

Turmalín v peraluminických granitech na východním okraji střebočeského plutonického komplexu

Tourmaline from peraluminous granite on the eastern margin Central Bohemian Plutonic Complex

DAVID BURIÁNEK

Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 59 Brno

BURIÁNEK D. (2012) Turmalín v peraluminických granitech na východním okraji střebočeského plutonického komplexu. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 20, 1, 52-58.* ISSN 1211-0329.

Abstract

The peraluminous granites form small (1 - 2 m thick) dykes located in the Sedlec granodiorites near the contact with durbachites of type „Čertovo břemeno“ on the eastern margin of the Central Bohemian Plutonic Complex. Two distinct textural types have been distinguished: nodular tourmaline granite and orbicular cordierite granite.

Nodular tourmaline granite contains nodules, up to 6 cm in diameter. Central part of nodules consists of tourmaline, quartz, variable but subordinate amounts of plagioclase, K-feldspar, and fluorapatite. Tourmaline ($X_{\text{Fe}} = 0.68 - 0.99$, Al = 6.19 - 6.88 *apfu*) is typically interstitial between grains of quartz and feldspars and commonly replaces plagioclase. A leucocratic halo surrounding each nodule is similar in both mineralogy and texture to the adjacent granite except of absence of biotite and tourmaline.

Orbicular cordierite granite consists of ellipsoid-shaped orbicules of 4 to 7 cm in length dispersed in a granitic to pegmatitic matrix. The orbicules are formed by cordierite megacryst in the core ($X_{\text{Fe}} = 0.32 - 0.34$, Al = 4.01 - 4.07 *apfu*). Inner rim consists of radial plagioclase crystals (An_{20-28}). Cordierite is partially to totally replaced by tourmaline and/or micas (muscovite, biotite). Tourmaline ($X_{\text{Fe}} = 0.30 - 0.48$, Al = 6.16 - 6.58 *apfu*) is also concentrated in the pegmatite pockets and/or forms small veins mainly in plagioclase at the rims of orbicules.

Tourmaline in the both granite types was formed during the transitional stage from late magmatic to hydrothermal (early solidus) crystallization. Tourmaline nodular granite contains Al-rich schorl with a general progression in late tourmaline generations towards more Fe-rich and Na-deficient compositions and dominant foitite substitution ($\text{Al}_{\square}\text{Na}_{-1}(\text{Fe},\text{Mg})_{-1}$). Chemical composition of tourmaline from the orbicular cordierite granite changes during crystallization from Al-rich dravite towards more Na, Ca, Ti-rich dravite. These changes correspond to the exchange vectors Mg Fe_{-1} and $\text{NaMg Al}_{-1}\square_{-1}$.

Key words: *tourmaline, granite, plagioclase-cordierite orbicules, tourmaline nodules, Central Bohemian Plutonic Complex, Czech Republic*

Úvod

Podél východního okraje střebočeského plutonického komplexu se hojně vyskytují žíly peraluminických granitů s turmalínem nebo cordieritem (Ulrych 1972). V mnohých z těchto žil se turmalín shlukuje do až několik cm velkých akumulací obklopených leukokratickým lemem, které označujeme jako nodule (Buriánek 2003). Žíly nodulárních turmalinických granitů běžně nacházíme také v širším okolí obce Sedlec-Prčice, jv. od Sedlčan. Naproti tomu nálezy orbikulárního cordieritického granitu je poměrně výjimečnou událostí i v kontextu celého Českého masivu. Vyvěřelé horniny s orbikulární texturou jsou typické pro oblast baltického štítu (např. Finsko) a na území České republiky se vyskytují jen vzácně (Berg 1937; Vodička 1961; Rajlich et al. 1985). Mezi nejznámější patří orbikulární biotitické křemenné diority z lokality Muckov u Černé v Pošumaví (Rajlich et al. 1985; Cílek et al. 1986). V tomto případě jde o malý výskyt, který je prostorově svázán se světlicovou ortorulou (Patočka et al. 2003). Jedná se tedy pravděpodobně o relikty proterozoických plutonických hornin, které vznikaly za podobných podmínek a ve zhruba stejném čase jako orbikulární horniny staroproterozoického sveko-karelského krystalinika ve Finsku. Naproti tomu popisované cordieritické orbikulární granity u obce Sed-

lec-Prčice jsou prostorově svázány s variskými plutonity. Velmi pravděpodobně tedy mají odlišnou genezi a vývoj v porovnání s orbikulárními diority u Muckova. Studované orbikulární granity prošly poměrně složitým vývojem, v jehož závěru v nich vznikala turmalín. Právě díky tomuto minerálu máme představu o procesech v závěrečné fázi magmatického vývoje orbikulárního granitu a zároveň můžeme tuto horninu porovnat s nodulárním turmalinickým granitem v jeho blízkosti.

