

Petrológia a geochemia acidného aplitu z hodruško-štiavnického intruzívneho komplexu z okolia Rumplovskej

RASTISLAV DEMKO¹, MICHAL KUBIŠ² a JAKUB BAZARNÍK³

¹Štátny geologický ústav D. Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava, Slovenská republika;
rastislav.demko@geology.sk

²Borová 21, 010 08 Žilina, Slovenská republika; michal.kubis.sk@gmail.com

³Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, Cracow Research Centre,
Senacka 1, 31-002 Cracow, Poland

Petrology and geochemistry of acid aplites from the Hodruša-Štiavnica intrusive complex in the Rumplovská area

The Hodruša-Štiavnica intrusive complex represents a subvolcanic intrusive body located in the central part of the Banská Štiavnica stratovolcano (BŠ), the branch of the Neogene Central Slovakian volcanic field (CSVF). It is composed of diorite, granodiorite and more felsic differentiated rocks such as quartz granodiorite porphyry and acid aplites, which intruded own subvolcanic body and surrounding sedimentary rocks. The aplite dikes are composed of plagioclase, K-feldspar, quartz, biotite and tourmaline with accessory Fe-Ti oxide. They have internal magmatic stratification and quartz schlierens. The composition of aplite corresponds to subalkaline, peraluminous rocks of the granite or rhyolite type. Aplite Nd isotopes belong to isotope area of Banská Štiavnica stratovolcano and they differ from other adjacent rhyolitic rocks of the Jastrabá Formation. The high boron content (480 ppm) and the presence of tourmalines of the dravite to scoryle composition are the special feature of aplite.

Concerning the main boron enrichment mechanism and tourmaline saturation, we proposed gradual boron accumulation due internal differentiation of the own granodiorite body, being succeeded by the filter pressing and injection to host rocks with following final solidification in dikes.

Key words: aplites, Hodruša-Štiavnica intrusive complex, Central Slovakian Neogene volcanics, tourmaline

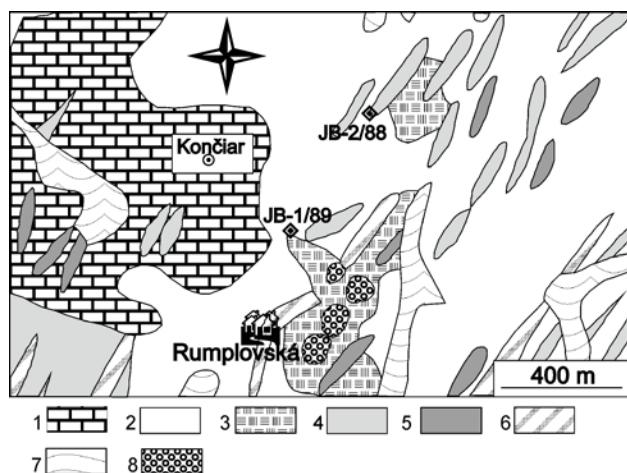
Úvod

Hodruško-štiavnický intruzívny komplex patrí k neogénnemu vulkanicko-magmatickému aparátu štiavnického stratovulkánu. Vek intrúzie a jej diferenciácie poskytujú K/Ar dáta na 14,5 – 11,5 mil. rokov (Bagdasaryan et al., 1968), alebo novšie K/Ar veku 12,7 ± 0,4 až 11,4 ± 1,2 mil. rokov (Černyšev et al., 1995). Komplex sformovaný v subvulkanických úrovniach centrálnej vulkanickej zóny reprezentujú telesá dioritu, granodioritu s rozmanitými vzájomnými kontaktmi a hybridnými fáciami. Telesá sú pretínané dajkami granitového porfýru a aplitovými rojmi, ktoré okrem vlastného plutónu intrudujú aj okolité karbonátové mezozoikum (Konečný et al., 1998).

Petrograficky sa aplitové horniny podrobne študovali pri vyhodnocovaní vrtného materiálu prieskumných vrtov B-1 (Hojstříčová, 1990), JB-1 a JB-10 (Šály in Slovák et al., 1992). Cieľom predloženej práce je na základe nových chemických analýz podať podrobnejšie informácie o petrogenéze acidných aplitov a o ich vzťahu k vlastnému intruzívnemu komplexu, ako aj okolitým rhyolitovým vulkanitom jastrabskej formácie.

Geologická charakteristika územia a vzorkovanie aplitov

Hodruško-štiavnický intruzívny komplex tvorí subvulkanické intruzívne teleso, ktoré sa skladá z granodioritu, dioritu a porfýrického granodioritu – na okrajových partiách s okolitými hostiteľskými horninami mezozoika a paleozoického kryštalinika. Vzájomné priestorové vzťahy medzi jednotlivými horninovými typmi sú často difúzne. Teleso je presekané dajkami a sillmi kremitodioritového až granodioritového porfýru, a acidnými aplitmi (Konečný et al., 1998). Prieskumné práce potvrdili úspešný sled v rade diorit – granodiorit – aplit a intruzívne kontakty intrúzií (Šály, 1992; Slovák et al., 1992). Ďalším prvkom geologickej stavby skúmaného územia je intruzívny komplex Baniska, ktorý predstavujú dajky a sillly kremitodioritových porfýrov s mocnosťou 1 – 60 m. Pribeh dajok má smer SSV – JJZ. Dajky prenikajú cez všetky opísané typy hornín. Aplity sú najmladším produktom diferenciácie magmy v hodrušskom intruzívnom komplexe v rade diorit – granodiorit – aplit (l. c.). Vzorka aplitu bola odobratá z haldového materiálu, ktorý je pozostatkom po razení štôlne Končiar pri vrte



Obr. 1. Geologická situácia okolia vrtov JB-1 a JB-2 situovaných do hodruško-štiavnického intruzívneho komplexu. Podľa podkladu geologickej mapy 1 : 50 000 Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán; Konečný et al., 1998). 1 – trias, benkovské súvrstvie: pieskovce, ílovité bridlice; 2 – granodiorit až diorit (subvulkanický plutón); 3 – porfyrický granodiorit (vyhniarska drvená žula); 4 – dajky a silly kremťodioritových porfýrov; 5 – dajky intermediálneho porfýru; 6 – argility; 7 – deluviálne sedimenty; 8 – haldy a navážky.

Fig. 1. The geological situation in the area near boreholes JB-1 and JB-2 localized in the body of the Hodruša-Štiavnica intrusive complex based on the geological map 1 : 50 000 Štiavnica and Pohronský Inovca Mts. (the Štiavnica stratovolcano; Konečný et al., 1998). 1 – Triassic, Benkovo Formation: sandstones and shales; 2 – granodiorite to diorite (subvolcanic pluton); 3 – porphyritic granodiorite ("Vyhne crushed granite"); 4 – dikes and sills of quartz diorite porphyry; 5 – dikes of intermediate porphyry; 6 – argillites; 7 – deluvial sediments; 8 – anthropogenic spoils.



Obr. 2. Dajka aplitu presekávajúca propylitizovaný granodiorit. Svetlé pruhy až šošovky predstavujú segregáty monominerálneho kremeňa. Makroskopicky tmavé kryštály až agregáty reprezentujú turmalíny dravitového až skorylového zloženia. Vzorka z haldového materiálu štôlne Končiar.

Fig. 2. The propylitized granodiorite is crosscut by the aplite dike. The light bands and lenses represent segregations of pure quartz. The dark crystals represent tourmalines of dravite to schorl composition. Sample is taken from the damp of the Končiar adit.

JB-1/89 (obr. 1). GPS súradnice: $x = -442\ 661$, $y = -1\ 254\ 866,18$. Aplít s mocnosťou 15 – 20 cm je lokalizovaný v bloku propylitizovaného granodioritu (obr. 2).

Metodika

Vzorky aplítov z okolia Rumplovskej RM-3, RM-4, RM-5 a RM-6 boli študované petrograficky v polarizačnom mikroskope a následne analyzované elektrónovým mikroskopom v ŠGÚDŠ v Bratislave. Vzorka RM-6 bola rezaním očistená od cudzích zložiek okolitej horniny a alterovaných partií pre získanie reprezentatívneho chemického zloženia primárneho aplítu. Chemická analýza bola realizovaná v laboratóriách ŠGÚDŠ v Spišskej Novej Vsi metódou XRF (Rtg. fluorescencia i hlavné a stopové prvky) a metódou ICP OES (optická induktívna spektrometria s induktívne viazanou plazmou). Pomery rádiogénnych izotopov $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ a $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ boli analyzované pomocou MC ICPMS (hmotnostná spektrometria s multi-kolektorom a indukčne viazanou plazmou) v laboratóriách Inštitútu Nauk Geologicznych PAN, Ośrodek Badawczy w Krakowie.

