

<https://doi.org/10.46861/bmp.29.016>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Atolové granáty v bazaltových metapyroklastikách z lokality Čučma - Vincent (Slovenská republika)

Atoll garnets in basalt metapyroclastics from the locality Čučma - Vincent (Slovak Republic)

PETER RUŽIČKA^{1)*}, PAVOL MYŠĽAN²⁾, MARTIN ŠTEVKO^{2, 3)} A SERGII KURYLO⁴⁾

¹⁾Katedra mineralógie, petrológie a ložiskovej geológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, Slovenská republika; *e-mail: peter.ruzicka@uniba.sk

²⁾Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava, Slovenská republika

³⁾Mineralogicko-petrologické oddelení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice, Česká republika

⁴⁾Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, Ďumbierska 1, 974 11 Banská Bystrica, Slovenská republika

RUŽIČKA P, MYŠĽAN P, ŠTEVKO M, KURYLO S (2021) Atolové granáty v bazaltových metapyroklastikách z lokality Čučma - Vincent (Slovenská republika). Bull Mineral Petrolog 29(1): 16-26 ISSN 2570-7337

Abstract

Atoll garnets in basalt metapyroclastics from the locality Čučma - Vincent (Slovak Republic) consist of relict cores and zonal rings. Research was focused on comparison of chemical changes in these garnet microstructures. Relict cores have composition $\text{Sps}_{41.4-45.2}\text{Grs}_{40.6-43.0}\text{Adr}_{6.4-13.6}\text{Alm}_{1.9-6.1}$, inner BSE light zone in the rings has composition $\text{Grs}_{38.2-44.9}\text{Sps}_{39.6-43.7}\text{Alm}_{6.3-12.4}\text{Adr}_{6.5-9.6}$ and outer BSE dark zone in the rings has composition $\text{Sps}_{34.3-40.3}\text{Grs}_{33.3-38.3}\text{Adr}_{8.5-17.3}\text{Alm}_{12.7-17.1}$. The highest content of Mn^{2+} in the atoll garnets was observed in the relict cores (1.21 - 1.33 *apfu*) and subsequent decreasing trend in contents of Mn^{2+} from the inner parts of the rings (BSE dark zone; 1.16 - 1.29 *apfu*) to their edge (BSE light zone; 1.02 - 1.20 *apfu*) is present. The opposite trend was observed for Fe^{2+} content. Inner parts of the garnets are replaced by actinolite and calcite with slightly higher content of Mn (Act up to 0.07 *apfu*; Cal up to 0.02 *apfu*). Matrix of basalt metapyroclastics was primarily formed by hedenbergite which was later replaced by actinolite.

Key words: atoll garnets, basalt metapyroclastics, Čučma, Slovak Republic

Obdrženo 8. 12. 2020; prijato 3. 5. 2021

Úvod

Za atolové granáty sa označujú také, ktorých morfológia v ploche výbrusu má prstencový, v prenesenom význame atolový tvar. Prstenec má spravidla kruhový prierez, čím vytvára morfológicky dokonalé formy, ale môže byť aj neukončený alebo prerušený s nedokonalou morfológiou. Vnútorne reliktujú bývať nepravidelného, často kostrového obmedzenia a sú postupne nahradzované inými minerálmi. Tvary atolových granátov reflektujú podmienky ich vzniku, napríklad účinky dynamickej rekryštalizácie, pôsobenie deformácie a podobne. Zovšeobecňujúce aspekty a základné predstavy o spôsoboch generovania atolových granátov opisuje Hovorka (2005).

V prezentovanom príspevku sme sa zamerali na detailnú charakteristiku chemického zloženia atolových granátov, vrátane ich vnútorných častí, ktoré sú vo väčšine prípadov postupne nahradené amfibolmi a kalcitom. Fenomén atolových granátov bol pozorovaný v izolovaných skalných odkryvoch bazaltových metapyroklastík, ktoré na povrch ojedinele vystupujú v oblasti banského poľa Vincent v Čučme pri Rožňave.

Lokalizácia a geologická charakteristika

Skúmané územie z hľadiska geomorfologického členenia (Mazúr, Lukniš 1980) patrí do oblasti Slovenské-

ho rudohoria a celku Volovské vrchy (obr. 1a). Lokalita sa nachádza cca 2 km severne od obce Čučma, v blízkosti banského poľa Vincent. GPS súradnice lokality sú 48°42'42.1"N a 20°32'55.2"E s nadmorskou výškou 518 m. Vzorky boli odoberané zo skalných odkryvov malých rozmerov cca 1 × 2 m (obr. 1b).

Bloky bazaltových metapyroklastík v skúmanej oblasti sú súčasťou rytmicky sa striedajúcej staropaleozoickej flyšovej megasekvencie gelnickej skupiny južného gemerika spolu so šošovkami kryštalických vápencov, lokálne vyvinutými polohami lydítov a okolitými prevažne sludnato-grafitickými fylitmi (obr. 2). V zmysle litostratigrafického členenia podľa Bajanička et al. (1983) skúmaná lokalita patrí do vlachovského súvrstvia gelnickej skupiny a podľa členenia Grecula (1982), respektíve Grecula et al. (1995, 2011) do holeckých vrstiev betliarskeho súvrstvia voloveckej superskupiny, ktorá v sebe spája pôvodne vyčlenené skupiny južného (gelnická skupina) a severného gemerika (rakovecká a klátovská skupina).

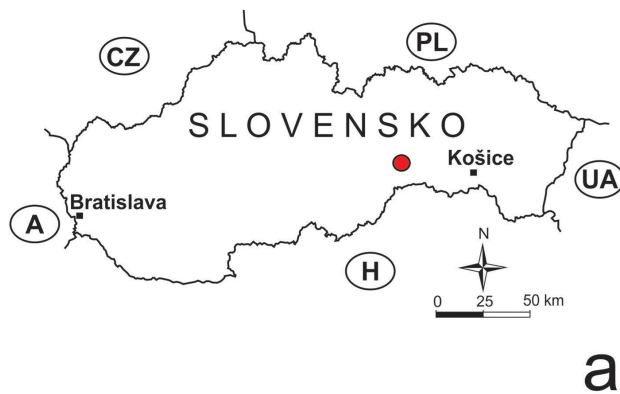
Stratigrafický rozsah gelnickej skupiny vrchné kambrum - spodný devón bol stanovený biostratigrafickými metódami (Snopková, Snopko 1979; Ivanička et al. 1989; Vozárová et al. 1998, 1999; Soták et al. 1999, 2000) a geochronologickými metódami (Putiš et al. 2008; Vozárová et al. 2010, 2016). Staropaleozoický vývoj gemerika je považovaný za riftogénny (Grecula 1982; Grecula et al. 1995,

2011; Grecula, Radvanec 2005; Radvanec, Grecula 2016).

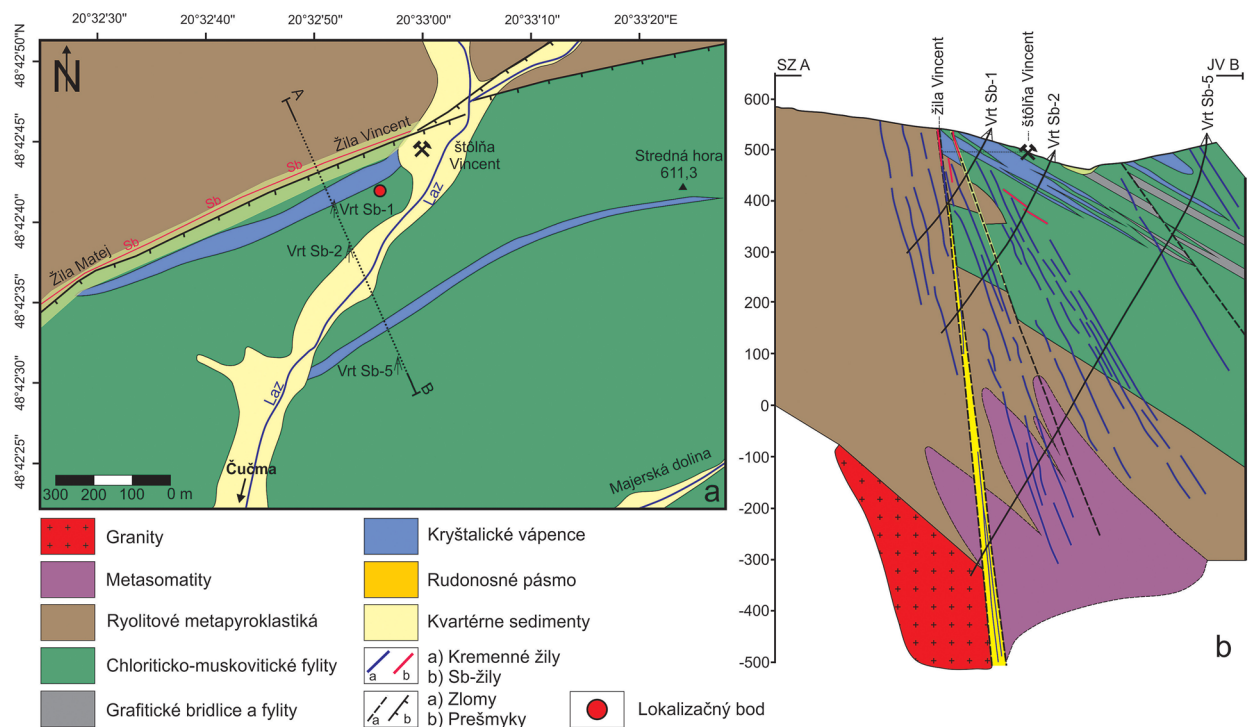
Horniny gelnickej skupiny sa sformovali účinkami regionálnej variskej a alpínskej metamorfozy v podmienkach fácie zelených bridlíc (Faryad 1991, 1995, 1997; Sassi, Vozárová 1987, 1992; Mazzoli, Vozárová 1989; Vozárová 1993, 1998). Na lokalite Čučma - Čierna baňa bol aplikovaný rodonitovo-pyroxmangitový geotermometer pre stanovenie podmienok metamorfozy mangánových sedimentov. Metamorfóza prebiehala pri teplotách 375 - 420 °C a tlaku 350 MPa (Faryad 1991, 1994; Rojkovič 1999, 2001).