Geologická pozice

V okolí obce Sedlec-Prčice nacházíme dva hlavní typy peraluminických granitů: turmalinické a cordieritické. Oba typy granitů vystupují společně na polích západně od obce, vpravo od silnice do Kvasejovic. Turmalinické granity dnes nalezneme hlavně v podobě řady bloků a úlomků v remízcích a na okrajích pole. Cordieritické granity se vyskytují v podobě drobných úlomků v ornici. Také zde můžeme nalézt izolované cordierit-plagioklasové orbikule, které se z těchto hornin uvolnily díky jejich značnému stupni zvětrání. Na základě rozložení úlomků na poli a podle morfologie terénu můžeme předpokládat, že oba typy tvoří žíly. Přičemž tyto žíly proráží sedlecký granodiorit (Svoboda et al. 1964) a to nedaleko od jeho

kontakty s durbachity typu „Čertovo břemeno“. Granit obsahující cordierit-plagioklasové orbikule (obr. 1a, b) tvoří pravděpodobně žílu (nebo těleso) o mocnosti kolem 1.5 m a mocnost žil turmalinických granitů dosahuje až 1 - 2 m (odhadnuto na základě velikosti nalezených bloků).

Metodika

Leštěné výbrusy byly studovány metodou zpětně odražených elektronů (BSE) a chemické složení jednotlivých minerálů bylo zjišťováno vlnově-disperzní elektronovou mikroanalýzou ve společné laboratoři elektronové mikroskopie a mikroanalýzy ÚGV Brno a ČGS na Přírodovědecké fakultě MU Brno. Bodové analýzy probíhaly při urychlovacím napětí 15 kV, proudu 10 - 20 nA a průměru elektronového svazku 1 - 5 μm za použití přírodních a syntetických standardů. Detekční limity se pro jednotlivé prvky pohybovaly mezi 100 - 1000 ppm, statistická chyba (1σ) v závislosti na analytických podmínkách mezi 0.02 - 0.4 hm. %. Naměřené hodnoty byly normalizovány PAP korekcí (Pouchou, Pichoir 1985).

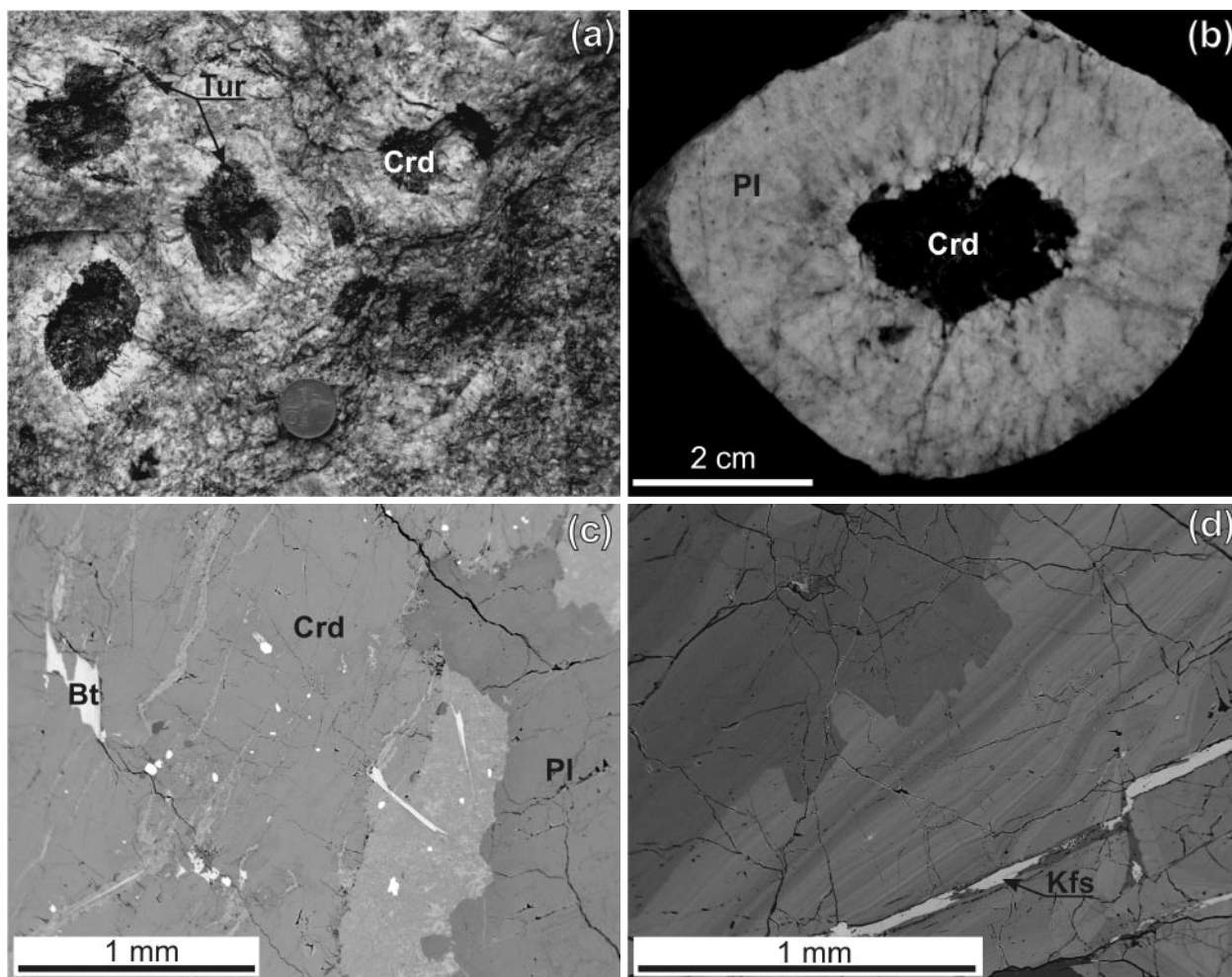
Krystalochemické vzorce živců byly přepočteny na 8 atomů a cordieritu na 18 atomů kyslíku. Krystalochemické vzorce slíd byly vypočteny na bázi $20\text{O} + 4(\text{OH} + \text{F})$ a vzorec turmalínu na 31 aniontů, přičemž ze stechiometrie byly dopočteny bór ($\text{B} = 3$) a voda ($\text{OH} + \text{F} = 4$). Použité zkratky minerálů jsou podle Whitneye a Evanse (2010).