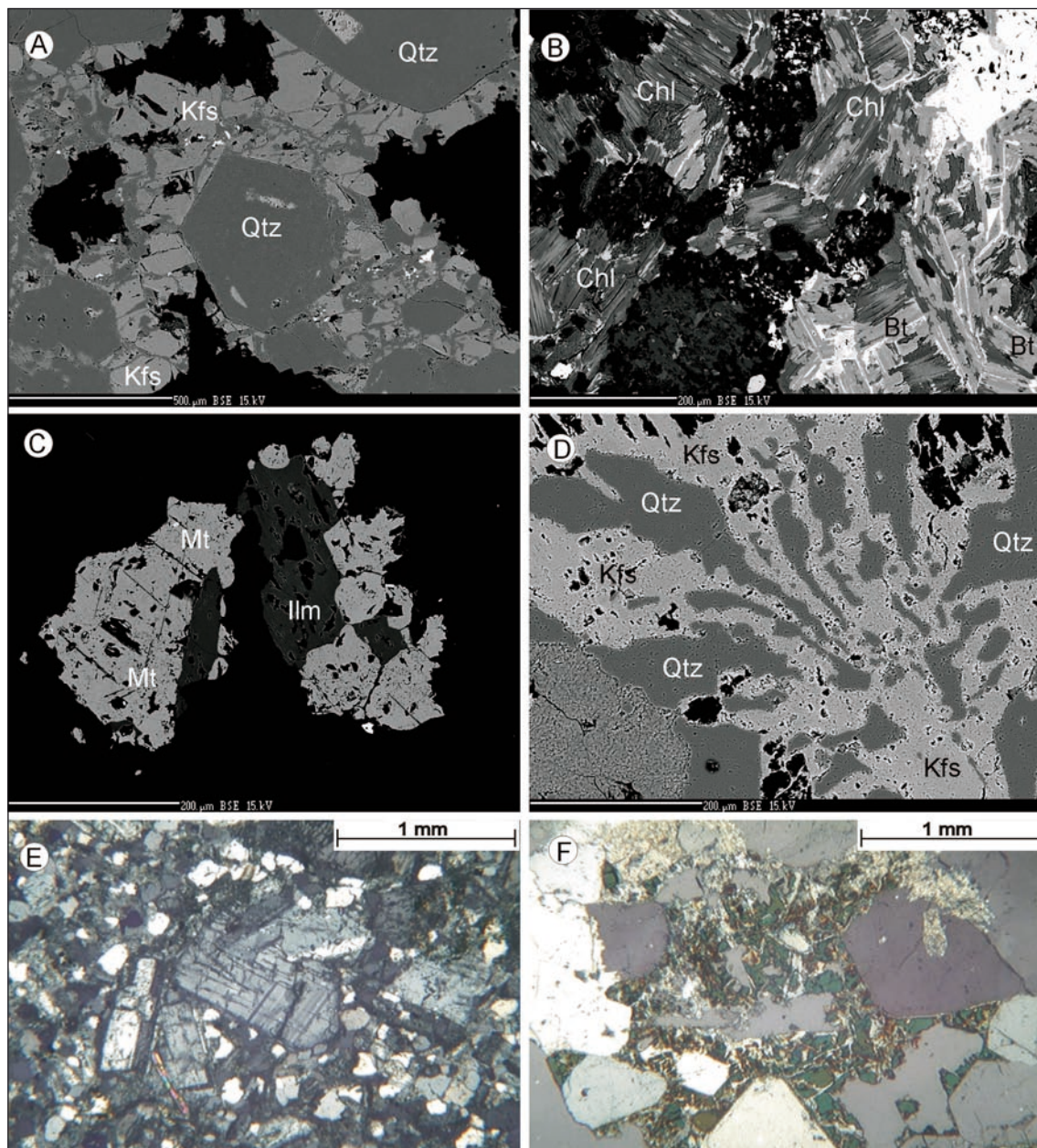
Petrografická charakteristika aplítových hornín

Študované aplítové horniny sú makroskopicky jemnozrnné svetlé horniny s pruhmi monominerálneho kremeňa a tmavými škvrnami čierneho turmalínu (obr. 2). Miestami, ale v nepravidelných intervaloch, možno pozorovať výrastlice živcov alebo kremeňa.

Horninové minerály tvorí plagioklas, K-živce, biotit, kremeň, sporadické Fe-Ti oxidy a turmalín. Z akcesórií je identifikovaný apatit a zirkón. Minerálne zloženie, ako aj štruktúra sú v rámci horniny silne premenlivé, čo naznačuje vnútornú diferenciáciu počas kryštalizácie. Štruktúra sa pohybuje od porfyrickej (obr. 3A, 3E) k afyrickej s holokryštalickým panalotriomorfým (obr. 3E) alebo granofyrickým vývojom (obr. 3D) kremeňovo-K-živcového matrixu (obr. 3A, 3E). Miestami sú prítomné zóny s rovnomerne zrnitým kremeňovo-K-živcovým vývojom, kombinovaným s intersticiálnym turmalínom (obr. 3F) so zeleno-hnedým pleochroizmom a výraznou zonálnosťou. Zirkón je viditeľne predĺžený podľa prizmy a naznačuje výrazný teplotný pokles počas i po umiestnení aplítu do priestoru hostiteľského solidifikovaného granodioritu. Makroskopicky pozorovateľným príkladom vnútornej diferenciácie sú pretiahnuté šošovky segregovaného kremeňa, paralelne orientované so smerom intrúzie aplítu. Štruktúrna heterogenita je sprevádzaná zmenami v minerálnom zložení. Prítomné sú partie obsahujúce idiomorfny plagioklas (obr. 3E) a hypidiomorfny až alotriomorfny K-živce v asociácii porfyrických výrastlíc. V ďalších partiách dominuje idiomorfny kremeň, pričom výrastlice živcov absentujú (obr. 3A). Fe-Ti oxidy sú veľmi sporadické. Biotit väčšinou nie je pozorovaný. Identifikované sú jeho inklúzie (relikty) v hostiteľskom turmalíne alebo v niektorých partiách fantómu po glomeroporfyrických agregátoch v súčasnosti prevažne chloritizovaných biotitov (obr. 3B). Potvrdzuje to jeho

stabilitu počas predchádzajúceho magmatického vývoja. Predpokladáme, že všetky uvedené minerály, ktoré morfológicky patria do asociácie porfyrických výrastlíc, kryštalizovali *in situ* po umiestnení aplitu. Na rozdiel od variability asociácie porfyrických výrastlíc, zloženie matrixu tvorí vždy asociácia kremeňovo-K-živcového degenerovaného haplogranitového systému. Svedčí to o ochudobnení plagioklasovej zložky a o záverečnej

samostatnej kryštalizácii K-živca. Potenciálnemu narušeniu plagioklasovo-K-živcového kotektika počas kryštalizácie zodpovedá aj odlišná morfológia plagioklasu a K-živca. Najnápadnejším horninotvorným minerálom je turmalín. Častý alotriomorfny až hypidiomorfny habitus nie je výsledkom nerovnováhy, ale skôr dôsledkom kinetiky kryštalizácie. Intersticiálna pozícia niektorých turmalínov v štruktúre aplitu svedčí o jeho záverečnej kryštalizácii.



Obr. 3. Petrografické fotografie aplitovej horniny. **A** – Idiomorfne výrastlice kremeňa v holokryštalickom kremeňovo-ortoklasovom matrixe, BSE; **B** – Alterácia biotitu na chlorit, BSE; **C** – Prerastanie ilmenitu a magnetitu, BSE; **D** – Granofyrická štruktúra matrixu, BSE; **E** – Výrastlice plagioklasu v panalotriomorfnom matrixe; **F** – Kryštál turmalínu v intersticiálnej pozícii medzi kremeňmi a K-živcom. Snímky E a F sú v polarizovanom svetle.

Fig. 3. The petrographic microphotographs of aplite. **A** – Idiomorphic quartz phenocrysts in the host crystalline matrix; **B** – The biotite alteration to chlorite; **C** – Association of magnetite and ilmenite; **D** – The granophyric intergrowth of matrix quartz and K-feldspar; **E** – The plagioclase phenocrysts occur in crystalline allotropic texture; **F** – The interstitial tourmaline crystal between quartz and feldspar. Photographs E and F are taken under crossed polarizers.

Tab. 1a

Chemické EMP analýzy porfyrických plagioklasov aplitovej horniny. Kryštalochémické vzorce sú rávané na 5 katiónov. V spodnej časti tabuľky je uvedené zloženie živcov v mol. %. Chemical EMP analyses of porphyric plagioclases from aplitic rocks. Crystalchemical formulas are calculated on the basis of 5 cations. Ternary feldspar composition is in mol. %.

Vzorka	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-5	RM-5	RM-5	RM-5
Č. an.	Pl an. 15	Pl an. 16	Pl an. 18	Pl an. 19	Pl an. 21	Pl an. 22	Pl an. 23	Pl an. 38	Pl an. 39	Pl an. 54	Pl an. 55	Pl an. 57	Pl an. 55	Pl an. 54	Pl an. 57
SiO ₂	56,154	58,837	61,190	58,610	55,664	61,852	58,721	59,224	62,283	63,305	63,095	67,266	63,095	63,305	67,266
Al ₂ O ₃	27,972	26,210	24,853	26,249	27,747	24,118	26,211	25,178	23,513	22,999	23,256	20,361	23,256	22,999	20,361
FeO	0,147	0,174	0,179	0,151	0,196	0,206	0,201	0,152	0,165	0,320	0,304	0,298	0,304	0,320	0,298
CaO	10,434	8,422	6,613	8,507	10,499	5,967	8,506	7,576	5,531	4,546	5,138	1,329	5,138	4,546	1,329
Na ₂ O	5,468	6,472	7,475	6,467	5,327	7,926	6,421	7,055	8,488	8,556	8,329	10,760	8,329	8,556	10,760
K ₂ O	0,228	0,235	0,403	0,256	0,270	0,360	0,285	0,232	0,218	0,576	0,409	0,118	0,409	0,576	0,118
BaO		0,023			0,012		0,012								
SrO	0,057	0,105	0,053		0,042	0,041	0,035	0,032		0,066	0,039	0,048	0,039	0,066	0,048
Suma	100,46	100,48	100,78	100,24	99,76	100,47	100,39	99,45	100,2	100,37	100,57	100,18	100,57	100,37	100,18
Si	2,521	2,631	2,713	2,625	2,519	2,744	2,628	2,664	2,761	2,803	2,793	2,951	2,793	2,803	2,951
Al	1,480	1,381	1,299	1,385	1,480	1,261	1,382	1,335	1,228	1,200	1,213	1,053	1,213	1,200	1,053
Fe	0,006	0,006	0,007	0,006	0,007	0,008	0,008	0,006	0,006	0,012	0,011	0,011	0,011	0,012	0,011
Ca	0,502	0,404	0,314	0,408	0,509	0,284	0,408	0,365	0,263	0,216	0,244	0,062	0,244	0,216	0,062
Na	0,476	0,561	0,643	0,562	0,467	0,682	0,557	0,615	0,730	0,735	0,715	0,915	0,715	0,735	0,915
K	0,013	0,013	0,023	0,015	0,016	0,020	0,016	0,013	0,012	0,033	0,023	0,007	0,023	0,033	0,007
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,001	0,003	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
An	50,65	41,26	32,07	41,47	51,32	28,77	41,57	36,75	26,15	21,95	24,82	6,34	24,82	21,95	6,34
Ab	48,03	57,37	65,60	57,04	47,11	69,16	56,78	61,91	72,62	74,74	72,82	92,98	72,82	74,74	92,98
Or	1,32	1,37	2,33	1,49	1,57	2,07	1,66	1,34	1,23	3,31	2,35	0,67	2,35	3,31	0,67