Bazaltové metapyroklastiká predstavujú produkty regionálnej metamorfozy pôvodných lokálnych prejavov podmorského synsedimentárneho bazického vulkanizmu, ktorý bol považovaný za potenciálny zdroj mangánu (Kantor 1953, 1954; Fusán, Máška 1956; Ivanov 1960, 1965; Ilavský 1974; Ilavský et al. 1975). Pôvodné produkty podmorského vulkanizmu reprezentovali bazické popolové tufy a tufity, prípadne pelity s prímiesou bazic-

kého vulkanoklastického materiálu (Ivanička et al. 1992). Zachované prejavy bazického vulkanizmu majú v gelnickej skupine gemerika len lokálne rozšírenie. Charakter vulkanizmu bol podrobne skúmaný v Smolníku (Chmelík, Ilavský 1965; Ilavský, Bajanič 1981; Ivan, Šimurková 2016). Vzhľadom na viacnásobné zvrásnenie a metamorfózu gelnickej skupiny, vrátane jej možných presunov, je interpretácia línií prívodných centier vulkanizmu takmer nemožná. Bazický vulkanizmus v gelnickej skupine je považovaný za diferenciat acidného vulkanizmu (Ivanov 1960, 1965), alebo je syngenetický s acidným vulkanizmom z hlbšie lokalizovaných magmatických krbov s prejavmi diferenciacie (Chmelík, Ilavský 1965). Podľa Bajaniča et al. (1983) pozícia bazaltových metapyroklastík v litostratigrafickej schéme dokazuje, že v gelnickej skupine sa bazický vulkanizmus odohral o niečo neskôr ako acidný vulkanizmus. Zachované sú malé extrúzie vo forme lokálnych telies, prípadne polôh bazík medzi acidnými vulkanickými alebo sedimentárnymi členmi.



Obr. 1 Lokalizácia skúmaného územia: a) v mape Slovenskej republiky; b) detail miesta odberu vzoriek. Foto P. Ružička 2020.



Obr. 2 a) detailná geologická mapa skúmaného územia v mierke 1: 10 000 podľa Pecho et al. (1981 - modifikovaná); b) geologický rez s vrtmi Sb-1, Sb-2, Sb-5 v mierke 1: 5000 (Pecho et al. 1982 - modifikovaný).

Výskyty bazaltových metapyroklastík s prítomnosťou granátov boli potvrdené severne od Čučmy (Kantor 1953, 1954; Fusán, Máška 1956; Ivanov 1960, 1965; Pecho et al., 1981), v okolí Betliara - Tureckej (Abonyi, Varga 1965) a z hľad v blízkosti lokality Malá Hekerová - Bystrý potok (Gargulák et al. 1985).

Metodika

Terénny odber bol zameraný na získanie reprezentatívnych vzoriek bazaltových metapyroklastík s cieľom ich mikroskopického štúdia a následne mikrosondovej analýzy. Atolové granáty boli študované vo výbrusoch pomocou polarizačného mikroskopu Leica DM2500P na Katedre mineralógie, petrológie a ložiskovej geológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave.

Leštené výbrusy, vákuovo naparené tenkou uhlíkovou vrstvou, boli analyzované na elektrónovom mikroanalýzátore JEOL JXA 8530F na Ústave vied o Zemi Slovenskej akadémie vied v Banskej Bystrici. Vzorky boli analyzované pri urýchľovacom napätí 15 kV a prúde 20 nA. Priemer elektrónového lúča sa prispôboval počas merania pre silikáty na 3 - 5 μm a pre kalcit 8 μm . Použila sa ZAF korekcia. Koexistenčné vzťahy granátov a amfibolov sa pozorovali v späťne rozptýlených elektrónoch (BSE).

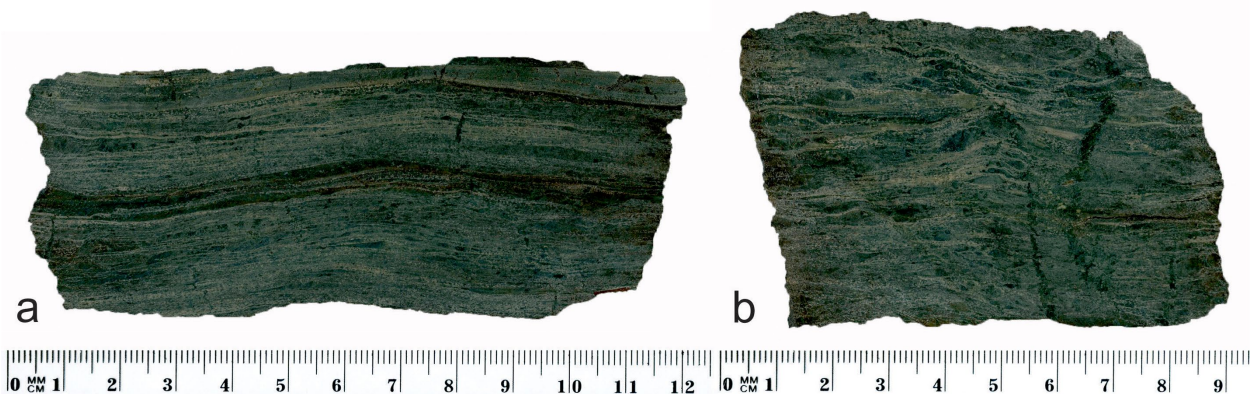
Na meranie silikátov a kalcitu boli použité nasledovné

štandardy: kremeň, ortoklas (Si, K - $K\alpha$), rutil (Ti - $K\alpha$), albit (Al, Na - $K\alpha$), hematit (Fe - $K\alpha$), rodonit (Mn - $K\alpha$), diopsid (Mg, Ca - $K\alpha$). Elektrónové mikroanalýzy boli prepočítané v zmysle platných klasifikácií pre granáty (Grew et al. 2013), pyroxény (Morimoto et al. 1988) a amfiboly (Hawthorne et al. 2012). Klasifikačný diagram amfibolov podľa Leake et al. (1997) bol použitý z dôvodu grafického vyjadrenia rozdielov v klasifikačných parametroch, ktoré sú postavené na porovnávaní obsahov Si vs. Mg (Mg + Fe^{2+}) v *apfu*, na rozdiel od klasifikačného diagramu Hawthorne et al. (2012), ktorý vychádza z porovnávaní $^{\text{c}}(\text{Al} + \text{Fe}^{3+} + 2\text{Ti})$ vs. $^{\text{a}}(\text{Na} + \text{K} + 2\text{Ca})$ v *apfu*. Obsahy železa boli pri granátoch a klinopyroxénoch rozpočítané na Fe^{2+} a Fe^{3+} z nábojovej bilancie molekuly a pre amfiboly podľa postupu uvedeného v práci Leake et al. (1997).