V textu je použita zkratka pro poměry atomů prvků na vzorcovou jednotku v minerálech $X_{\text{Fe}} = \text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$.

Petrografická charakteristika granitů a chemické složení minerálů

Po petrografické stránce je turmalinický granit středně zrnitý, muskovit-biotitický až biotitický s hypautomorfní strukturou. Skládá se z křemene (24 - 26 mod. %), draselného živce (30 - 38 mod. %), kyselého plagioklasu (30 - 35 mod. %), biotitu (3 - 8 mod. %) a muskovitu (2 - 5 mod. %). Plagioklas je bez zonálnosti, nebo má vyvinutou oscilační zonálnost (An_{1-15}) a bývá postižen sericitizací zejména ve středech zrn. Biotit tvoří až 3 mm dlouhé lupínky, které bývají často částečně chloritizovány. Muskovit a chlorit místy vytvářejí ostře ohraničené akumulace, které jsou patrně produktem rozpadu cordieritu.

Turmalín je koncentrován do nodulí nepravidelně rozmístěných v horninových blocích. Turmalínem bohaté nodule mají v naprosté většině případů kruhový, či oválný tvar o průměru od 0.5 do 5 cm. Nepravidelné tvary vznikají srůstem několika nodulí. Nodule bývají lemované leukokratickým lemem (mocnost kolem 1 cm), který se od okolí liší hlavně nepřítomností turmalínu a biotitu. Většinu turmalínů v noduli (tab. 1) můžeme klasifikovat jako hliníkem bohaté skoryly ($X_{\text{Fe}} = 0.68 - 0.99$; $\text{Al} = 6.19 - 6.88 \text{ apfu}$). Pozice X (obr. 2a-f) bývá u většiny turmalínů



Obr. 1 Cordieritický orbikulární granit: (a) cordieritický orbikulární granit obsahující drobné žilky turmalínu a tento minerál také zatlačuje některá zrna cordieritu; (b) cordierit-plagioklasová orbikule; (c) kontakt jádra orbikule tvořený cordieritem a plagioklasem (fotografie v BSE); (d) oscilačně zonální turmalín z cordieritického orbikulárního granitu (fotografie v BSE). Foto D. Buriánek.