Chemické zloženie minerálov

Živce: Plagioklas v aplite (tab. 1a) vystupujú ako samostatné zonálne výrastlice idiomorfného habitu. Plagioklas v matrice nie sú pozorované a tvoria ho výlučne K-živce a kremeň. Zloženie plagioklasov sa pohybuje od 51 – 21 mol. % An s klesajúcim obsahom anortitu smerom k okraju kryštálov. Ojedinele bol identifikovaný kyslý plagioklas so 6 mol. % An, ktorý vystupuje ako inklúzia v turmalíne. V porovnaní s plagioklasmi je habitus K-živcov hypidiomorfný až alotriomorfný. Obsah ortoklasovej molekuly narastá smerom od hypidiomorfných výrastlíc k alotriomorfným ortoklasom v matrice, Or (78) – Ab (22) – An (0,5) až Or (96) – Ab (4) – An (0,1), kde prechádzajú do spoločného granofyrického vývoja s kremeňom. Dvojživcová termometria kalibrovaná na termodynamické hodnoty – od Fuhrmana a Lindsleyho (1988), počítaná pomocou programu Solvcalc (Wen a Nekvasil, 1994), poskytla teploty kotektické kryštalizácie *in situ* 648 – 506 °C. Reálne sú pravdepodobne len vrchné hodnoty, pretože živce morfológicky nie sú v rovnováhe – idiomorfné plagioklas a hypidiomorfné K-živce. Spodná časť získaných teplôt je artefaktom samostatnej kryštalizácie plagioklasu a K-živca v teplotne blízkych podmienkach. Ternárne zloženie živcov je znázornené na obr. 4. Chemické analýzy udáva tab. 1a, b.

Fe-Ti oxidy sú zastúpené len sporadicky (obr. 3C), v dominantnej väčšine horniny absentujú. Ojedinele pozorovaný agregát Fe-Ti oxidov (tab. 2) je zložený z ilmenitov asociujúcich s Ti bohatým magnetitom (jadro agregátu) a magnetitov (s nízkym Ti), ktoré sú sústredené v periférnej časti a zodpovedajú progresívne sa vyvíjajúcim oxidačným podmienkam.

Termometria a oxybarometria založená na kalibrácii podľa Andersena a Lindsleyho (1985) medzi ilmenitmi a Ti bohatým magnetitom (tab. 2, an. 33) zodpovedá hodnotám 692,3 °C a fugacite log $f_{O_2} = -19,03$, resp. ΔFMQ 0,66 (FMQ pufer je podľa Frosta et al., 1988). Podobný termometrický údaj – 716 °C s odchýlkou 16 °C – poskytuje spracovanie analýz pomocou programu QUILF (Andersen et al., 1993), založeného na algoritme od Frosta a Lindsleyho (1992). Údaje sa môžu blížiť k podmienkam zodpovedajúcim okamihu intrúzie aplitu, pričom ich vývoj sledoval ďalší pokles teploty a nárast, resp. fluktuácie hodnôt aktivity O_2 v dôsledku progradujúcej kryštalizácie a odplynovania v otvorenom systéme.

Biotity: Patria medzi prvé kryštalizujúce fázy v aplitoch hodruško-štiavnického intruzívneho komplexu. Sú zriedkavé a vystupujú väčšinou ako relikt v stratifikovaných zónach

Tab. 1b

Chemické EMP analýzy porfyrických K-živcov v aplitovej hornine. Kryštalochemické vzorce sú rátané na 5 katiónov.

V spodnej časti tabuľky je uvedené zloženie živcov v mol. %.

Chemical EMP analyses of porphyric K-feldspars from aplitic rocks. Crystallochemical formulas are calculated on the basis of 5 cations. Feldspar compositions in mol.% are also given.

Vzorka	RM-4	RM-4	RM-4	RM-4	RM-3	RM-5	RM-5	RM-5
Č. an.	20	24	25	26	41	50	51	56
Živec	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs	Kfs
SiO ₂	65,892	65,276	65,994	64,885	65,224	65,895	65,448	65,633
Al ₂ O ₃	18,257	18,310	18,428	18,110	18,252	18,048	18,068	18,113
FeO	0,089	0,182	0,056	0,059	0,074	0,023	0,072	0,273
CaO	0,063	0,103	0,093	0,097	0,141	0,109	0,086	0,023
Na ₂ O	1,477	1,728	1,908	1,471	1,696	2,406	1,601	0,430
K ₂ O	14,261	13,849	13,630	14,195	13,905	13,112	14,320	15,901
BaO	0,353	0,364	0,336	0,359	0,312	0,025	0,123	0,043
SrO	0,016	0,012	0,059	0,081			0,016	0,022
Suma	100,41	99,82	100,5	99,26	99,6	99,62	99,73	100,44
Si	3,029	3,014	3,024	3,017	3,017	3,031	3,021	3,028
Al	0,989	0,996	0,995	0,992	0,995	0,978	0,983	0,985
Fe	0,003	0,007	0,002	0,002	0,003	0,001	0,003	0,011
Ca	0,003	0,005	0,005	0,005	0,007	0,005	0,004	0,001
Na	0,132	0,155	0,170	0,133	0,152	0,215	0,143	0,038
K	0,836	0,816	0,797	0,842	0,821	0,769	0,843	0,936
Ba	0,006	0,007	0,006	0,007	0,006	0,000	0,002	0,001
Sr	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001
An	0,32	0,52	0,47	0,49	0,71	0,54	0,43	0,11
Ab	13,56	15,85	17,46	13,54	15,52	21,69	14,46	3,94
Or	86,12	83,62	82,07	85,96	83,76	77,77	85,11	95,94

Tab. 2

Chemické EMP analýzy Fe-Ti oxidov vzorky aplitu RM-4. Kryštalochemické vzorce sú prerátané na 3 kyslíky a 2 katióny pre analýzy ilmenitov a na 4 kyslíky a 3 katióny pre analýzy magnetitov. Prepočty boli realizované pomocou programu Ilmat (Lepage, 2003).

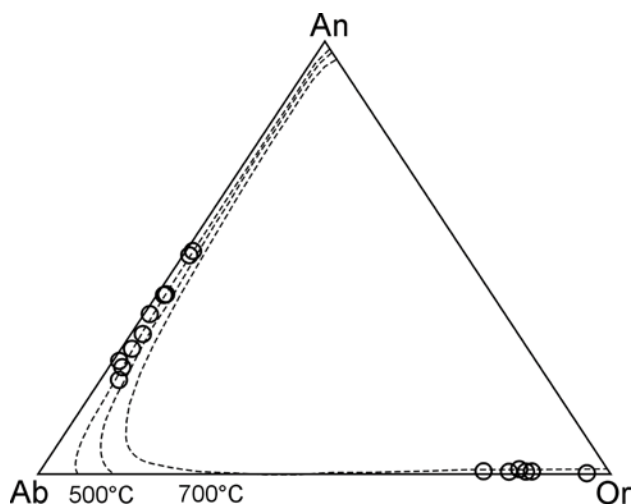
Fe⁺²/Fe⁺³ bol vypočítaný na základe nábojovej bilancie pre neutrálnu kryštálovú mriežku.Chemical EMP analyses of Fe-Ti oxides (aplite sample RM-4). Crystallochemical formulas were calculated on the basis of 3 oxygens and 2 cations for ilmenites or 4 oxygens and 3 cations for magnetite. Fe⁺²/Fe⁺³ were calculated on assumption of neutral charge of crystal structures.

