základní geologické mapování v měřítku 1:25 000). Děkujeme recenzentům, zejména dr. R. Čopjakové, za přínosné připomínky k práci.

LITERATURA

Barnes, S. J., 2000: Chromite in Komatiites, II. Modification during Greenschist to Mid-Amphibolite Facies Metamorphism. – J. Petrol., 41(3), 387–409.

Barnes, S. J., Roeder, P. L., 2001: The Range of Spinel Compositions in Terrestrial Mafic and Ultramafic Rocks. – J. Petrol., 42, 12, 2279–2302.

Buriánek, D., 2010: Metamorfní vývoj metadioritové subzóny v brněnském batolitu. – Acta Mus. Morav., Sci. geol., 95, 2, 133–152.

Buriánek, D. (ed.)., Bubík, M., Franců, J., Furychová, P., Havlín, A., Gilíková, H., Janderková, J., Konečný, F., Krejčí, Z., Krumlova, H., Kryštofová, E., Kunceová, E., Müller, P., Otava, J., Paleček, M., Pecina, V., Poul, I., Sedláček, J., Skácelová, Z., Šrámek, J., Petrová, P., Verner, K., Večeřa, J., Vít, J., 2011:Vysvětlivky k základní geologické mapě České republiky 1 : 25 000 list 24–341 Oslavany. – Závěrečná zpráva, MS Česká geologická služba, 257 p.

Čepek, L., 1945: Tektonika Boskovické brázdy. – Věst. Stát. geol. Úst. Rep. Českoslov., 20, 128–131.

Čopjaková, R., 2007: Odraz změn provenience v psefitické a psamitické frakci sedimentů myslejovického souvrství - MS, Disertační práce, Přírod. fak. MU v Brně, 81 p.

Čopjaková, R., Houzar, S., 2010: Cr-spinely v peridotitech od Drahonína a Hrubšic. – Minerál, 18, 1, 40–42.

Čopjaková, R., Škoda, R., Pertoldová, J., 2005: Cr-bohaté spinely z ultramafických hornin moldanubika. – Acta. Mus. Morav., Sci. Geol., 90, 89–98.

Evans, B. W., Frost, B. R. (1975). Chrome spinel in progressive metamorphism – a preliminary analysis. – Geochim. Cosmochim. Acta, 39, 959–972.

Farahat, E. S., 2008: Chrome-spinels in serpentinites and talc carbonates of the El Ideid-El Sodmein District, central Eastern Desert, Egypt: their metamorphism and petrogenetic implications. – Chem. Erde – Geochemistry, 68, 2, 193–205.

Houzar, S., Kopečná, P., Štelcl, J., Vávra, V., 2013: Zelená slída s podílem chrómu v balinských slepencích rosicko-oslavanského souvrství (svrchní karbon) u Oslavan. – Acta Mus. Morav., Sci. geol., 98, 1, 3–12.

Houzar, S., Hršelová, P., Gilíková, H., Buriánek, D., Nehyba S., 2017: Přehled historie výzkumů permokarbonských sedimentů jižní části boskovické brázdy (Část 2. Geologie a petrografie. – Acta Mus. Morav., Sci. Geol., 102, 1 – 2, 3–65.

Cháb, J., Breiter, K., Fatka, O., Hladil, J., Kalvoda, J., Šimůnek, Z., Štorch, P., Vašíček, Z., Zajíc, J., Zapletal, J., 2008: Stručná geologie zakladu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. – Česká geologická služba, Praha, 283 p.

Jaroš, J., 1961: Geologický vývoj jižní časti Boskovické brázdy. – Práce Brněnské základny ČSAV, 33, sešit 12, spis 425, 545–569.

Jaroš, J., 1964: K problému označovaní petrografických facií slepenců v permokarbonu Boskovické brázdy. – Čas. Mineral. geol., 9, 1, 95–97, Praha.

Jaroš, J., Malý, L., 2001: Boskovická brázda. In: Pešek, J., ed.: Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky. – Česky geologický ústav, Praha, 208–223.

Jirásek, J., Matýsek, D., Osovský, M., Sivek, M., 2016: Polohy bohaté almandinem v klastických sedimentech sedlových vrstev (česká část hornoslezské pánve). – Bull. Mineral. – petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha). 24, 205–216.

Kamenetsky, V. S., Crawford, A. J., Meffre, S., 2001: Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine Cr-spinel and melt Inclusions from Primitive Rocks. – J. Petrol., 42, 655–671.

Malý, L., 1962: Podloží permokarbonu Boskovické brázdy v oblasti rosicko-oslavanské pánve. – Čas. Morav. muz., Vědy přír., 47, 59–64.

Malý L., 1966: Sledování reliéfu podloží jižní časti Boskovické brázdy. – Zpr. geol. Výzk. za rok 1965, 162–163.

Malý, L., Uhrová J., 1985: K paleogeografii permokarbonu jižní časti boskovické brázdy. – Čas. Morav. muz., Vědy přír., 70, 55–60.

Medaris, G., Wang, H., Jelínek, E., Mihajlevič, M., Jakeš, P., 2005: Chraracteristics and origins of diverse Variscan peridotites in the Gföhl Nappe, Bohemian Massif, Czech Republic. – Lithos, 82, 1, 1–23.

Medaris, G. Jelínek, E., 2011: The Mohelno and Nové Dvory Peridotites: To contrasting Types of Peridotite in the Gföhl Unit. – Geolines, 23, 115–119.

Nehyba, S., Roetzel, R., Maštera, L., 2012: Provenance analysis of the Permo–Carboniferous fluvial sandstones of the southern part of the Boskovice Basin and the Zobing Area (Czech Republic, Austria): implications for paleographical reconstrutions of the Post-Variscan collapse basins. – Geol. Carpath., 63, 5, 365–382.

Opluštil, S., Jirásek, J., Schmitz, M., Matýsek, D., 2017: Biotic changes around radioisotopically constrained Carboniferous – Permian boundary in the Boskovice Basin (Czech Republic). – Bull. Geosciences, 92, 1, 95–122.

Pouchou, J. L., Pichoir, F., 1985: "PAP" (φ – ρ – Z) procedure for improved quantitative microanalysis. In: Armstrong J. T. (ed.): Microbeam Analysis, 104–106. – San Francisco Press.

Scoon N. R., Costin, G., 2018: Chemistry, Morphology and Origin of Magmatic-Reaction Chromite Stringers Associated with Anorthosite in the Upper Critical Zone at Winnaarshoek, Eastern Limb of the Bushveld Complex. – J. Petrology, https://doi.org/10.1093/petrology/egy071

Sulovský, P., 2001: Accessory minerals of the Třebíč durbachite massif (SW Moravia). – Mineralia Slovaca, 33, 467–472.