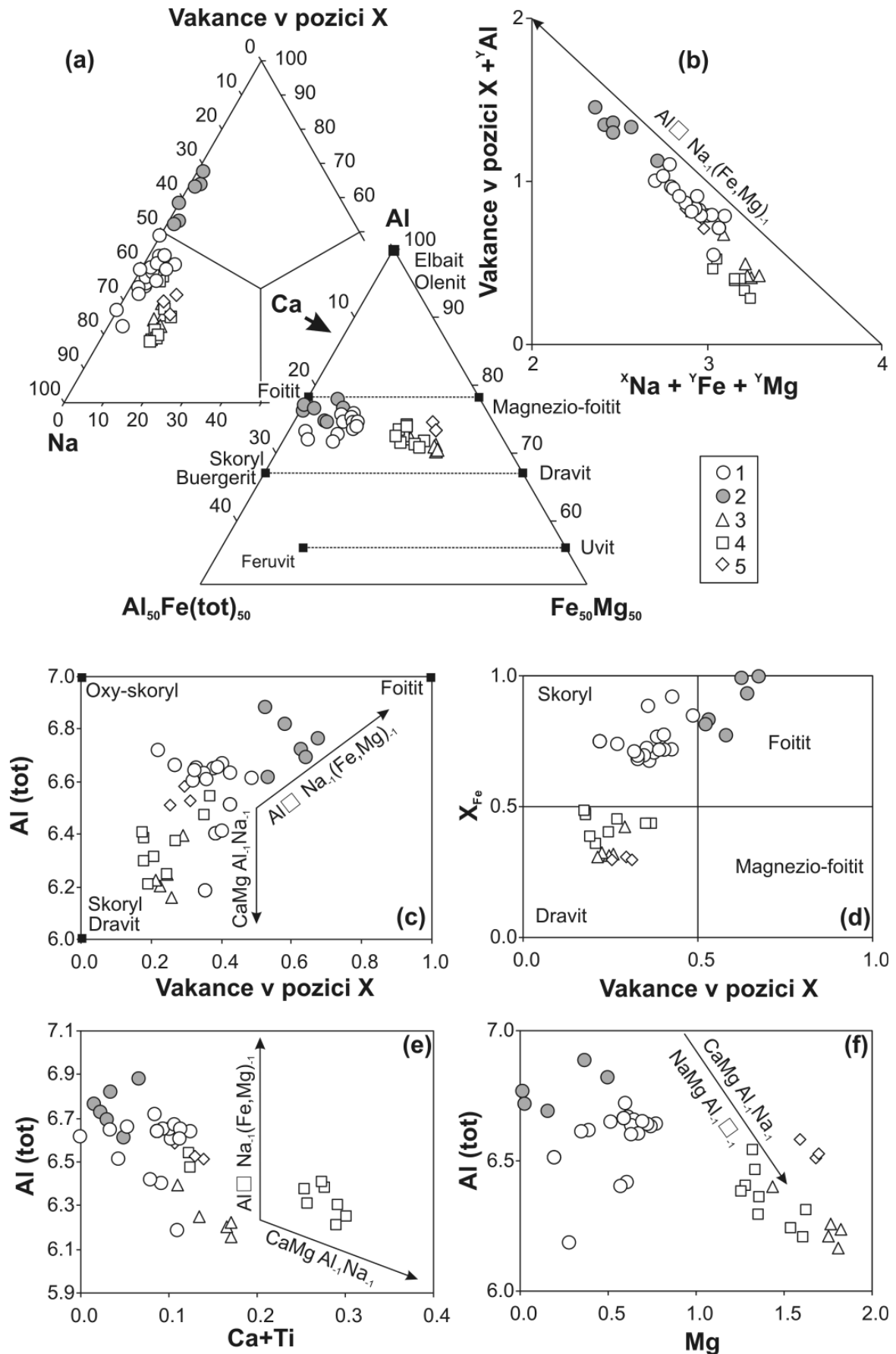
Tabulka 1 Chemické složení turmalínů v peraluminických granitech z okolí obce Sedlec-Prčice (NG = nodulární turmalinický granit, OG = orbikulární cordieritický granit)

Hornina	NG	NG	NG	NG	OG	OG	OG	OG	OG	OG
Vzorek	57/2	57/5	57/8	57/9	T5703	T5703	T5703	T5703z	T5703	T5703
SiO ₂	35.57	35.10	34.98	35.36	37.07	36.34	36.95	36.53	35.84	35.25
TiO ₂	0.02	0.65	0.57	0.54	0.40	0.05	0.28	0.35	1.07	1.22
Al ₂ O ₃	33.71	33.45	33.73	33.79	32.04	32.94	32.21	32.25	32.61	32.27
V ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
FeO	14.75	11.49	11.48	11.33	6.17	7.70	6.11	5.96	6.61	8.66
MgO	0.11	2.69	2.78	2.60	7.41	5.85	7.20	7.50	6.64	5.49
CaO	0.11	0.17	0.15	0.14	0.70	0.59	0.75	0.72	0.72	0.79
MnO	0.47	0.22	0.21	0.15	0.03	0.06	0.07	0.07	0.00	0.07
Na ₂ O	1.06	1.97	1.97	1.79	1.93	1.89	2.01	2.06	2.08	2.07
K ₂ O	0.02	0.05	0.03	0.02	0.04	0.00	0.02	0.02	0.02	0.06
F	0.10	0.37	0.33	0.28	0.33	0.22	0.22	0.30	0.25	0.22
H ₂ O *	3.50	3.40	3.43	3.46	3.52	3.54	3.57	3.52	3.53	3.52
B ₂ O ₃ *	10.27	10.37	10.39	10.40	10.66	10.55	10.64	10.61	10.59	10.49
O=F	0.04	0.16	0.14	0.12	0.14	0.09	0.09	0.13	0.11	0.09
Total	99.65	99.77	99.91	99.74	100.18	99.67	99.99	99.79	99.92	100.21
<i>(apfu)</i>										
pozice T+Z+Y										
Si ⁴⁺	6.017	5.881	5.852	5.907	6.044	5.988	6.036	5.981	5.884	5.838
Al ³⁺	6.722	6.604	6.650	6.654	6.157	6.395	6.201	6.223	6.311	6.299
Ti ⁴⁺	0.003	0.082	0.072	0.068	0.049	0.006	0.034	0.043	0.132	0.152
V ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008
Fe ²⁺	2.087	1.610	1.606	1.583	0.841	1.061	0.835	0.817	0.907	1.200
Mg ²⁺	0.027	0.672	0.693	0.648	1.801	1.436	1.754	1.831	1.625	1.356
Mn ²⁺	0.068	0.031	0.029	0.021	0.005	0.008	0.009	0.010	0.000	0.011
pozice X										
Ca ²⁺	0.020	0.030	0.026	0.025	0.122	0.104	0.131	0.127	0.126	0.140
Na ⁺	0.349	0.640	0.639	0.581	0.612	0.603	0.637	0.656	0.661	0.664
K ⁺	0.004	0.011	0.006	0.004	0.009	0.000	0.004	0.004	0.004	0.012
vak	0.627	0.319	0.328	0.390	0.257	0.290	0.228	0.214	0.208	0.183
OH	3.947	3.802	3.823	3.854	3.832	3.888	3.885	3.843	3.868	3.886
F ⁻	0.053	0.198	0.177	0.146	0.168	0.112	0.115	0.157	0.132	0.114
B ³⁺	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