Vzorka RM-4	Ilm an. 28	Ilm an. 29	Ilm an. 30		Mt an. 27	Mt an. 31	Mt an. 32	Ti-Mt an. 33
TiO ₂	49,224	48,422	48,652	TiO ₂	0,586	0,550	0,371	19,392
Al ₂ O ₃				Al ₂ O ₃	0,056	0,264	0,183	0,010
FeO	46,229	47,028	46,572	FeO	89,236	88,842	89,353	71,074
MnO	0,830	0,912	0,887	MnO		0,020		0,178
MgO	0,126	0,214	0,075	MgO	0,062	0,112	0,062	0,090
Cr ₂ O ₃	0,021		0,024	Cr ₂ O ₃	0,018	0,022	0,016	0,012
*Fe ₂ O ₃	3,35	5,31			65,38	65,11	65,69	27,05
Suma	96,76	97,12			96,51	96,33	96,57	93,47
Ilm mol. %	0,966	0,946	0,957	Usp mol. %	0,018	0,016	0,011	0,588
Hem mol. %	0,034	0,054	0,043	Mt mol. %	0,982	0,984	0,989	0,413
Ti	0,967	0,948	0,958	Ti	0,018	0,017	0,011	0,589
Al				Al	0,003	0,012	0,009	0,000
Fe ⁺³	0,066	0,104	0,084	Fe ⁺³	1,962	1,954	1,969	0,822
Fe ⁺²	0,944	0,920	0,935	Fe ⁺²	1,014	1,009	1,007	1,577
Mn	0,018	0,020	0,020	Mn	0,000	0,001	0,000	0,006
Mg	0,005	0,008	0,003	Mg	0,004	0,007	0,004	0,005
Cr	0,000	0,000	0,000	Cr	0,001	0,001	0,001	0,000
Σ kat.	2	2	2	Σ kat.	3	3	3	3

obsahujúcich plagioklas. Často sú alterované na chlority (obr. 3B) alebo vystupujú ako drobné inklúzie v turmalínoch. V oboch prípadoch chemické analýzy (tab. 3) potvrdzujú vysoko horečnaté flogopitové zloženie biotitov (obr. 5). Pri porovnaní zloženia biotitov granitoidných hornín Západných Karpát uvedených v kompilačných prácach Petrika (1980)

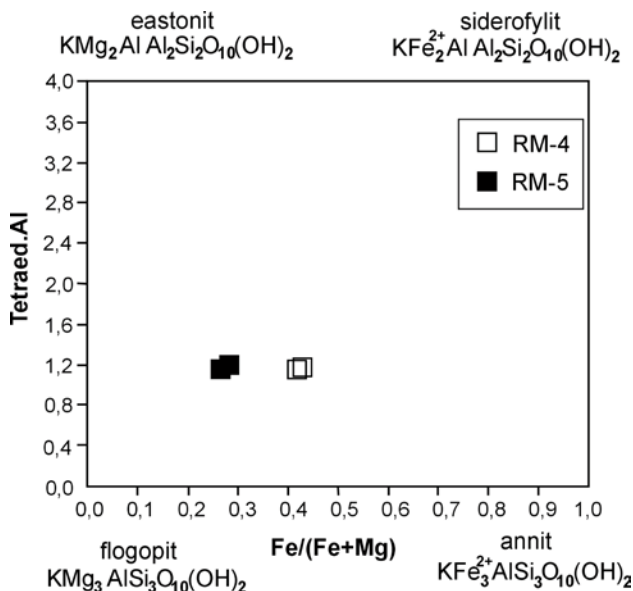
a Petrika et al. (2001) sa ukazuje, že biotity z aplitových hornín hodruško-štiavnického granodioritového telesa patria k doposiaľ najviac horečnatým typom.

Chlority vystupujú ako alteračné produkty magmatických biotitov (obr. 3B). Patria medzi Mg-Fe⁺²-Al tri trioktaédrické chlority podľa klasifikácie Wiewióra a Weissá (1990).



Obr. 4. Ternárne zloženie analyzovaných živcov v systéme albit – anortit – ortoklas. Znáznornené izoplety zodpovedajú zloženiu pri 700/600/500 °C a pri tlaku 500 MPa (pripovrchové podmienky). Izoplety sú konštruované pomocou programu Solvcalc (Wen a Nekvasil, 1994) na základe kalibrácie Fuhrmana a Lindsleyho (1988).

Fig. 4. The ternary feldspars composition in the system of albite – anorthite – orthoclase. Shown isopleths correspond to equilibrium conditions at 700/600/500 °C and pressure 500 MPa (near surface intrusion). Isopleths were constructed using Solvcalc software (Wen and Nekvasil, 1994) after calibration of Fuhrman and Lindsley (1988).



Obr. 5. Chemické zloženie biotitov korešponduje s flogopitovým zložením.

Fig. 5. The chemical composition of biotites corresponds to phlogopites.

Turmalíny

Turmalíny v aplite vystupujú v rozptýlenej forme, pričom tvoria agregáty alebo samostatné jedince. Ich habitus sa prispôbuje okraju okolitých kryštálov, preto sú z väčšej časti intersticiálne. Možno pri nich pozorovať nepravidelný oscilačný vývoj zonality, s prechodom od

Tab. 3

Chemické zloženie analyzovaných biotitov. Biotity an. 34, 37 a 59 sú čiastočne chloritizované. Koeficienty pre kryštalochemické vzorce sú prepočítané na 11 kyslíkov. Biotity RM-4 an. 34 a an. 37 sa nachádzajú v chloritizovaných agregátoch, zatiaľ čo biotity RM-5 an. 59 a an. 60 reprezentujú inklúzie v turmalíne
Chemical compositions of biotites with crystallochemical coefficients calculated on the base of 11 oxygens. Biotites RM-4 an. 34 and an. 37 are relicts from altered chloritized aggregates. Biotites RM-5 an. 59 and an. 60 represent inclusion relicts in the host tourmaline

	RM-4 an. 34	RM-4 an. 37	RM-5 an. 59	RM-5 an. 60
SiO ₂	37,38	36,53	38,03	38,74
TiO ₂	3,49	3,40	4,61	4,52
Al ₂ O ₃	13,15	12,88	13,82	13,71
FeO	17,56	17,52	11,34	11,40
MnO	0,21	0,16	0,03	0,05
MgO	13,61	13,50	16,42	17,01
CaO	0,13	0,16	0,07	0,15
Na ₂ O	0,09	0,08	0,25	0,35
K ₂ O	8,21	7,87	8,77	9,08
Cl	0,49	0,45	0,29	0,33
H ₂ O _{calc}	3,87	3,88	4,04	4,03
Total	98,19	96,42	97,67	99,36
O = Cl	-0,11	-0,10	-0,07	-0,07
Suma	98,08	96,32	97,60	99,29
Si	2,858	2,848	2,840	2,846
Al ^{IV}	1,142	1,152	1,160	1,154
X	4,000	4,000	4,000	4,000
Al ^{VI}	0,043	0,031	0,056	0,033
Ti	0,201	0,199	0,259	0,249
Fe	1,123	1,142	0,708	0,700
Mn	0,014	0,010	0,002	0,003
Mg	1,552	1,569	1,827	1,863
Y	2,932	2,951	2,852	2,849
Na	0,013	0,012	0,035	0,050
Ca	0,010	0,013	0,006	0,012
K	0,801	0,782	0,835	0,851
Z	0,814	0,794	0,871	0,901
Suma	7,745	7,745	7,723	7,750
Cl	0,064	0,060	0,037	0,040
OH	1,936	1,940	1,963	1,960
Fe/(Fe+Mg)	0,42	0,42	0,28	0,27

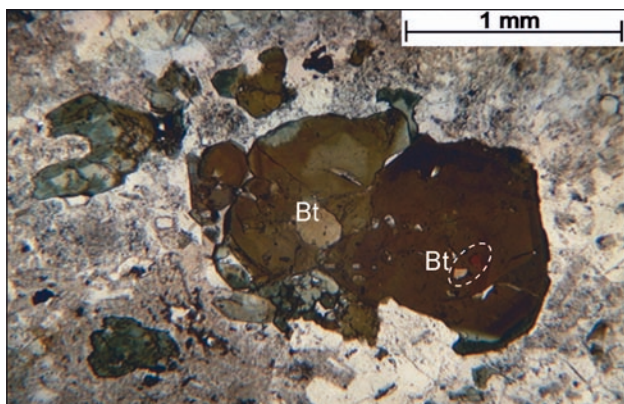
hnedeého cez zelený až modrý pleochroizmus (obr. 6). Časť väčších kryštálov obsahuje inklúzie biotitov flogopitového zloženia, čo naznačuje vznik časti turmalínu ako reakčného produktu pri resorpcii biotitov. Vystupovanie turmalínov v intersticiálnych pozíciách štruktúry horniny poukazuje na fakt, že turmalíny sú produktom záverečnej fázy solidifikácie aplitu. Na základe výsledkov z mikrosondových analýz je možné konštatovať, že turmalíny z aplitov svojím chemickým zložením zaraďujeme do skupiny alkalických turmalínov dravit-skorylovej série (obr. 7). Hnedé jadrá kryštálov turmalínu (vzorka RM-5) zodpovedajú svojím zložením dravitu s pomerne úzkym rozpätím pomeru Fe/(Fe+Mg) = 0,28 – 0,32 a obsahom vakancií v pozícii X v rozsahu 0,13 až 0,17 apfu (tab. 5). Nepravidelné okrajové zóny modrozelené farby na hnedých dravitových kryštáloch zodpovedajú alkalickému turmalínu dravit-skoryloveho zloženia so širokým rozsahom pomeru Fe/(Fe+Mg) = 0,47 – 0,78 a nízkym

Tab. 4

Chemické analýzy chloritov, ktoré vystupujú ako produkt alterácie flogopitov. Kryštálochemické vzorce boli vypočítané podľa algoritmu od Wiewióra a Weiss (1990).

Chemical analyses of chlorites. Chlorites act as an alteration product of biotites. Crystallochemical formulas were calculated according to calculation procedure of Wiewióra and Weiss (1990).