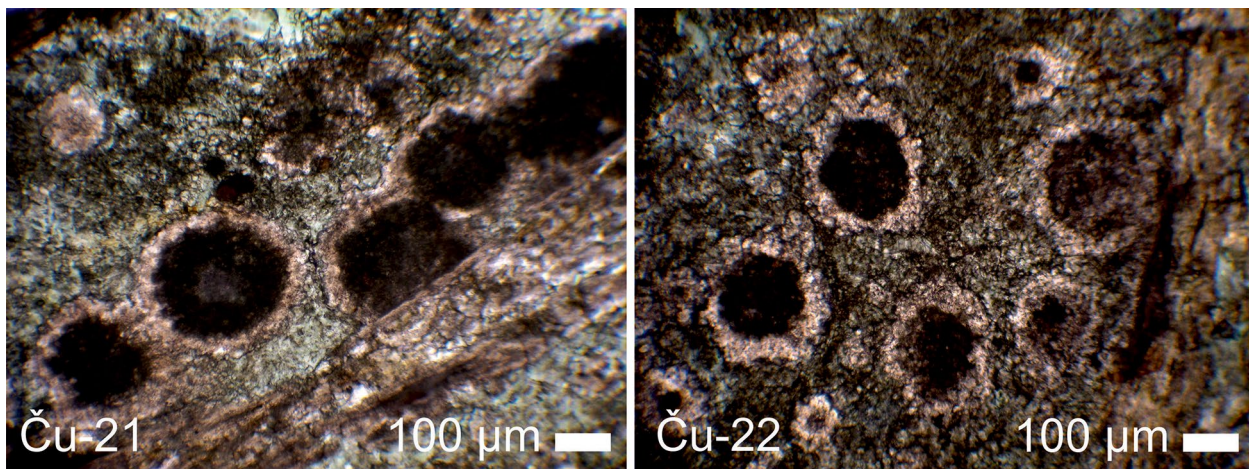
Výsledky

Petrografický opis vzoriek

Hnedo- až sivozelené bazaltové metapyroklastiká sú prevažne jemnozrnné horniny s nepravidelne vyvinutou bridličnatosťou. V prierezoch je viditeľná mierne zvrásnená a usmernená jemná laminovaná stavba (obr. 3a) s lokálnou tvorbou tmavozelených foriem, ktoré pripomínajú očká (obr. 3b). Mikroštruktúra horniny je lepidogranoblastická. Amfiboly tvoria hlavnú fázu podieľajúcu sa

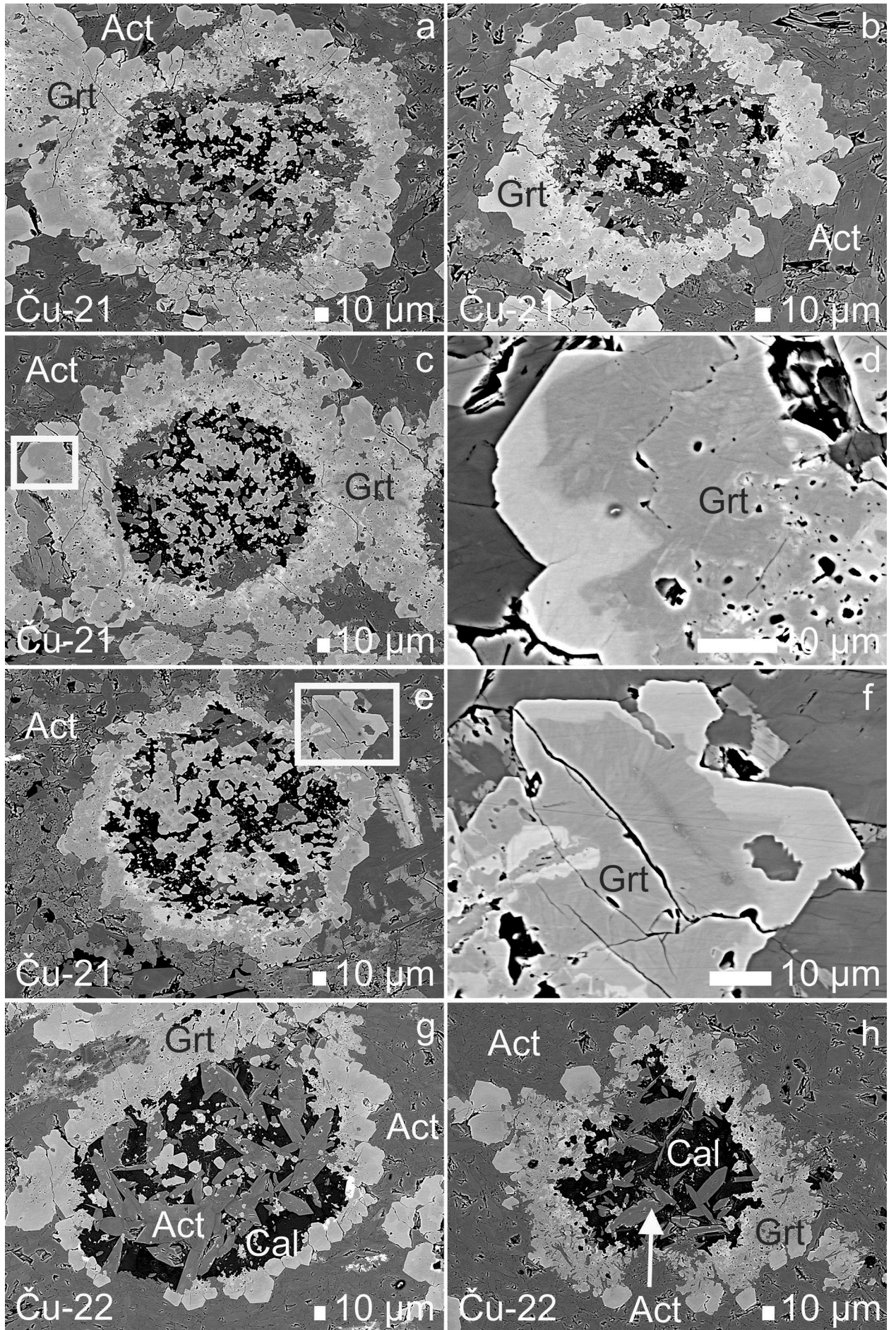


Obr. 3 Prierezy skúmaných vzoriek bazaltových metapyroklastík: a) vzorka Ču-21 s laminovanou, mierne zvrásnenou textúrou; b) vzorka Ču-22 s očkatým vývojom v jemnozrnej laminovanej matrix. Foto P. Ružička.



Obr. 4 Mikroskopické detaily atolových granátov v bazaltových metapyroklastikách pri jednom nikole v prechádzajúcom polarizovanom svetle. Foto P. Ružička.

Obr. 5 BSE zobrazenie atolových granátov v bazaltových metapyroklastikách s detailom na zonálny vývoj prstencov. Foto S. Kurylo. Význam použitých skratiek: Grt - granáty, Act - aktinolit, Cal - kalcit. →



na minerálnom zložení horniny. Kryštály aktinolitu majú idiomorfne až hypidiomorfne obmedzenie s obdĺžnikovými prierezmi. Menej časté sú kolmé rezy s typickou amfibolovou štiepatelnosťou. Aktinolit prejavuje slabý svetlozelený pleochroizmus. Reliktne sú zachované aj klinopyroxény v základnej hmote horniny, ktoré sú postupne nahradzované amfibolmi.

Granáty sa vyskytujú v podobe nepravidelne obmedzených izolovaných zŕn a agregátov. Jednotlivé zrná dosahujú veľkosti 0.05 - 0.10 mm. Atolová stavba bola pozorovaná vo väčšine granátových porfyroblastov, ktoré sú dominantnou súčasťou bazaltových metapyroklastik. Mikroskopicky pozorované atolové granáty majú dobre viditeľné okrajové časti prstencov, ale ich vnútorná stavba je zastretá (obr. 4). Prstence tvoria nepravidelné morfológické tvary, pričom niektoré sú neukončené a bývajú čiastočne rozpraskané. Vnútorná časť atolových granátov má zachované relikt, ktoré sú postupne nahradzované amfibolmi a kalcitom (obr. 5).