více než z poloviny zaplněna Na (0.51 - 0.74 *apfu*). Tyto převažující turmalíny však místy lemují mladší turmalíny s vyšším obsahem foititové komponenty (Na = 0.46 - 0.31 *apfu*). Obsahy F jsou v obou typech nízké (do 0.2 *apfu*). Z akcesorických minerálů jsou přítomny: ilmenit bohatý pyrofanitovou komponentou (MnTiO₃ = 54 - 48 mol. %), zirkon, apatit a monazit.

Cordieritický granit (monzogranit) je středně zrnitý, muskovit-biotitický. Granit obklopující orbikule má typickou granitickou stavbu a lokálně obsahuje až 2 cm velké automorfní vyrostlice cordieritu. Skládá se hlavně z xenomorfního draselného živce (Ab₈₋₁₂) a křemene, automorfního až hypautomorfního plagioklasu s pozitivní zonálností (An₁₂₋₂₄). Draselné živce tvoří někdy větší poikilitické vyrostlice, které uzavírají hojné, automorfní krystalky plagioklasu. Draselný živec a plagioklas mají v celém objemu horniny podobné zastoupení, avšak díky nehomogenní stavbě horniny (orbikule, hnízda pegmatitu) je těžké to jednoznačně určit. Vzhledem k přítomnosti živcových lemů kolem cordieritu je zřejmé, že ve studovaných vzorcích dominují živce nad křemenem a

proto je monzogranit pravděpodobně přesnější název pro tuto horninu. Biotit svým chemickým složením odpovídá flogopitu (X_{Fe} = 0.46 - 0.48; ¹⁴Al = 2.56 - 2.62 *apfu*) tvoří tlusté lupínky, které bývají výrazně postiženy chloritizací. Také automorfní krystaly cordieritu bývají většinou zcela nahrazeny sekundárními minerály. Většina cordieritu je uzavřena uvnitř cordierit-plagioklasových orbikulí (obr. 1a). Na nalezených vzorcích obvykle převažují orbikule nad granitickou základní hmotou (orbikule tvoří 45 - 85 obj. % horniny). Mají oválný (obr. 1b), nebo kulovitý tvar o průměru 4 až 8 cm a jejich jádro tvoří automorfní krystal či agregát krystalů cordieritů (X_{Fe} = 0.32 - 0.34; Al = 3.93 - 3.98 *apfu*) o velikosti 2 - 4 cm. V cordieritu jsou poměrně hojné inkluze apatitu. Jádro je lemováno drobně až středně zrnitým oligoklasem (An₂₀₋₂₈), který někdy srůstá s xenomorfním křemenem. Bazicitá zrn plagioklasů směrem k okraji orbikule mírně narůstá. Kontakt s cordieritem tvoří izometrická zrna (obr. 1c), která se směrem k okraji orbikule mění na lištovité krystaly dlouhé až několik mm (orientované víceméně kolmo ke středu orbikule). Tento lem dosahuje mocnosti 2 - 3 cm a makroskopicky je v



Obr. 2 Chemické složení turmalínu z nodulárního turmalinického granitu (1 - starší jádra, 2 - mladší okraje) a z orbikulárního cordieritického granitu (3 - okraje větších zrn v granitu, 4 - zrna v granitu, 5 - drobná zrna v cordieritu): (a) trojúhelníkové diagramy Ca-Na-vakance v pozici X a $Mg_{50}-Fe_{50}-Al$, (b) vakance v pozici X + yAl vs. $xNa + yFe + yMg$, (c) vakance v pozici X vs. Al, (d) vakance v pozici X vs. X_{Fe} , (e) Ca+Ti vs. Al, (f) Mg vs. Al.