	RM-4 an. 17	RM-4 an. 35	RM-5 an. 58
SiO ₂	29,20	30,06	28,76
TiO ₂	0,41	0,07	0,04
Al ₂ O ₃	15,88	16,49	20,06
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00
FeO	22,83	21,92	16,51
MnO	0,21	0,14	0,17
MgO	17,37	18,28	20,84
CaO	0,06	0,15	0,03
K ₂ O	0,17	0,08	0,00
Cl	0,03	0,03	0,00
OH ⁻	10,70	10,93	11,17
Suma	96,87	98,14	97,59
H ₂ O	11,34	11,58	11,83
Si	3,117	3,147	2,950
Al ^{IV}	0,883	0,853	1,050
Sum T	4,000	4,000	4,000
Al ^{VI}	1,115	1,182	1,376
Ti	0,033	0,005	0,003
Fe ³⁺			
Fe ²⁺	2,038	1,919	1,417
Mn	0,019	0,012	0,015
Mg	2,764	2,854	3,187
Ca	0,007	0,017	0,004
K	0,023	0,010	
Cl	0,005	0,005	
OH ⁻	7,995	7,995	8,000
Vakancia	0,132	0,167	0,164
Suma R ³⁺	1,148	1,187	1,378
Suma R ²⁺	4,852	4,813	4,622



Obr. 6. Agregát turmalínov s hnedým, zeleným až modrým pleochroizmom. Turmalíny obsahujú inklúzie biotitu, ktoré sú reliktni po predchádzajúcich biotitoch flogopitového zloženia.

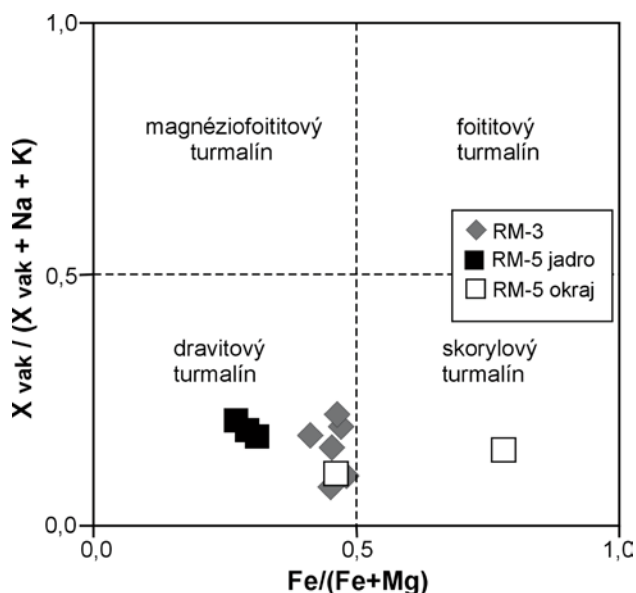
Fig. 6. The tourmaline aggregates of brown, green to blue pleochroism. Tourmalines contain biotite inclusions, which are relicts after primary aplitic micas consumed during the following stage of biotite disequilibrium and tourmaline saturation.

obsahom vakancií v pozícii X 0,08 až 0,11 apfu (tab. 5). Kryštálové agregáty turmalínu zelenohnedej farby (vzorka RM-3), vystupujúce v intersticiálnych pozíciách, majú pomerne uniformné zloženie, charakteristické pre dravitoso so zvýšeným pomerom Fe/(Fe+Mg) 0,41 až 0,48. Obsahy X_□ sa pohybujú v intervale 0,07 – 0,17 apfu. Všeobecne turmalíny dravitovo-skorylového zloženia z aplitu majú znížený obsah hliníka (Al < 6 apfu), na druhej strane majú zvýšený obsah Ca (0,18 – 0,28 apfu). Distribúcia katiónov v kryštálových mriežkach turmalínov je kontrolovaná substitúciami FeMg₋₁ a CaMgNa₋₁Al₋₁.

Geochemická charakteristika aplitu

Aplit má výrazne kyslý charakter granitového, resp. rhyolitového zloženia s SiO₂ 75,7 hm. % (po prepočítaní na 100 % bezvodú silikátovú analýzu). Je subalkalický podľa kritérií SiO₂ – Na₂O + K₂O = 7,96 (Irvine a Baragar, 1971) a má peraluminiový charakter (A/CNK = 1,19).

Napriek svojmu vysoko diferencovanému zloženiu MgO (1,14 hm. %) prevažuje nad FeO_T (0,67). K₂O prevažuje nad Na₂O (7,53 > 0,42) pri pomere K₂O/Na₂O = 17,8. Táto výrazná prevaha draslíka nad sodíkom je extrémna a naznačuje potenciálnu úlohu alterácie spojennej s K-metasomatózou. Alterácia spojená s remobilizáciou alkálií nie je v analyzovanej vzorke pozorovaná. Petrografické pozorovanie naznačuje čisto magmatické diferenciačné obohatenie o K₂O. Distribúcia stopových prvkov má niekoľko zvláštností. Patria sem veľmi nízke koncentrácie REE, s negatívnou Ce-anomáliou (Ce/Ce* = 0,71) a výrazne pozitívnu Eu-anomáliou (Eu/Eu* = 1,77), obr. 8, Zr je voči REE prakticky v ideálnej rovnováhe. Zr anomália prepočítaná podľa metódy od Pearce et al. (1999) dosahuje hodnotu ΔZr = -0,08. Nb tvorí výrazne pozitívnu anomáliu



Obr. 7. Klasifikačný diagram Fe/(Fe+Mg) vs. X_{vak}/(X_{vak}+Na+K) – upravené podľa Henryho et al. (2011).

Fig. 7. Classification plot Fe/(Fe+Mg) vs. X_{vac}/(X_{vac}+Na+K) – (Henry et al., 2011, modified).

Tab. 5
 Reprezentatívne analýzy turmalínov z aplitu (oxidy v hm. %)
 Representative composition of tourmalines from aplite (oxides in wt.%)

Vzorka	RM-3/42	RM-3/43	RM-3/44	RM-3/45	RM-3/46	RM-3/47	RM-5/61	RM-5/62	RM-5/63	RM-5/64	RM-5/65
Minerál	dravit	dravit	dravit	dravit	dravit	dravit	dravit	dravit	dravit	skoryl	dravit
SiO ₂	35,89	35,94	35,43	35,86	36,55	36,23	37,39	37,24	36,83	32,69	35,58
TiO ₂	0,99	1,22	1,44	1,32	0,97	1,52	1,14	1,37	1,79	0,30	0,27
B ₂ O ₃ *	10,41	10,44	10,32	10,30	10,45	10,38	10,75	10,72	10,62	9,68	10,25
Al ₂ O ₃	29,82	29,52	28,30	27,36	28,88	27,75	30,66	30,52	28,85	26,69	27,59
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,04	0,00	0,02	0,00
FeO	9,86	10,01	10,84	10,40	9,14	10,23	5,89	6,14	7,18	18,88	11,58
MnO	0,03	0,02	0,01	0,07	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04
MgO	6,32	6,41	6,59	7,17	7,27	7,08	8,57	8,20	8,61	2,93	7,45
CaO	1,07	1,27	1,43	1,52	1,12	1,34	1,01	1,11	1,50	1,45	1,10
Na ₂ O	1,95	1,88	2,01	2,00	2,00	1,92	2,06	2,06	1,88	1,72	2,16
K ₂ O	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,07	0,04	0,06	0,06	0,06	0,04
H ₂ O*	3,59	3,60	3,56	3,55	3,60	3,58	3,71	3,70	3,66	3,33	3,53
Cl	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
Suma	100,02	100,40	100,00	99,63	100,08	100,15	101,24	101,17	100,98	97,77	99,60
Vzorce normalizované na 31 (O, OH) a 3 atómy B Formula based on 31 (O, OH) and 3 B atoms											
Si	5,991	5,986	5,967	6,054	6,079	6,067	6,046	6,037	6,029	5,869	6,034
Al T	0,009	0,014	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,000
Suma T	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
B	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Ti	0,124	0,153	0,182	0,168	0,121	0,191	0,139	0,167	0,220	0,041	0,034
Al (Y+Z)	5,857	5,780	5,584	5,443	5,661	5,477	5,843	5,831	5,566	5,517	5,515
Cr	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,005	0,000	0,003	0,000
Fe	1,376	1,394	1,527	1,468	1,271	1,433	0,796	0,832	0,983	2,835	1,642
Mn	0,004	0,003	0,001	0,010	0,004	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,006
Mg	1,573	1,591	1,655	1,804	1,803	1,767	2,066	1,982	2,101	0,784	1,884
Suma (Y+Z)	8,937	8,926	8,949	8,893	8,860	8,875	8,846	8,818	8,870	9,180	9,081
Ca	0,191	0,227	0,258	0,275	0,200	0,240	0,175	0,193	0,263	0,279	0,200
Na	0,631	0,607	0,656	0,655	0,645	0,623	0,646	0,647	0,597	0,599	0,710
K	0,013	0,011	0,013	0,015	0,013	0,015	0,008	0,012	0,013	0,014	0,009
Suma X	0,835	0,845	0,927	0,945	0,858	0,878	0,829	0,852	0,873	0,892	0,919
Vakancie X	0,165	0,155	0,073	0,055	0,142	0,122	0,171	0,148	0,127	0,108	0,081
Cl	0,003	0,003	0,003	0,006	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,006	0,003
OH celkový	3,997	3,997	3,997	3,994	3,997	4,000	3,997	4,000	4,000	3,994	3,997
Suma kat.	18,772	18,771	18,877	18,892	18,798	18,821	18,721	18,708	18,772	19,071	19,034
Al celkový	5,866	5,794	5,617	5,443	5,661	5,477	5,843	5,831	5,566	5,648	5,515
Fe/(Fe+Mg)	0,47	0,47	0,48	0,45	0,41	0,45	0,28	0,30	0,32	0,78	0,47

(Nb/La_n = 4,33), čo je opäť ďalší netypický fenomén. Rb a Ba sú výrazne obohatené a korešpondujú s obohatením o K a Nb (obr. 9). Bárium zaznamenáva mierny deficit voči Rb a K, ktorý je ovplyvnený predchádzajúcou frakcionáciou K-živca. Z prchavých prvkov je možné pozorovať vysoký obsah bóru (480 ppm). Strata žiháním (LOI) je pomerne vysoká: 2,61 hm. %. Zloženie rádiogénnych izotopov ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr a ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd aplitu (εNd_{12,5} = -4,93) sa prekrýva s εNd_{12,5} (-4,71 až -5,99) vulkanických hornín štiavnického stratovulkánu (Harangi et al., 2007). ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr aplitu RM-6 je výrazne obohatený voči izotopovému trendu CSVF (obr. 10), čo je rovnako aj črtou rhyolitových hornín jastrabskej formácie, ale pri primitívnejšom ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd.