Chemické zloženie atolových granátov

Porovnávali sme distribučné zmeny v obsahoch hlavných prvkov v rámci chemického zloženia granátových prstencov a zachovaných reliktných jadier. Reliktne jadrá majú zloženie koncových členov v rozsahu $Sps_{41.4-45.2}Grs_{40.6-43.0}Adr_{6.4-13.6}Alm_{1.9-6.1}$ (tab. 1, 2). V prstencoch ato-

lových granátov bola pozorovaná asymetrická chemická zonálnosť s menej výrazným BSE kontrastom (obr. 5). Zastúpenie koncových členov v zložení BSE svetlej zóny prstencov sa pohybuje v intervale $Sps_{34.3-40.3}Grs_{33.3-38.3}Adr_{8.5-17.3}Alm_{12.7-17.1}$ na rozdiel od BSE tmavej zóny, ktorá obsahuje $Grs_{38.2-44.9}Sps_{39.6-43.7}Alm_{6.3-12.4}Adr_{6.5-9.6}$ (tab. 1, 2).

Z porovnania nameraných obsahov má na zonálnosť prstencov atolových granátov výrazný vplyv variabilné zastúpenie Ca^{2+} a Fe^{2+} . Na kontraste svetlej zóny sa podieľa vyšší obsah Fe^{2+} (0.38 - 0.51 apfu) a nižší obsah Ca^{2+} (1.32 - 1.56 apfu), pri rozsahu zastúpenia Mn^{2+} 1.02 - 1.20 apfu. V tmavej zóne prstencov sú vyššie obsahy Ca^{2+} (1.40 - 1.59 apfu) a nižšie obsahy Fe^{2+} (0.19 - 0.37 apfu) pri hodnotách Mn^{2+} 1.16 - 1.29 apfu. V reliktných jadrách sa obsahy Ca^{2+} (1.43 - 1.59 apfu) zhodujú s hodnotami v tmavej zóne prstencov s mierne odlišnými hodnotami Fe^{2+} (0.06 - 0.18 apfu) a Mn^{2+} (1.21 - 1.33 apfu). Pri porovnávaní obsahov Mn^{2+} vyplýva, že najvyššie hodnoty boli namerané v reliktných jadrách, ktoré sa postupne znižujú smerom cez tmavú zónu, do najnižších hodnôt v svetlej zóne prstencov.

Chemické zloženie minerálnej asociácie

V rámci vzorky Ču-21 boli analyzované klinopyroxény, ktoré sú vo väčšine prípadov zatláčané amfibolmi (obr. 6). Z hľadiska chemického zloženia spadajú do poľa heden-

Tabuľka 1 Reprezentatívne mikrosondové analýzy granátov (hm. %) vzorky Ču-21 v bazaltových metapyroklastikách prepočítané na 8 katiónov (apfu) s vyjadrením zastúpenia koncových členov (mol. %).

Vzorka	Ču-21										
	prstence								reliktné jadrá		
Analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
Atolový granát											
BSE zóna	svetlá				tmavá						
SiO ₂	37.08	36.93	37.24	36.90	37.06	36.91	36.97	37.31	36.97	36.68	36.90
TiO ₂	0.07	0.12	0.09	0.15	0.21	0.23	0.21	0.19	0.17	0.18	0.14
Al ₂ O ₃	19.61	18.96	19.67	19.04	20.84	20.74	20.95	20.59	20.82	20.45	20.98
Fe ₂ O ₃	3.71	4.72	3.09	4.43	2.44	2.99	3.16	2.77	3.25	4.44	3.43
FeO	6.94	6.25	7.63	6.01	3.29	2.79	3.18	4.67	2.49	0.83	1.41
MnO	17.36	16.60	16.63	16.77	19.20	17.32	17.80	17.60	18.13	19.05	19.65
MgO	0.04	0.02	0.05	0.05	0	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
CaO	15.46	16.52	15.65	16.53	16.99	18.70	18.07	17.37	18.32	18.63	17.89
Suma	100.27	100.12	100.05	99.87	100.03	99.71	100.37	100.52	100.18	100.27	100.41
Si ⁴⁺	2.961	2.956	2.976	2.958	2.940	2.928	2.919	2.948	2.923	2.903	2.914
Al ³⁺	0.039	0.044	0.024	0.042	0.060	0.072	0.081	0.052	0.077	0.097	0.086
Suma Z	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ti ⁴⁺	0.004	0.007	0.005	0.009	0.013	0.014	0.012	0.011	0.010	0.011	0.008
Al ³⁺	1.807	1.745	1.828	1.757	1.889	1.866	1.868	1.865	1.863	1.811	1.866
Fe ³⁺	0.223	0.284	0.186	0.267	0.146	0.178	0.188	0.165	0.194	0.264	0.204
Suma Y	2.034	2.036	2.019	2.033	2.047	2.059	2.069	2.041	2.067	2.086	2.078
Fe ²⁺	0.464	0.419	0.510	0.403	0.218	0.185	0.210	0.309	0.165	0.055	0.093
Mn ²⁺	1.174	1.126	1.125	1.139	1.290	1.164	1.190	1.178	1.214	1.277	1.314
Mg ²⁺	0.005	0.002	0.006	0.006	0	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.001
Ca ²⁺	1.323	1.417	1.340	1.420	1.444	1.589	1.529	1.470	1.552	1.580	1.513
Suma X	2.966	2.964	2.981	2.967	2.953	2.941	2.931	2.959	2.933	2.914	2.922
Almandín	15.63	14.13	17.10	13.57	7.40	6.29	7.17	10.43	5.62	1.87	3.19
Pyrop	0.16	0.08	0.20	0.20	0	0.12	0.08	0.08	0.08	0.08	0.04
Spessartín	39.60	37.98	37.76	38.38	43.70	39.56	40.61	39.80	41.39	43.83	44.98
Andradit	11.28	14.39	9.35	13.50	7.41	9.10	9.62	8.34	9.90	13.61	10.47
Grosulár	33.33	33.43	35.59	34.35	41.50	44.93	42.52	41.35	43.01	40.61	41.32

bergitu s výraznejším zastúpením diopsidovej komponenty (obr. 8). V analyzovaných klinopyroxénoch sa obsah Mg^{2+} pohybuje v intervale 0.40 - 0.43 *apfu* a obsah Fe^{2+} 0.50 - 0.53 *apfu*. Pomer $Mg/(Mg+Fe)$ vyjadrený ako X_{Mg} sa pohybuje v intervale 0.43 - 0.46. Mierny zvýšený obsah Mn (do 0.07 *apfu*) vstupuje do johannsenitovej zložky (tab. 3).

Amfiboly z hľadiska chemického zloženia reprezentuje aktinolit až tremolit (obr. 9a,b; tab. 4) so zvýšeným obsahom Fe^{2+} (do 2.36 *apfu*). Obsah Mg^{2+} sa pohybuje v intervale 2.27 - 2.36 *apfu*. Podobne ako v prípade klinopyroxénov, aj v analyzovaných amfiboloch bol nameraný zvýšený obsah Mn^{2+} , ktorý dosahuje hodnotu 0.21 *apfu* (tab. 4).

Kalcit sa podieľa spolu s amfibolmi na výplni vnútorných častí atolových granátov (obr. 5). V analyzovaných kalcitoch boli zistené minoritné obsahy Mn^{2+} do 0.02 *apfu* (tab. 5).

Diskusia

Atolové granáty bývajú zastúpené v metabazitoch, najčastejšie v eklogitoch (Cheng et al. 2007; Faryad et al. 2010; Jonnalagadda et al. 2017; Cao et al. 2018), metaultramafitoch (Galuskina et al. 2007), metapelitoch (Ruiz Cruz 2011; Ortolano et al. 2014; Spišiak et al. 2007;

Dempster et al. 2019) a v kontaktne metamorfovaných horninách (Homam 2003; 2006). Vznikajú rôznymi procesmi, ktoré sú odrazom pôsobiacich metamorfných podmienok, ktoré sa prejavujú okrem iného aj v ich chemickej zonálnosti. Cheng et al. (2007) uvádzajú substitučný proces, ktorý viedol ku kompozičnej kontinuite od reliktných stredov granátov k atolovému okrajovému prstencu, čo sme potvrdili aj v rámci tejto mineralogickej štúdie. Otázkou distribučných trendov v chemickom zložení atolových granátov sa venovali aj Faryad et al. (2010) na príklade granátov v eklogitoch, pričom zistili závislosť v klesajúcich obsahoch Mn a Ca zo stredu zrna smerom k okraju a naopak stúpajúci trend Fe v okrajovej časti atolových granátov, čo sme preukázali aj v analyzovaných granátových prstencoch z Čučmy.