něm patrná koncentrická zonálnost (jednotlivé zóny mají mocnost kolem 1 - 8 mm). Někdy je zvýrazněna úzkou zónou tvořenou hojnými inkluzemi biotitu. Lupínky biotitu jsou většinou bez výrazné přednostní orientace, jen místy převažují lupínky orientované paralelně se zonálností. Povrch mnoha orbikulí není dokonale oválný či elipsovitý, protože jsou na něm stále slabě patrné krystalové tvary cordieritu v jejich centru. V některých případech jsou také tvary orbikulí mírně změněny v důsledku deformace. Na povrchu orbikulí je místy dokonce patrné rýhování, které patrně vzniklo v důsledku deformace. Cordierit je často zcela nahrazen sekundárními minerály (směsí muskovitu, biotitu a chloritu) a někdy jsou tyto sekundární slídy zcela, nebo částečně nahrazeny jehlicovitými agregáty turmalínu. Turmalín také tvoří drobné žilky, které vyplňují trhliny v živcovém lemu orbikule (obr. 1a). V granitické základní hmotě obklopující orbikule můžeme občas pozorovat hrubnutí zrna a přechod do pegmatitů. Mnohé z těchto pegmatitů obsahují v centrální části krystaly turmalínu srůstající s křemenem. Chemické složení turmalínu (obr. 2a-f) v granitu a chemické složení turmalínu zatlačujícího cordierit se příliš neliší a odpovídá dravitu ($X_{Fe} = 0.30 - 0.48$, Al = 6.21 - 6.58 *apfu*). Obsahy F jsou ve srovnání s nodulárními turmalinickými granity poněkud vyšší (0.07 - 0.17 *apfu*). Turmalín je ve střední části větších zrn chemicky poměrně homogenní a na okrajích vykazuje oscilační zonálnost (obr. 1d). Okraje větších zrn lemuje mladší turmalín namodralé barvy ($X_{Fe} = 0.31 - 0.42$, Al = 6.16 - 6.40 *apfu*) a podobný turmalín také tvoří drobné žilky (někdy společně s draselným živcem (obr. 1d) a křemenem), které prorážejí starší turmalínová zrna. Jako akcesorické minerály se v granitu vyskytují apatit, zirkon a monazit.

Diskuse

Oba studované typy granitů jsou peraluminické a mají podobné minerální složení, avšak liší se stavbou a chemickým složením minerálů. Turmalinický granit obsahuje jen malé množství tmavých minerálů. Možná původně obsahoval cordierit, avšak ten je dnes nahrazen slídami. Cordieritický granit je ve srovnání s turmalinickým granitem bohatší na tmavé minerály a obsahuje plagioklasy s vyšší bazicitou. V obou typech však najdeme hojný turmalín, jehož chemické složení můžeme vzájemně porovnat (obr. 2, tab. 1).

Vznik turmalinických nodulí

Turmalinické nodule se poměrně často vyskytují v praluminických granitech a jejich vznik bývá spojován se závěrečnými fázemi jejich vzniku. Bývají považovány za produkt krystalizace postmagmatických hydrotermálních fluid (např. Sinclair, Richardson 1992) nebo za produkt krystalizace bórem bohaté taveniny či směsi taveniny a fluidní fáze (např. Perugini, Poli 2007; Balen, Broska 2011). Turmalín v nodulích začal krystalizovat na hranicích zrn biotitu, plagioklasu nebo uvnitř draselného živce podél perthitů. Během svého růstu tyto minerály zatlačoval (Buriánek, Novák 2007). Nebyly zjištěny výrazné rozdíly mezi chemickým složením turmalínů, které částečně nahrazovaly biotity nebo živce. Nodule často obsahují hypautomorfne omezený turmalín s oscilační zonálností, který obrůstá xenomorfní turmalín bez zřetelné zonálnosti. Turmalín nejmladší generace často vyplňuje trhliny ve starších zrnech nebo je obrůstá. Tento foititový turmalín má vyšší X_{Fe} a komplikovanou nepravidelnou zonálnost. Někdy se společně s turmalínem objevuje také mladý

muskovit a apatit. Živce uvnitř nodule a v leukokratním lemu bývají téměř vždy postiženy intenzivnější sericitizací než živce v okolním granitu.

Chemické složení turmalinických nodulí bylo studováno na řadě lokalit v moldanubiku (Buriánek 2003). Chemické složení nodule se výrazně liší od okolní horniny i od leukokratního lemu. Oproti okolnímu granitu mají nodule nižší obsahy K, Na, Rb, Ba, Cs a naopak mají vždy vyšší Fe, Mg, Mn, Co, Ga, B, F. Leukokratní lemy jsou očištěny o Fe, Mg, Ti, Mn a naopak mají často vyšší obsahy K, Na, P, Ca, Sr (Buriánek 2003).

Turmalíny jsou produktem reakce živců a tmavých minerálů s bórem bohatými fluidy v podmínkách na hranici subsolidu a solidu granitické taveniny. Turmalín patrně krystalizoval v důsledku reakce $Kfs + Pl + Bt + B$ fluida = $Tu + Qtz + Ms$ (Buriánek 2003).

Vznik cordieritických orbikulí

Chemické složení krystalů cordieritu uvnitř orbikulí je poměrně homogenní. Poměr X_{Fe} (tab. 2) je poněkud nižší než v typických migmatitech moldanubika ($X_{Fe} = 0.32 - 0.34$ vs. $0.40 - 0.46$ v migmatitech z lomu Vanov, tab. 2). Podobně je tomu i v případě biotitu X_{Fe} (v orbikulích dosahuje hodnot $0.46 - 0.48$ a v migmatitech $0.61 - 0.62$). Minerály v orbikulárním granitu se svým chemickým složením tedy poněkud liší od stejných minerálů v migmatitech moldanubika. Cordierity totiž pravděpodobně reprezentují zbytky restitu po tavení peraluminických granitů a proto mají nižší X_{Fe} než cordierity z migmatitu kde nedošlo k oddělení granitické taveniny od restitu. Detailnější informace však poskytne teprve další výzkum. Jádro orbikule (dominuje cordierit s inkluzemi biotitu a apatitu)