Ide o dôsledok vysokého Rb/Sr (2,3), ktorý je výsledkom obohacovania o Rb počas diferenciácie intruzívneho telesa, podporovaného ochudobňovaním o Sr kumulátovým efektom kryštalizujúceho plagioklasu.

Diskusia

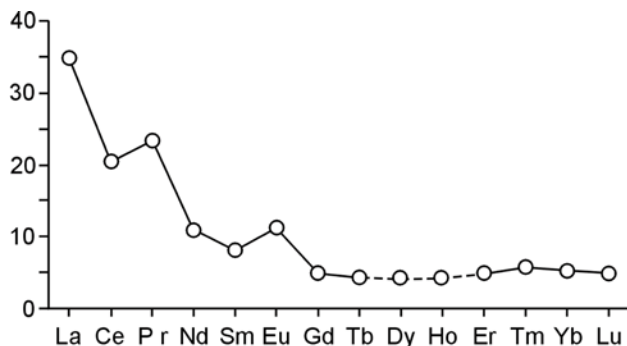
Študovaná aplitová hornina z hodruško-štiavnického intruzívneho komplexu sa vyznačuje svojou textúrnou, štruktúrnou a mineralogickou heterogenitou, čo naznačuje jej vlastný diferenciálny a stratifikačný vývoj. Intrudujúca acidná tavenina bola afyrická, pretože nie sú pozorované výrazne väčšie fenokrysty, ktorých prítomnosť by zvýšila

Tab. 6

Chemické zloženie aplitu RM-6a. Hlavná silikátová analýza a analýza stopových prvkov (druhý stĺpec) sú realizované metódou XRF a REE, Th, U sú analyzované metódou ICP OES. Pomery rádiogénnych izotopov sú analyzované metódou MC ICPMS.

Chemical composition of aplite RM-6a. Major elements and selected trace elements (the second column) were determined by X-ray fluorescence. REE, Th, U were analysed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) and the radiogenic isotope ratios of Sr and Nd were measured on MC ICPMS Neptune in the Institute of Polish Academy of Science in Cracow.

Vzorka	RM-6a	La	8
Hornina	aplit	Ce	12
Lokalita	Rumplovská, okolie	Dy	1,23
GPS	x -442661; y -1254866,18	Er	0,76
SiO ₂	73,35	Zr	40
Al ₂ O ₃	12,69	Nb	36
Fe ₂ O ₃ *	0,72	La	9
CaO	1,15	Y	8
MgO	1,1	Cr	<5
TiO ₂	0,1	Ni	1
MnO	0,04	V	14
K ₂ O	7,3	Sc	2
Na ₂ O	0,41	Rb	252
P ₂ O ₅	0,08	Sr	109
LOI	2,61	Ba	809
H ₂ O ⁻	0,3	Ga	17
Suma	99,85	Pb	11
FeO	0,47	B	480
		⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0,711166
		¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	0,512381
		⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr _{12,5}	0,709978
		¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd _{12,5}	0,512369

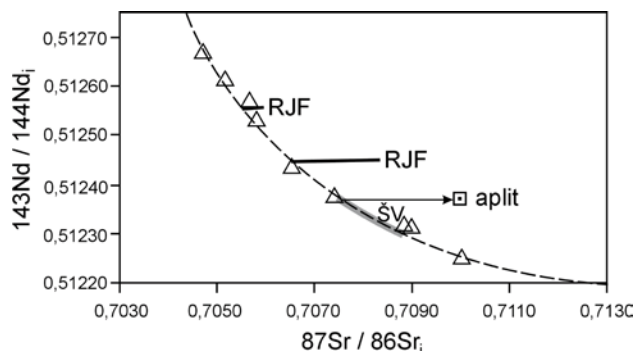


Obr. 8. Distribúcia REE aplitu RM-6 normalizovaná na chondrit C1 (Sun a McDonough, 1989). Pre zvýraznenie detailov nie je použitá logaritmická škála. Dy_n a Ho_n sú aproximované na základe distribúcie Tb-Er_n.

Fig. 8. REE normalized distribution of aplite sample RM-6 to chondritic values C1 after Sun and McDonough (1989). The logarithmic scale is omitted for better emphasizing of details. Dy_n and Ho_n are approximated on the basis of Tb-Er_n distribution.

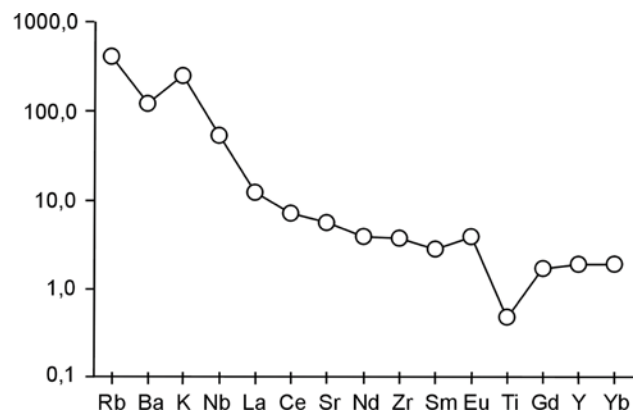
Obr. 9. Distribúcia normalizovaných obsahov prvkov vzorky aplitu RM-6 normalizovaná na hodnoty primitívneho nediferencovaného plášťa podľa Suna a McDonougha (1989).

Fig. 9. The distribution of elements normalized to values of primitive undifferentiated earth mantle after Sun and McDonough (1989).



Obr. 10. Izotopové zloženie vzorky aplitu RM-6 v porovnaní s izotopovým zložením stredoslovenských neovulkanitov „CSVF“ (Harangi et al., 2007) a rhyolitov jastrabskej formácie „RJF“ (Demko et al., nepublikované údaje). Analyzované pomery ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr₀ a ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd₀ sú prepočítané na vek 12,5 mil. rokov (Černyšev et al., 1995), ktorý pre porovnanie zjednocuje všetky analyzované horniny stredoslovenských neovulkanitov na jednotnú časovú úroveň. Čiarkovaná línia znázorňuje miešanie alebo vývoj izotopového rezervoára stredoslovenských neovulkanitov. RJF sú znázornené pruhmi, ktoré sa odkláňajú od hlavného trendu, rovnako ako vzorka aplitu RM-6. Systematický odklon je dôsledok vysokého Rb/Sr, ktorý je produktom obohatenia o Rb počas vnútornej diferenciácie granodioritovej intrúzie a sprievodného ochudobnenia o Sr kumulatovým efektom kryštalizujúceho plagioklasu. Sivá čiara vo vývojovom trende CSVF znázorňuje izotopové zloženie magiem štíavnického stratovulkánu (Harangi et al., 2007), ktoré sa v rámci izotopového pomeru ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd_{12,5} prekrývajú s aplitom, čo dokladá totožný izotopový zdroj aplitovej taveniny a magiem ŠV, resp. aspoň ich kogenetický charakter.

Fig. 10. The isotopic composition of aplitic sample RM-6 in comparison with other Central Slovakia volcanic field “CSVF” rocks (Harangi et al., 2007) and rhyolites of Jastrabá Formation “RJF” (Demko, unpublished data). All analysed isotopic ratios are recalculated to 12.5 Ma (Chernyshev et al., 1995) for comparison to one common time level. RJF are figured as strips departing from the main CSVF trend, likewise to the analysed aplite. The systematic deviation from the main CSVF trend is due high Rb/Sr ratio, which responds to selective enrichment of Rb by internal granodiorite differentiation and contemporaneous Sr depletion by cumulative effect of plagioclase crystallization. The grey strip corresponds to the isotopic composition of the Banská Štiavnica stratovolcano “ŠV” (Harangi, 2007). The aplite falls to the segment of ŠV volcanics suggesting the same Nd isotopic source or at least their partially cogenetic character.



viskozitu a tým aj možnosť efektívnej injektáže na väčšiu vzdialenosť. Vnútna stratifikácia sa prejavuje v asociácii porfyrických výrastlíc plagioklasu, K-živca a kremeňa. Polohy obohatené o idiomorfne plagioklasy, prípadne absencia plagioklasu v polohách bohatých na výrastlice K-živca alebo idiomorfneho kremeňa, a absencia plagioklasu v matrixe naznačujú ranú samostatnú kryštalizáciu plagioklasu pred K-živcom. Nie je vylúčená neprítomnosť kotektickej kryštalizácie Pl-Kfs (hypersolvné plagioklasy). Tento jav, typický pre peraluminiové horniny, bol potvrdený experimentálne (Gardien et al., 2000). V tomto prípade sú kotektické teploty Pl-Kfs kryštalizácie artefaktom minimálne v spodnej časti intervalu 648 – 506 °C. Spoločnejším údajom je teplota ~700 °C, získaná z Fe-Ti oxidov pri fO_2 –19,03. Napriek zriedkavej prítomnosti Fe-Ti oxidov sa môže približovať reálnej teplote injektujúcej diferencovanej taveniny. Následný proces kryštalizácie *in situ* kyslej taveniny viedol k vnútornej látkovej heterogenite a nárastu H_2O a bóru v reziduálnej intersticiálnej tavenine. Prejavom tohto javu je prechod ku kryštalizácii magnetitu, narušenie stability biotitu a jeho spätnej resorpcie s prechodom ku kryštalizácii turmalínu. Postupný nárast H_2O a priestorová interakcia niekoľkých kryštalizačných frontov viedli k vytesneniu zostatkového SiO_2 a k vzniku segregátov monominerálneho kremeňa šlirového charakteru (Morgan a London, 1999). Kryštalizujúci aplitový systém bol otvorený s ohľadom na fluidnú fázu, pretože neboli pozorované žiadne prejavy hydraulkej brekciácie a miarolitické štruktúry sú sporadické.