Kantor (1953, 1954) poukazuje na význam granátov v súvislosti s ich distribúciou, ktorá je v Čučme viazaná na metamanganolity, bazaltové metapyroklastiká a kryštalické vápence. Spolu s Ivanovom (1960, 1965) sa prikláňajú k téze, že granáty vznikli počas lokálnej látkovej migrácie pri metamorfných procesoch. Chemicky zonálne granáty v metamanganolitoch z lokality Čučma - Čierna baňa opisuje Faryad (1994). Uvádza, že hlavná substitúcia v zonálnom granáte sa vyskytuje medzi Mn a Ca, pričom čo sa týka obsahu Fe, ten sa zvyšuje na úkor znižovania

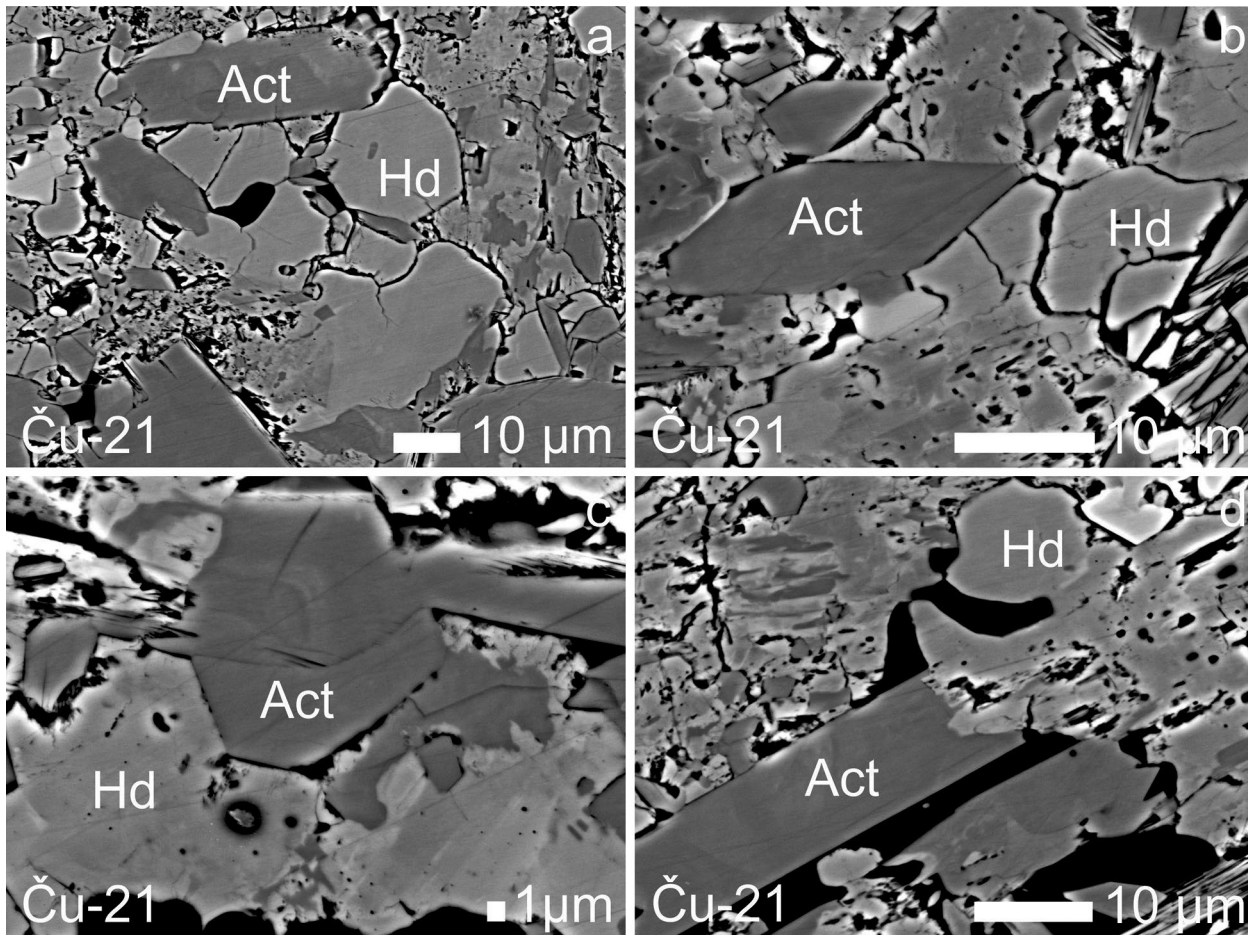
Tabuľka 2 Reprezentatívne mikrosondové analýzy granátov (hm. %) vzorky Ču-22 v bazaltových metapyroklastikách prepočítané na 8 katiónov (*apfu*) s vyjadrením zastúpenia koncových členov (mol. %).

Vzorka	Ču-22										
	prstence								reliktné jadrá		
Analýza	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3
Atolový granát											
BSE zóna	svetlá				tmavá						
SiO ₂	37.07	37.29	37.14	37.12	37.09	36.85	37.36	37.20	36.80	36.57	36.90
TiO ₂	0.17	0.19	0.19	0.11	0.23	0.24	0.19	0.18	0.17	0.15	0.22
Al ₂ O ₃	17.83	19.59	20.07	19.60	20.74	21.00	20.98	19.90	21.05	20.38	20.59
Fe ₂ O ₃	5.70	3.72	2.82	3.14	3.17	2.32	2.15	2.89	2.09	4.21	3.70
FeO	5.95	6.06	5.68	7.51	3.26	3.35	3.98	5.54	2.67	0.93	2.34
MnO	15.07	16.65	17.76	16.40	17.99	17.65	18.40	17.91	19.72	18.83	18.28
MgO	0.05	0.01	0.01	0.02	0	0.01	0.02	0.01	0.03	0	0
CaO	18.09	17.03	16.31	15.87	18.01	17.98	17.32	16.35	16.75	18.63	18.32
Suma	99.93	100.54	99.98	99.76	100.50	99.40	100.41	99.98	99.28	99.69	100.35
Si ⁴⁺	2.975	2.961	2.961	2.974	2.927	2.932	2.949	2.967	2.937	2.910	2.917
Al ³⁺	0.025	0.039	0.039	0.026	0.073	0.068	0.051	0.033	0.063	0.090	0.083
Suma Z	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Ti ⁴⁺	0.010	0.011	0.011	0.007	0.014	0.014	0.011	0.011	0.010	0.009	0.013
Al ³⁺	1.661	1.794	1.847	1.824	1.857	1.901	1.901	1.838	1.917	1.821	1.836
Fe ³⁺	0.344	0.222	0.169	0.189	0.189	0.139	0.128	0.173	0.125	0.252	0.220
Suma Y	2.015	2.028	2.028	2.020	2.059	2.054	2.040	2.022	2.053	2.081	2.069
Fe ²⁺	0.399	0.403	0.379	0.503	0.215	0.223	0.263	0.370	0.178	0.062	0.155
Mn ²⁺	1.024	1.120	1.199	1.113	1.203	1.189	1.230	1.210	1.333	1.269	1.224
Mg ²⁺	0.006	0.001	0.001	0.002	0	0.001	0.002	0.001	0.004	0	0
Ca ²⁺	1.555	1.449	1.393	1.362	1.523	1.533	1.465	1.397	1.432	1.588	1.552
Suma X	2.985	2.972	2.972	2.980	2.941	2.946	2.960	2.978	2.947	2.919	2.931
Almandín	13.38	13.54	12.74	16.88	7.33	7.57	8.88	12.41	6.05	2.11	5.27
Pyrop	0.20	0.04	0.04	0.08	0	0.04	0.08	0.04	0.12	0	0
Spessartín	34.32	37.67	40.35	37.34	40.89	40.37	41.56	40.63	45.23	43.48	41.77
Andradit	17.29	11.22	8.54	9.51	9.61	7.08	6.48	8.73	6.38	12.94	11.28
Grosulár	34.81	37.52	38.33	36.19	42.17	44.94	43.00	38.18	42.22	41.47	41.67