Tabulka 2 Chemické složení cordieritu v orbikulárním granitu z okolí obce Sedlec-Prčice a migmatitu z lomu Vanov

Hornina	OG			migmatit	
	T5705	T5705	T5705	Vanov	Vanov
Vzorek	T5705	T5705	T5705	Vanov	Vanov
SiO ₂	48.97	48.98	49.37	47.98	48.75
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	32.81	33.03	32.64	32.67	32.73
FeO	7.67	7.30	7.43	10.34	9.44
MnO	0.49	0.47	0.43	0.28	0.21
MgO	8.54	8.58	8.29	6.89	8.01
CaO	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00
Na ₂ O	0.47	0.61	0.75	0.33	0.42
K ₂ O	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00
Total	98.97	98.97	98.94	98.53	99.54
<i>(apfu)</i>					
Si ⁴⁺	5.009	5.003	5.046	4.985	4.992
Ti ⁴⁺	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Al ³⁺	3.955	3.975	3.931	4.001	3.950
Fe ²⁺	0.656	0.623	0.635	0.899	0.808
Mn ²⁺	0.043	0.040	0.037	0.024	0.018
Mg ²⁺	1.302	1.306	1.262	1.067	1.223
Ca ²⁺	0.001	0.001	0.001	0.003	0.000
Na ⁺	0.094	0.120	0.149	0.066	0.082
K ⁺	0.000	0.001	0.004	0.001	0.000
kat. celk.	11.060	11.070	11.065	11.048	11.074
X_{Fe}	0.335	0.323	0.335	0.457	0.398

je oproti granitu obohaceno o FeO, MgO, MnO, Al₂O₃ a naopak ochuzeno o Na₂O, CaO, SiO₂ (zjištěno na základě několika plošných analýz granitu a cordieritu v jádře orbikule pomocí elektronové mikrosondy).

Přesný mechanismus vzniku těchto orbikulí prozatím nebyl podrobně studován. Na základě analogií z jiných částí světa předpokládáme, že cordieritické orbikule dokumentují poměrně rychlý výstup peraluminické taveniny k povrchu (Vernon 1985; Rapela et al. 2002). Díky prudké dekompresi mohlo dojít k saturaci taveniny fluidy a tím k drastickému snížení počtu nukleí v tavenině. Proto nemohly začít krystalizovat nové minerály (především živce). V tavenině však zůstaly zachovány vyrostlice cordieritu, které představují restitické xenokrysty nebo krystaly vzniklé během ranných stádií výstupu taveniny k povrchu. Právě tato zrna posloužila jako centra pro růst plagioklasových krystalů. Plagioklas tedy z počátku rostly jen kolem těchto vyrostlic a vytvořily tak několik cm mocný téměř monominerální lem. Teprve později začal z taveniny krystalizovat granit a nakonec ze zbytkové taveniny vznikla hnízda pegmatitu. Fluidní fáze bohatá bórem tedy pravděpodobně určitou dobu koexistovala s taveninou (vznik pegmatitů). V závěrečných fázích magmatické krystalizace se však těkavé složky jako B a F uvolnily do hydrotermálních roztoků. Tato postmagmatická fluida pak reagovala s již vykrystalovanými minerály (zejména s cordieritem, který se díky tomu změnil na směs slíd nebo turmalín). V pozdějších fázích této alterace došlo k chloritizaci biotitu a sericitizaci živců i když část těchto přeměn mohla způsobit externí hydrotermální fluida.

Chemické složení turmalínu

Turmalín v nodulárním turmalinickém granitu má chemické složení hliníkem bohatého skorylu až foititu. V turmalínu současně s růstem vakancí v pozici X roste Al, X_{Fe} a klesá Na, Mg. Tento trend je důsledkem foititové substituce Al□Na₁(Fe,Mg)₁ (obr. 2b-d). Korelace mezi Al a Na není vždy ideální, protože některé zóny v turmalínu obsahují vyšší obsahy Ca a Ti (obr. 2e).

Turmalín v orbikulárních cordieritických granitech svým chemickým složením odpovídá dravitu. Oscilační zonálnost je dána kolísáním v obsazích Fe. Zejména na okrajích zrn je chemické složení turmalínu ovlivněno dravitovou (Fe Mg₁) a magnesio-foititovou (Al□Na₁Mg₁) substitucí (obr. 2f). Uvitová substituce (Ca(Fe,Mg)Al₁Na₁) má minoritní význam, protože nebyla pozorována významnější korelace mezi Ca a Na. Poměrně zřetelná je však korelace mezi Ca a Ti, která se projevuje zejména u turmalínů přímo zatlačujících cordierit.

Turmalín v obou typech granitů začal růst v závěrečných fázích magmatické krystalizace a jeho převážná část vznikla až po jejím skončení.

V případě nodulárních turmalinických granitů se bórem bohatá fluida patrně koncentrovala v nodulích, kolem nichž vznikl leukokratní lem v důsledku vymizení tmavých minerálů, které byly spotřebovány při krystalizaci turmalínu. V závěrečných fázích krystalizace tohoto turmalínu nebylo již v okolí dostatek Mg a Fe a proto jsou mladší foititové turmalíny o tyto prvky ochuzeny.