Viacero špecifických čŕt chemického zloženia nie je typických pre klasickú bowenovskú diferenciáciu z bázejšieho magmatického protolitu a vypovedá o špecifickej petrogenéze aplitovej taveniny. Patrí sem MgO (1,1 hm. %) > $Fe_2O_3^*$ (0,72 hm. %), výrazne vysoký K_2O (7,3 hm. %) alebo $K_2O/Na_2O = 17,8$, nízke obsahy REE, Ce/Ce^* , Eu/Eu^* a Nb/La_n .

Prítomnosť negatívnej Ce anomálie je možné chápať ako znak kontaminácie magmatického zdroja sedimentárnym materiálom, avšak hodnoty $\epsilon Nd_{12,5}$ (–4,93) sú relatívne primitívne a prekrývajú sa s hodnotami $\epsilon Nd_{12,5}$ (–5,99; –4,71) pre vulkanity štíavnického stratovulkánu. Potenciálna asimilácia sedimentárneho materiálu by tieto hodnoty posunula k výrazne nižším hodnotám. Príčinu $Ce/Ce^* < 1$ možno intuitívne hľadať v samostatnom geochemickom správaní Ce^{4+} od REE^{3+} v priebehu predchádzajúcich diferenciálnych a extrakčných procesov s vysokou aktivitou fluidnej fázy. Nízke obsahy REE sú spôsobené kompatibilným správaním REE počas predchádzajúcej diferenciácie materského granodioritového plutónu frakcionáciou akcesorických fáz bohatých na REE. $Nb/La_n \gg 1$, typická čŕta anorogénnych alkalických magiem, je v protiklade k subdukčnému geodynamickému prostrediu stredoslovenských neovulkanitov. Zaznamenaný Nb/La_n , resp. pozitívna Nb anomália, je dôsledok nezávislej frakcionácie REE voči Nb a podporuje predstavu o samostatnej kompatibilitate REE. Tieto javy (Ce/Ce^* , nízke REE, Nb/La_n) sú v súlade s klasickou diferenciáciou z materského granodioritu, ako naznačujú aj pozorovania z petrografického štúdia vrtných jadier (Hojstričová, 1990;

Šály, 1992). Kyslé taveniny sa tu objavujú v podobe akumulácií a segregácií žiliel z kryštalického skeletu solidifikujúceho granodioritu účinkom tlakovej extrakcie. Často opisovaný amfibol v diferencujúcom granodiorite má za následok peraluminiový charakter kyslých extraktov (Deering et al., 2010). Takto jednoduchému procesu kryštalizačnej diferenciácie a tlakovej extrakcie však odporuje výrazný pomer $Eu/Eu^* > 1$. Očakávaným následkom kryštalizácie živcov v granodiorite (Hojstričová, 1990; Šály, 1992) je práve výrazná negatívna Eu anomália. Vplyv kumulatívneho nahromadenia porfyrických živcov na zloženie aplitovej magmy je nepravdepodobný, pretože vysoko porfyrická magma by bola prakticky nepohyblivá. Riešením je kombinovaná extrakcia diferencovanej intersticiálnej taveniny z kryštálovej kaše tuhnúceho granodioritového plutónu kombinovaná s reverzným tavením živcového materiálu hostiteľského telesa. Nerovnovážne javy medzi živcami a diferencujúcou taveninou dokladajú alotriomorfne habity živcov z hlbších úrovní granodioritového telesa, ako pozorovali vo vzorkách z vrtných jadier Hojstričová (1990) a Šály (1992). Pretavenie bolo výsledkom tepelného účinku nových injekcií bázeickej magmy na tuhnúci plutón alebo výrazného nárastu H_2O a bóru v diferencovanej reziduálnej tavenine s následným znížením teploty solidu (Dingwell et al., 1991). Pozorovaný vysoký obsah bóru v aplitových taveninách si vyžaduje práve takýto efektívny mechanizmus obohatenia prchavých zložiek tlakovou extrakciou (London et al., 1996).

Samotné chemické zloženie aplitu RM-6a nie je vhodné na kryštalizáciu turmalínu, a to napriek relatívne vysokému obsahu bóru (480 ppm) a peraluminiovému zloženiu. Podľa experimentálnych údajov (Bénard et al., 1985; London et al., 1996) sú pre saturáciu turmalínu v asociácii Bt + Cdr + Turm v kyslej peraluminiovej tavenine potrebné podmienky 2,5 hm. % B_2O_3 pri ASI = 1,3. Potrebný obsah B_2O_3 pre saturáciu turmalínu v peraluminiových taveninách sa pohybuje medzi 0,3 – 2,5 hm. %, resp. 932 – 7 764 ppm, v závislosti od aktivity Al a teploty (London et al., 1996). Turmalín bol identifikovaný ako nestabilný v metalumíniovej tavenine s biotitom pri 6 hm. % B_2O_3 . Turmalín sa rozpúšťal, kým tavenina nedosiahla hodnoty ASI 1,3 – 1,4.

Relatívne nízka koncentrácia bóru a relatívne nízky ASI aplitu (1,2) si vyžadujú pre saturáciu turmalínu podporu ďalších fyzikálnych parametrov, ktoré dokážu zvýšiť obsah bóru na saturačnú úroveň vo vhodných T-X podmienkach. Postupná solidifikácia aplitovej taveniny (pokles teploty) *in situ* viedla nutne k nárastu H_2O a B v intersticiálnej tavenine, pretože jedinou hydroxy-silikátovou fázou schopnou tmiť nárast H_2O v reziduálnej tavenine bol biotit, ktorý pre primárne nízky obsah Mg-Fe bol len vedľajšou fázou. Distribučné koeficienty fluidná fáza/tavenina sú väčšie pre H_2O ako pre B (London et al., 1996), preto pri úniku fluid v otvorenom systéme (difúzia do okolitej horniny) došlo k ďalšiemu obohacovaniu bórom. Pokles teploty a nárast aktivity bóru viedli k rozloženiu biotitu a kryštalizácii turmalínu dravitového až skorylového zloženia v štruktúrnych pozíciách po biotitoch a v intersticiálnych pozíciách medzi už vykryštalizovaným kremeňom a K-živcom. V uvedenej interpretácii je turmalín

záverečnou fázou kryštalizácie aplitovej taveniny. Samotný proces hydrotermálnej alterácie na genézu turmalínov nie je postačujúci, pretože turmalíny sú často prítomné aj v čistých nealterovaných partiách.

Záver

Aplitová dajka, ktorá intruduje hodruško-štiavnický intruzívny komplex dioritovo-granodioritového zloženia, je tvorená subalkalicou peraluminiovou granitovou horninou s častými čiernymi turmalínmi dravit-skorylového zloženia. Petrogenéza materskej aplitovej magmy je spojená s tlakovou extrakciou diferencovanej intersticiálnej taveniny z kryštálového skeletu pokročilo solidifikovaného vlastného granodioritového plutónu. Extrahovaná kyslá magma bola ovplyvnená reverzným pretavením živcového materiálu obsiahnutého v kryštálovom skelete granodioritu. Pokročilá diferenciácia bola prvým krokom k obohateniu aplitových tavenín inkompabilným bórom (480 ppm), ktorého sprievodným účinkom bolo zníženie viskozity aplitových tavenín a ich vyššej mobility a efektívnosti injektáže okolitých hornín. Intrúzia aplitovej magmy sa udiala v pripovrchových podmienkach pri teplote ~700 °C a fO_2 -19,03. Následná solidifikácia v dôsledku podchladenia viedla ku kryštalizácii Fe-Ti oxidov, biotitu, plagioklasu, neskôr K-živca a kremeňa, nárastu H_2O a bóru v reziduálnej intersticiálnej tavenine a k vzniku šošoviek monominerálneho kremeňa. Kryštalizačný mechanizmus *in situ* bol druhým procesom, ktorý viedol k dosiahnutiu podmienok nestability a následnému rozloženiu biotitu a saturácii turmalínu. Turmalíny intersticiálneho charakteru sú produktom finálneho štádia kryštalizácie aplitových dajok. Zloženie Nd izotopov aplitovej taveniny stotožňuje magmatický zdroj vulkanických hornín štiavnického stratovulkánu a aplitovej dajky z okolia Rumplovskej. V porovnaní s kyslými vulkanickými horninami jastrabskej formácie sa ukázal odlišný magmatický protolit, čo naznačuje samostatnosť magmatického a vulkanického vývoja okolitých ryolitových hornín a vulkanitov štiavnického stratovulkánu.

Podakovanie. Tento výskum je financovaný MŽP SR v rámci úlohy č.15-06 *Mapy paleovulkanickej rekonštrukcie ryolitových vulkanitov Slovenska a analýza magmatických a hydrotermálnych procesov*. Autori ďakujú recenzentom článku RNDr. Igorovi Petříkovi, CSc., a Mgr. Petrovi Bačíkovi, PhD., za posudky a cenné pripomienky k článku.