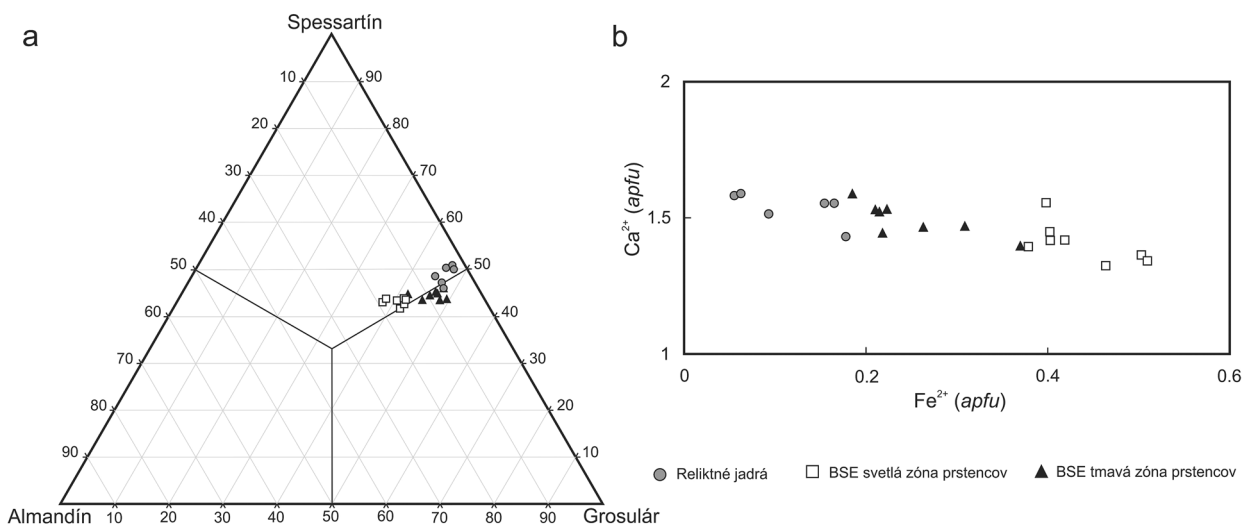
Ca smerom k okrajom, čo je v zhode s našou štúdiou. Ružička et al. (2020) charakterizovali granáty prevažne grosulárového zloženia v asociácii s diopsidom v kryštalických vápencoch, ktoré tvoria litologickú súčasť metamanganolitov na lokalite Čučma - Čierna baňa.

Radvanec et al. (2007) identifikovali zonálne granáty z vrty RS-1/520 m vo vzorke RS-15 (Bt-metapelit) z lokality Gul'apalag, ktorá je situovaná v širšom okolí Čučmy. Gra-

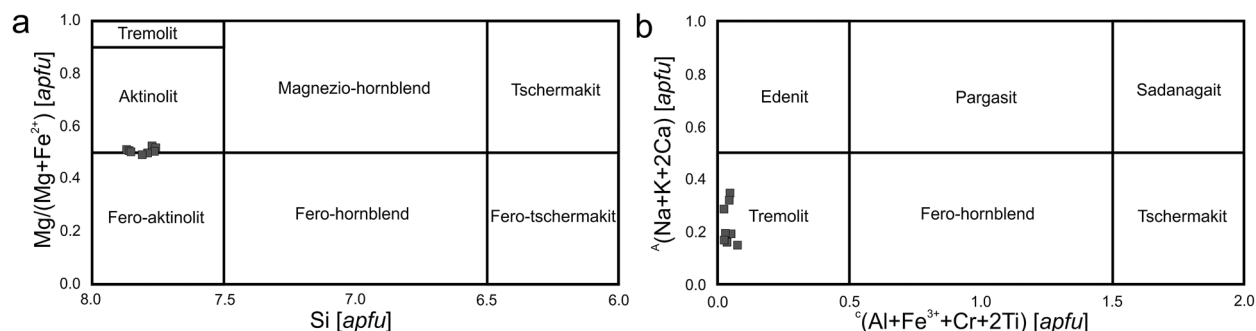
náty obsahovali v strede dominantnú spessartínovú zložku ($\text{Sps}_{57-66}\text{Alm}_{21-23}\text{Grs}_{11-19}$) a na okraji grosulárovú zložku ($\text{Grs}_{42-54}\text{Alm}_{21-33}\text{Sps}_{21-26}$). V rámci staršieho paleozoika gemerika v horninách rakoveckej skupiny, vo vrte RHV-1 južne od Rudnian, bola zistená poloha spessartínovo-piemontitových metakonkrécií (Spišiak et al. 1989). Zvýšený obsah mangánu v pôvodných pelagických sedimentoch bol podmienený prítomnosťou produktov bázičického



Obr. 6 Zachované reliktý hedenbergitu (Hd) v kombinácii s aktinolitom (Act) v bazaltových metapyroklastikách. Foto S. Kurylo.



Obr. 7 Zobrazenie variácií v chemismu analyzovaných granátov: a) klasifikačný diagram podľa Grew et al. (2013); b) Ca²⁺ verzus Fe²⁺ (apfu).



Obr. 9 Prepočítané hodnoty analyzovaných amfibolov vynesené do klasifikačných diagramov podľa: a) Leake et al. (1997); b) Hawthorne et al. (2012).

Tabuľka 5 Reprezentatívne mikrosondové analýzy kalcitu (hm. %) v atolových granátoch prepočítané na sumu kationov = 1 (apfu). Symbol * vyjadruje dopočítanie CO₂.

Vzorka	Ču-21		Ču-22		
	1	2	1	2	3
FeO	0.50	0.62	0.43	0.39	0.33
MnO	0.99	1.28	1.00	1.03	0.92
MgO	0.01	0.03	0.04	0.04	0
CaO	54.20	53.49	54.49	53.77	54.96
CO ₂ *	43.83	43.48	43.89	43.19	44.03
Suma	99.53	98.90	100.08	98.42	100.24
Fe ²⁺	0.007	0.009	0.006	0.006	0.005
Mn ²⁺	0.014	0.018	0.014	0.015	0.013
Mg ²⁺	0	0.001	0.001	0.001	0
Ca ²⁺	0.979	0.972	0.979	0.979	0.982
Suma	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
FeCO ₃	0.81	1.00	0.69	0.63	0.53
MnCO ₃	1.60	2.07	1.62	1.67	1.49
MgCO ₃	0.02	0.06	0.08	0.08	0
CaCO ₃	96.74	95.47	97.25	95.97	98.09
Suma	99.17	98.61	99.65	98.35	100.12

Na základe prezentovaných numerických údajov, ktoré potvrdzujú variabilitu v zastúpení koncových členov analyzovaných atolových granátov, môžeme vyvrátiť informáciu z minulosti (Kantor 1953, 1954; Fusán, Máška 1956; Ivanov 1960, 1965), kde sa predpokladalo, len na základe mikroskopickéj identifikácie, že atolové granáty v bazaltových metapyroklastikách majú dominantné spessartínové zloženie. Na základe našich mikrosondových analýz prstencov a reliktné zachovaných jadier atolových granátov môžeme potvrdiť, že z hľadiska zastúpenia koncových členov sú atolové granáty grosulárovo-spessartínového zloženia s výraznejším zastúpením almandínovej a andraditovej zložky.

Záver

Atolové granáty v bazaltových metapyroklastikách z Čučmy sme analyticky posudzovali z hľadiska porovnania chemického zloženia vnútorných reliktných jadier a vonkajších zonálnych prstencov. Zloženie reliktných jadier bolo stanovené z hľadiska zastúpenia koncových členov v intervale Sps_{41.4-45.2}Grs_{40.6-43.0}Adr_{6.4-13.6}Alm_{1.9-6.1} zatiaľ čo

zloženie BSE svetlej zóny prstencov je Sps_{34.3-40.3}Grs_{33.3-38.3}Adr_{8.5-17.3}Alm_{12.7-17.1} a zloženie BSE tmavej zóny prstencov odpovedá Grs_{38.2-44.9}Sps_{39.6-43.7}Alm_{6.3-12.4}Adr_{6.5-9.6}. Zonálnosť má priamy vplyv na rast a pokles obsahov koncových členov v rámci analyzovaných prstencov atolových granátov. Vo vnútorných častiach prstencov (tmavá zóna) je nárast spessartínovej a grosulárovej zložky a pokles almandínovej a andraditovej zložky. Vonkajšie časti prstencov s nepravidelným priebehom svetlej zóny prejavujú nárast almandínovej a andraditovej zložky a pokles spessartínovej a grosulárovej zložky.

V atolových granátoch vo vzorkách Ču-21 a Ču-22 bol pozorovaný klesajúci trend v obsahoch Mn²⁺ smerom z vnútorných častí prstencov (tmavá zóna; 1.16 - 1.29 apfu) k ich okrajom (svetlá zóna; 1.02 - 1.20 apfu). Reliktné jadrá z hľadiska obsahu Mn²⁺ (1.21 - 1.33 apfu) prejavujú afinitu k tmavej zóne prstencov. Na druhej strane s tým súvisí stúpajúci trend Fe²⁺, ktoré sa koncentruje v okrajovej svetlej zóne nepravidelne lemujúcej prstence (0.38 - 0.51 apfu). Klesajúci trend Fe²⁺ bol pozorovaný v tmavej zóne prstencov (0.19 - 0.37 apfu). Reliktné jadrá dosahujú nižšie hodnoty v obsahoch Fe²⁺ (0.06 - 0.18 apfu). V prípade Ca²⁺ vo všeobecnosti platí nasledovný trend. V svetlej zóne, ktorá je viazaná na vonkajšie časti prstencov, je menej Ca²⁺ (1.32 - 1.56 apfu). V tmavej, vnútornej zóne prstencov, je viac Ca²⁺ (1.40 - 1.59 apfu), čo je v zhode s obsahmi v reliktných jadrách (1.43 - 1.59 apfu).

Iniciátorom vzniku atolových granátov identifikovaných v bazaltových metapyroklastikách bola pravdepodobne dynamická rekryštalizácia, ktorá porušila integritu granátových zrn a tým pádom spustila proces postupného rozpúšťania a nahradzovania jeho vnútorných častí cez difúzne kanály, čím sa zároveň umožnil prenik pre kryštalizáciu amfibolov s kalcitom. Funkciu migračných ciest pre fluidný transfer prvkov za účelom postupných kompozičných zmien v atolových granátoch spĺňajú prítomné mikropukliny. Tento proces prebieha hlavne v popraskaných zrnách, kde počas prínosu fluid nastáva migrácia prvkov medzi vonkajšou a vnútornou časťou granátu. Pozdĺž mikropuklín v granátoch sa pravdepodobne spustil proces tvorby atolov. Vnútorne časti granátov sú zachované v podobe reliktných jadier a zvyšný priestor bol postupne nahradzovaný amfibolmi a kalcitom. Predpokladáme, že zachované prstence atolových granátov sú pozostatkami po pôvodných granátoch, ktoré sa postupne resorbovali a následne boli ich vnútorné časti selektívne nahradzované amfibolmi a kalcitom, v zložení ktorých sme zaznamenali zvýšené obsahy Mn. Amfiboly tvoria zároveň hlavnú fázu podieľajúcu sa na zložení bazaltových metapyroklastík, ktorá postupne nahradila klinopyroxény edenbergitového zloženia.

PodĎakovanie

Vyslovujeme poďakovanie recenzentom článku za podnetné pripomienky, ktoré prispeli k skvalitneniu rukopisu. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0065 a grantom VEGA 1/0151/19.

Literatúra

- ABONYI A, VARGA I (1965) Zpráva o výsledkoch vyhladávacieho prieskumu v oblasti ankeritového pruhu Hanková - Volovec. Zprávy o geol. výskumoch v roku 1964. 2 - Slovensko, 27-29
- BAJANIČ Š, VOZÁROVÁ A (ED.), HANZEL V, IVANIČKA J, MELLO J, PRISTAŠ J, REICHWALDER P, SNOPKO L, VOZÁR J (1983) Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského rudohoria - východná časť 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1-223
- CAO D, CHENG H, ZHANG L, WANG K (2018) Origin of atoll garnets in ultra-high-pressure eclogites and implications for infiltration of external fluids. *J Asian Earth Sci* 160: 224-238
- DEMPSTER TJ, GILMOUR MI, CHUNG P (2019) The partial equilibration of garnet porphyroblasts in pelitic schists and its control on prograde metamorphism, Glen Roy, Scotland. *J Metamorph Geol* 37, 3: 383-399
- FARYAD S (1991) Metamorfóza sedimentov staršieho paleozoika Gemicum. *Miner Slov* 23, 4: 315-324
- FARYAD SW (1994) Mineralogy of Mn-rich rocks from greenschist facies sequences of the Gemicum, West Carpathians, Slovakia. *N Jb Miner Mh H* 10: 464-480
- FARYAD SW (1995) Stanovenie P-T podmienok metamorfózy horninových komplexov Spišsko-gemerského rudohoria. *Miner Slov* 27, 1: 9-19
- FARYAD SW (1997) Metamorphic petrology of the Early Palaeozoic low-grade rocks in the Gemicum. In: Grecula P, Hovorka D, Putiš M. (eds.): Geological evolution of the Western Carpathians. *Miner Slov monograph* 309-314
- FARYAD SW, KLÁPOVÁ H, NOSÁL L (2010) Mechanism of formation of atoll garnet during high-pressure metamorphism. *Mineral Mag* 74, 1: 111-126
- FUSÁN O, MÁŠKA M (1956) K stratigrafii gotlandu (?) v gemericidách. *Geol Práce Zpr* 7: 65-74
- GALUSKINA I, GALUSKIN E, WŁODYKA R, DZIERZANOWSKI P, WRZALIK R (2007) Atoll garnets in „achtarandite“ serpentinites: Morphology, composition and mode of origin. *Mineral Polon*, 38, 2: 139-149
- GARGULÁK M, CHMELÍK J, BÖHME, L (1985) Zhodnotenie prognóz Sb-rúd v oblasti Zlatý stôl – Bystrý potok. Čiastková záverečná správa. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 144 s
- GRECULA P (1982) Gemicum - segment riftogénneho bazénu Paleotetýdy. *Miner Slov monograph*, 263 s
- GRECULA P, RADVANEC M (2005) Geotektonický model vývoja gemerika. *Miner Slov* 37, 3: 193-198
- GRECULA P, ABONYI A, ABONYIOVÁ M, ANTAŠ J, BARTALSKÝ B, BARTALSKÝ J, DIANIŠKA I, DRNŽÍK E, ĎUĎA R, GARGULÁK M, GAZDAČKO L, HUDÁČEK J, KOBULSKÝ J, LÖRINCZ L, MACKO J, NÁVESNÁK D, NÉMETH Z, NOVOTNÝ L, RADVANEC M, ROJKOVIČ I, ROZLOŽNÍK L, ROZLOŽNÍK O, VARČEK C, ZLOCHA J (1995) Ložiská nerastných surovín Slovenského rudohoria. Zväzok 1. *Miner Slov monograph*, 834 s
- GRECULA P, KOBULSKÝ J (EDS.), GAZDAČKO L, NÉMETH Z, HRAŠKO L, NOVOTNÝ L, MAGLAY J, PRAMUKA S, RADVANEC M, KUCHARIČ L, BAJTOŠ P, ZÁHOROVÁ L (2011) Vysvetlivky ku geologickej mape Spišsko-gemerského rudohoria 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 308 s
- GREW ES, LOCOCK AJ, MILLS SJ, GALUSKINA IO, GALUSKIN EV, HALENIUS U (2013) Nomenclature of the garnet supergroup. *Am Mineral* 98, 4: 785-811
- HAWTHORNE CF, OBERTI R, HARLOW G, MARESCH VW, SCHUMAHER CJ, WELCH M (2012) Nomenclature of the amphibole supergroup. *Am Mineral* 97: 2031-2048
- HOMAM SM (2003) Formation of atoll garnets in the Ardara aureole, NW Ireland. *J Sci Islam Rep of Iran*, 14, 3: 247-258
- HOMAM SM (2006) The occurrence and origin of atoll garnet in hornblende schist from the contact aureole of the Mashhad Granite, NE Iran. *Iran J Sci Technol A*, 30: 127-132
- HOVORKA D (2005) Atolové granáty. *Škola genetickej petrografie. Miner Slov* 37, 1: 87-90
- CHENG H, NAKAMURA E, KOBAYASHI K, ZHOU Z (2007) Origin of atoll garnets in eclogites and implications for the redistribution of trace elements during slab exhumation in a continental subduction zone. *Am Mineral* 92, 7: 1119-1129
- CHMELÍK J, ILAVSKÝ J (1965) Über den effusiven Charakter der Gabbrodiorite der Gelnica-Serie in den Gemeriden. *Geol Práce Zpr* 36: 235-255
- ILAVSKÝ J (1974) Príspevok k paleogeografii gelnickej série gemerid na základe rozšírenia stratiformných zrudnení. *Západné Karpaty sér miner petrogr geochém ložísk* 1: 51-97
- ILAVSKÝ J, BAJANIČ Š (1981) Petrogenéza bázičických vulkanických hornín gelnickej skupiny v okolí Smolníka (Spišsko-gemerské rudohorie). *Západné Karpaty Západ Karpaty sér miner petrogr geochém metalogen* 9: 83-110
- ILAVSKÝ J, BAJANIČ Š, ŠTOHL J, VOZÁR J (1975) Vulkanizmus a metalogenéza v Západných Karpatoch (Hlavné problémy a klasifikácia ložísk). *Geol Práce Spr* 64: 97-134
- IVAN P, ŠIMURKOVÁ M (2016) Geochemistry of metamorphosed basaltic and sedimentary rocks from the Smolník Cu-pyrite deposit (Gemic Superunit, Western Carpathians): a reappraisal of older geochemical data. *Acta geol Slov* 8: 2, 229-242
- IVANIČKA J, SNOPKO L, SNOPKOVÁ P, VOZÁROVÁ A (1989) Gelnica Group - lower unit of Spišsko-gemerské rudohorie Mts. (West Carpathians) Early Palaeozoic. *Geol Zbor Geol Carpath* 40, 4: 483-501
- IVANIČKA J, SNOPKO L, VOZÁROVÁ A, SNOPKOVÁ P, REPČOKOVÁ Z (1992) Litologické profily gelnickou skupinou, II. časť. Čiastková záverečná správa. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 95 s
- IVANOV M (1960) Bázičický vulkanizmus gelnickej série v gemericidách. *Geol Práce Zpr* 19: 157-161
- IVANOV M (1965) Litológia, petrografia a metamorfizmus paleozoika Spišsko-gemerského rudohoria. *Sbor Geol vied ZK* 3: 43-92
- JONNALAGADDA MK, KARMALKAR NR, DURAI SWAMI RA, HARSHE S, GAIN S, GRIFFIN WL (2017) Formation of atoll garnets in the UHP eclogites of the Tso Moriri Complex, Ladakh, Himalaya. *J Earth Syst Sci* 126, 107: 1-23
- KANTOR J (1953) Mangánové ložisko pri Čučme. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 32 s