References

- ANDERSEN, D. J. & LINDSLEY, D. H., 1985: New model for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer. Abstract AGU 1985, Spring Meeting Eos Transactions. *Amer. Geophysical Union.*, 66, 18, 416.
- ANDERSEN, D. J., LINDSLEY, D. H. & DAVIDSON, P. M., 1993: QUILF: A pascal program to asses equilibria among Fe-Mg-Mn-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz. *Computers & Geosciences*, 19, 1 333 – 1 350.
- BAGDASARJAN, G. P., VASS, D. & KONEČNÝ, V., 1968: Results of absolute determination of rocks in Central and Eastern Slovakia. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 33, 131 – 140.
- BÉNARD, F., MOUTOU, P. & PICHAVANT, M., 1985: Phase relations of tourmaline leucogranites and the significance of tourmaline in silicic magmas. *J. Geol.*, 93, 271 – 291.
- DEERING, C. D., COLE, J. W. & VOGEL, T. A., 2010: Extraction of crystal-poor rhyolite from a hornblende-bearing intermediate mush: A case study of the caldera-forming Matahina eruption, Okataina volcanic complex. *Contr. Mineral. Petrology*, 161, 129 – 151.
- DINGWELL, D. B., KNOCH, R., WEBB, S. L. & PICHAVANT, M., 1992: The effect of B_2O_3 on the viscosity of haplogranitic liquids. *Amer. Mineralogist*, 77, 457 – 461.
- FROST, B. R. & LINDSLEY, D. H., 1992: Equilibria among Fe-Ti oxides, pyroxenes, olivine, and quartz: Part II. Application. *Amer. Mineralogist*, 77, 1 004 – 1 020.
- FROST, B. R., LINDSLEY, D. H. & ANDERSEN, D. J., 1988: Fe-Ti oxide-silicate equilibria assemblages with fayalitic olivine. *Amer. Mineralogist*, 73, 727 – 740.
- FUHRMAN, M. L. & LINDSLEY, D. H., 1988: Ternary – feldspar modelling and thermometry. *Amer. Mineralogist*, 73, 201 – 215.
- GARDIEN, V., THOMPSON, A. B. & ULMER, P., 2000: Melting of biotite + plagioclase + quartz gneisses: The role of H_2O in the stability of amphibole. *J. Petrology*, 41, 651 – 666.
- HARANGI, S., DOWNES, H., THIRLWALL, M. & GMÉLING, K., 2007: Geochemistry, petrogenesis and geodynamic relationships of Miocene calc-alkaline volcanic rocks in the Western Carpathian arc, Eastern Central Europe. *J. Petrology*, 48, 12, 2 261 – 2 287.
- HENRY, D. J., NOVÁK, D. J., HAWTHORNE, F. C., ERTL, A., DUTROW, B. L., UHER, P. & PEZZOTTA, F., 2011: Nomenclature of the tourmaline-supergrout minerals. *Amer. Mineralogist*, 96, 895 – 913.
- HOJŠTRICHOVÁ, V., 1990: Petrograficko-petrochemická charakteristika a premeny horninových komplexov vo vrte B-1. Čiastková správa úlohy Metalogenetický výskum centrálnej zóny štiavnického stratovulkánu. *Manuskript. Bratislava, archív Geofond*, 46 s.
- CHERNYSHEV, I. V., HÁBER, M., KOVALENKER, V. A., IVANENKO, V. V., JELEŇ, S. & KARPENKO, M. I., 1995: The age of the magmatic events and epithermal Au-Ag base metals mineralization in the central zone of the Banská Štiavnica stratovolcano: K/Ar data. *Geol. Carpath.*, 46, 327 – 337.
- IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A., 1971: A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canad. J. Earth Sci.*, 8, 523 – 548.
- KONEČNÝ, V., LEXA, J., HALOUZKA, R., HÓK, J., VOZÁR, J., DUBLAN, L., NAGY, A., ŠIMON, L., HAVRILA, M., IVANIČKA, J., HOJŠTRICHOVÁ, V., MIHALIKOVÁ, A., VOZÁROVÁ, A., KONEČNÝ, P., KOVÁČIKOVÁ, M., FILO, M., MARCIN, D., KLUKANOVÁ, A., LIŠČÁK, P. & ŽÁKOVÁ, E., 1998: Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronskeho Inovca (štiavnický stratovulkán). *Bratislava, GS SR*.
- LEPAGE, L. D., 2003: ILMAT – an Excel worksheet for ilmenite-magnetite geothermometry and geobarometry. *Computers & Geosciences*, 29, 673 – 678.
- LONDON, D., WOLF, M. & MORGAN, G. B., 1994: Boron saturation in granitic magmas: Tourmaline – biotite – cordierite equilibria. *Geol. Soc. Amer. Program. Abstract*, 26, A-516.
- LONDON, D., MORGAN, G. B. & WOLF, M. B., 1996: Boron in granitic rock and their contact aureoles. In: *Reviews in Mineralogy. Amer. Mineralogist*, 299 – 330.
- MORGAN, G. B. & LONDON, D., 1999: Crystallization of the Little Three layered pegmatite-aplite dike, Ramona District, California. *Contr. Mineral. Petrology*, 136, 310 – 330.
- PEARCE, J. A., KEMPTON, P. D., NOWELL, G. M. & NOBLE, S. R., 1999: Hf-Nd element and isotope perspective on the nature and provenance of mantle and subduction components in Western Pacific arc-basin systems. *J. Petrology*, 40, 1 579 – 1 611.
- PETŘÍK, I., 1980: Biotites from granitoid rocks of the West Carpathians and their petrogenetic importance. *Geol. Zbor. Geol. carpath.*, 31, 215 – 230.
- PETŘÍK, I., KOHÚT, M., BROSKA, I. (eds.), UHER, P., HRAŠKO, L., JANÁK, M., PLAŠIENKA, D. & BEZÁK, V., 2001: Granitic plutonism of the Western Carpathians. *Bratislava, Veda*, 116 s.
- PICHAVANT, M., 1981: An experimental study of the effect of boron on water-saturated haplogranite at 1 kbar pressure. Geological applications. *Contr. Mineral. Petrology*, 76, 430 – 439.

- SLOVÁK, L., ŠÁLY, J., JURENKA, S., NOVÁK, P., STUPÁK, J. & MARTUŠEVOVÁ, I., 1992: Vyhne, Jan Benedikti žila. Závěrečná správa, surovina: Pb, Zn, Cu, Au, Ag, vyhladávací prieskum. *Manuskript. Bratislava, archív ŠGÚDS*.
- SUN, S. S. & McDONOUGH, W. F., 1989: Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process. In: *Saunders, A. D. & Norry, M. J. (eds.): Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc., London, Spec. Publ., 42, 313 – 345.*
- WEN, S. & NEKVASIL, H., 1994: Solvcalc: An interactive graphics program packade for calculating thernary feldspar solvus and for two-feldspar geothermometry. *Computers & Geosciences, 20, 1 025 – 1 040.*
- WIEWIÓRA, A. & WEISS, Z., 1990: Crystallochemical classification of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II. The chlorite group. *Clay Miner., 25, 83 – 92.*

Rukopis doručený 5. 9. 2011

Revidovaná verzia doručená 12. 9. 2011

Rukopis akceptovaný red. radou 13. 9. 2011

Petrology and geochemistry of acid aplites from the Hodruša-Štiavnica intrusive complex in the Rumplovská area

The Hodruša-Štiavnica intrusive complex represents a subvolcanic intrusive body located in the central part of the Banská Štiavnica stratovolcano (BŠ), the branch of the Neogene Central Slovakian volcanic field (CSVF). It is composed of diorite, granodiorite and more felsic differentiated rocks such as quartz granodiorite porphyry and acid aplites. The last named aplites are the main object of this study.

Aplites represent sporadic dikes or dike swarms. They are of non-porphyric texture with internal magmatic stratification and layering with lens of quartz.

The internal stratification is built by zones rich in porphyric plagioclases without porphyric K-feldspar, separate K-feldspars or quartz without plagioclase or combined structure of porphyric Pl-Kfs-Qtz. The matrix is formed by Kfs-Qtz intergrowth with variable transitions to allotriomorphic equigranular texture. Fe-Ti oxides, biotites and tourmalines are other rock forming minerals. Black dravite-schrol tourmalines of disseminated distribution are a typical feature of aplites. They indicate positions after consumed biotites or an interstitial space between quartz and K-feldspar as a final product of crystallization.

Aplite can be classified as subalkaline, peraluminous

rock of the granite or rhyolite composition. The chemical study showed low REE concentrations, negative Ce-anomaly (0.7) and positive Eu/Eu* (1.77) and Nb/La_n (4.3) anomalies, high K₂O content (7.3 wt.%) or high K₂O/Na₂O (17.8) and high boron (480 ppm). The Nd isotopes of aplite ($\epsilon\text{Nd}_{12.5} = -4.93$) are close to those in the Banská Štiavnica volcanic rocks with ($\epsilon\text{Nd}_{12.5} = -5.99, -4.71$) and they differ from other rhyolitic volcanic rocks of CSVF, belonging to the Jastrabá Formation (RJF).

The unusually complicated chemical characteristics correspond to the specific petrogenesis of aplite. It was derived from the main granodiorite body as a final product of differentiation. The petrogenetic scenario operates with prograding granodiorite differentiation, the next partial remelting of parental granodiorite and pressure-induced extraction of the evolved melt. Following the melt extraction, aplites intruded their own intrusive complex or the area of surrounding host rocks (metasediments and the Mesozoic carbonate rocks). The primary effective enrichment of boron was still low for tourmaline saturation. Subsequent *in situ* solidification (the second enrichment process) shifted the residual liquid composition towards the boron enrichment, tourmaline saturation and biotite consumption.