- KANTOR J (1954) O genéze mangánových rúd v Spišsko-gemerskom rudohorí. Geol Práce Zpr 1: 70-71
- LEAKE BE, WOOLLEY AR, ARPS CES, BIRCH WD, GILBERT MC, GRICE JD, HAWTHORNE FC, KATO A, KISCH HJ, KRIVOVICHEV VG, LINTHOUT K, LAIRD J, MANDARINO JA, MARESCH WV, NICKEL EH, SCHUMACHER JC, SMITH DC, STEPHENSON NCN, UNGARETTI L, WHITTAKER EJW, YOUZHI G (1997) Nomenclature of amphiboles. Can Mineral 35: 219-246
- MAZÚR E, LUKNIŠ M (1980) Geomorfologické jednotky (mapa 1: 500 000). In: Mazúr E, Jakál J (eds.): Atlas SSR. SAV a Slov úrad geod a kart Bratislava, 54-55
- MAZZOLI C, VOZÁROVÁ A (1989) Further data concerning the pressure character of the Hercynian metamorphism in the West Carpathians (Czechoslovakia). Rend Soc Ital Min Petr 43, 3: 635-642
- MORIMOTO N, FABRIES J, FERGUSON AK, GINZBURG IV, ROSS M, SEIFERT FA, ZUSSMAN J (1988) Nomenclature of pyroxenes. Am Mineral 73: 1123-1133
- ORTOLANO G, VISALLI R, CIRRIANCIONE R, REBAY G (2014) PT-path reconstruction via unraveling of peculiar zoning pattern in atoll shaped garnets via image assisted analysis: an example from the Santa Lucia del Mela garnet micaschists (northeastern Sicily-Italy). Periodico di Mineral 83, 2: 257-297
- PECHO J, BEŇKA J, GARGULÁK M, VÁCLAV J (1981) Geologický výskum antimonitových ložísk v oblasti Betliar - Čučma - Volovec. Čiastková záverečná správa. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 439 s
- PECHO J, BEŇKA J, DOVINA V, GARGULÁK M, CHMELÍK J (1982) Komplexné zhodnotenie vrtu Sb-5. Čiastková záverečná správa. MS, Geofond - archív ŠGÚDŠ, Bratislava, 82 s
- PUTIŠ M, SERGEEV S, ONDREJKA M, LARIONOV A, SIMAN P, SPIŠIAK J, UHER P, PADERIN I (2008) Cambrian-Ordovician metagneous rocks associated with Cadomian fragments in the West-Carpathian basement dated by SHRIMP on zircons: a record the Gondwana active margin setting. Geol Carpath 59: 3-18
- RADVANEČ M, GREČULA P (2016) Geotectonic and metallogenetic evolution of Gemicum (Inner Western Carpathians) from Ordovician to Jurassic. Miner Slov 48, 2: 105-118
- RADVANEČ M, KONEČNÝ P, NÉMETH Z, GREČULA P (2007) P-T-t dráha a lokálne anatektické tavenie metapelite s prímiesou psamitického kremeňa vo variskej metamorfóze gemerika. Miner Slov 39, 1: 1-44
- ROJKOVIČ I (1999) Manganese mineralization in the Western Carpathians, Slovakia. Geol Carpath spec iss 50: 191-192
- ROJKOVIČ I (2001) Early Paleozoic manganese ores in the Gemicum Superunit, Western Carpathians, Slovakia. Geolines 13: 34-41
- RUIZ CRUZ MD (2011) Origin of atoll garnet in schists from the Alpujarride Complex (Central zone of the Betic Cordillera, Spain): Implications on the P-T evolution. Miner Petrol 101: 245-261
- RUŽIČKA P, BAČÍK P, MYŠLAN P, KURYLO S (2020) Grosulár a diopsid v kryštálických vápencoch z lokality Čučma - Čierna baňa (Slovenská republika). Bull Mineral Petrolog 28, 1: 94-104
- SASSI R, VOZÁROVÁ A (1987) The pressure character of the Hercynian metamorphism in the Gemicum (West Carpathians, Czechoslovakia). Rend Soc Ital Min Petr 42: 73-81
- SASSI R, VOZÁROVÁ A (1992) Pressure character of the Variscan metamorphism in the Gemicum and Veporicum (West Carpathians; Czecho-Slovakia). Bol Soc Geol It 111: 33-39
- SNOPKOVÁ P, SNOPKO L (1979) Biostratigrafia gelnickej série v Spišsko-gemerskom rudohorí na základe palinologických výsledkov (Západné Karpaty, paleozoikum). Západ Karpaty sér geol 5: 57-102
- SOTÁK J, VOZÁROVÁ A, IVANIČKA J (1999) New microfossils from the Early Paleozoic formation of the Gemicum (Foraminiferida). Special Issue from the Geol. Conf. Carpathian Geology 2000 in Smolenice. Geol Carpath 50: 72-74
- SOTÁK J, VOZÁROVÁ A, IVANIČKA J (2000) A new microfossils from the Early Paleozoic formations of the Gemicum. Slov Geol Mag 6, 2-3: 275-277
- SPIŠIAK J, HOVORKA D, RYBKA R, TURAN J (1989) Spessartín a piemontit v metasedimentoch staršieho paleozoika vnútorných Západných Karpát. Čas Mineral Geol 34, 1: 17-29
- SPIŠIAK J, HOVORKA D, MIKUŠ T, SPIŠIAKOVÁ M (2007) Atoll garnets from Struhár complex (Nízke Tatry Mts.); mineralogy and petrology. Miner Polon 31, 251-254
- VOZÁROVÁ A (1993) Variská metamorfóza a krystalný vývoj v gemeriku. Západ Karpaty sér miner petrogr geochém metalogen 16: 55-117
- VOZÁROVÁ A (1998) Hercynian development of the external-Gemic zone. In: Rakús M. (ed.): Geodynamic development of the Western Carpathians. Geological Survey of Slovak republic, Bratislava, 47-61
- VOZÁROVÁ A, SOTÁK J, IVANIČKA J (1998) A new microfauna from the Early Paleozoic formations of the Gemicum (foraminifera): constrains for other fossils or subfossils. In: Rakús M. (ed.): Geodynamic development of the Western Carpathians. Geological Survey of Slovak republic, Bratislava, 63-74
- VOZÁROVÁ A, SOTÁK J, IVANIČKA J (1999) Cambro-Ordovician fossils (conodontes, foraminiferes, chitinous shields) from the metamorphic series of the Gemicum (Western Carpathians). Jour Confer Abstr EUG 10 Vol 4, No 1, p. 266
- VOZÁROVÁ A, ŠARINOVÁ K, LARIONOV A, PRESNYAKOV S, SERGEEV S (2010) Late Cambrian/Ordovician magmatic arc type volcanism in the Southern Gemicum basement, Western Carpathians, Slovakia: U-Pb (SHRIMP) data from zircons. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 99, 1: 17-37
- VOZÁROVÁ A, RODIONOV N, ŠARINOVÁ K, PRESNYAKOV S (2016) New zircon ages on the Cambrian-Ordovician volcanism of the Southern Gemicum basement (Western Carpathians, Slovakia): SHRIMP dating, geochemistry and provenance. Int J Earth Sci (Geol Rundsch) 106, 6: 2147-2170