V cordieritickém granitu má většina minerálů poměrně vysoké obsahy Mg a Fe. Proto mají i mladé turmalíny, které tvoří žilky a lemy, podobné složení jako starší jádra turmalínových zrn. Směrem k okrajům dokonce poměr X_{Fe} klesá, což je opačný trend než můžeme pozorovat u foititových lemů v nodulárních turmalinických granitech. Tento růst obsahu dravitové komponenty může souviset se snižováním teploty hydrotermálních roztoků, nebo se zvýšením obsahu Mg ve zbytkových hydrotermálních roztocích v důsledku sekundárních alterací cordieritu.

Závěr

Žilky peraluminických granitů v okolí obce Sedlec-Prčice jsou produktem tavení metapelitů. Přes svou podobnou genezi se liší mineralogií a stavbou. Oba typy však spojuje přítomnost turmalínu, který vznikl v závěrečných fázích jejich vývoje.

Turmalinické nodulární granity obsahují kulovité a oválné nodule, které ve svém středu mají xenomorfní až hypautomorfní turmalín společně s křemenem, plagioklasem a draselným živcem. Turmalín z velké části vznikl zatlačováním již vykrystalovaných horninotvorných minerálů. Turmalínem bohatý střed je lemován leukokratním lemem, který má stejnou strukturu jako okolní hornina, avšak neobsahuje tmavé minerály.

Orbikulární turmalinické granity obsahují velké automorfní vyrostlice cordieritu, které jsou často lemovány téměř monominerálním lemem tvořeným oligoklasem. Tyto orbikule obklopuje muskovit-biotitický granit (monzogranit). Orbikule začala vznikat kolem krystalů cordieritu z taveniny nasycené fluidní fází. Během krystalizace taveniny se ve zbytkové tavenině koncentrovaly těkavé komponenty (zejména H₂O, B a F) a díky tomu v závěrečných fázích magmatické krystalizace vznikala v granitu drobná hnízda pegmatitů s turmalínem. Po skončení magmatické krystalizace přešel zbytek bóru do hydrotermálních fluid, která způsobila výraznou přeměnu tmavých minerálů (zejména cordieritu). Díky tomu se v hornině objevují pseudomorfozy turmalínu po cordieritu a drobné turmalínové žilky.

Oba studované typy granitů obsahují turmalíny, které začaly krystalizovat v závěrečných fázích magmatické krystalizace a jejich růst pokračoval i v podmínkách solidu. Chemické složení turmalínů v obou typech granitů je však odlišné. Tyto rozdíly můžeme vysvětlit odlišným chemickým složením obou granitových systémů. V nodulárních turmalinických granitech je chemické složení turmalínu řízeno hlavně foititovou substitucí Al□Na₁(Fe,Mg)₁. V orbikulárním granitu je chemické složení řízeno dravitovou (Fe Mg₁) a magnesio-foititovou substitucí (Al□Na₁Mg₁). Zvýšené obsahy Ca v některých zónách korelují s vyšším obsahem Ti.

Poděkování

Autor děkuje P. Bačíkovi a P. Gadasovi za kritické proctění rukopisu. Práce byla vypracována s finanční podporou projektu ČGS 390008.

Literatura

- Balen D., Broska I. (2011) Tourmaline nodules: products of devolatilization within the final evolutionary stage of granitic melt? *Geol. Soc., London, Spec. Pub.* 350 (1), 53-68.
- Berg G. (1937) Kugelgranite in Riesengebirge. *Abh. Kön. Preuß. Geol. Landesanst. N. F. H.* 94. Berlin.
- Buriánek D. (2003) Turmalinické granity moldanubika a saxothuringika - příklad využití turmalínu jako petrogenetického indikátoru. *Disertační práce, PřF MU, Brno.*
- Buriánek D., Novák M. (2007) Compositional evolution and substitutions in disseminated and nodular tourmaline from leucocratic granites: Examples from the Bohemian Massif, Czech Republic. *Lithos* 95 (1-2), 148-164.
- Cílek V., Synek J., Rajlich P. (1986) Orbikulární horniny z Muckova v Pošumaví. *Sbor. Jihočes. Muz. v Čes. Budějovicích, Přír. Vědy* 26, 101-106.
- Patočka F., Kachlík V., Dostál J., Frána J. (2003) Granitoid gneisses with relict orbicular metagranitoids from the southern Bohemian massif Moldanubicum: Protolith derived from melting of Archaean crust? *J. Czech Geol. Soc.* 48, 100-101.
- Perugini D., Poli G. (2007) Tourmaline nodules from Capo Bianco aplite (Elba Island, Italy): an example of diffusion limited aggregation growth in a magmatic system. *Contrib Mineral. Petrol.* 153 (5), 493-508.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" (ρ - ρ -Z) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis* (Armstrong, J. T. Ed.). San Francisco Press, 104-106.
- Rajlich P., Synek J., Cílek V. (1985) Orbikulární granodiorit z Muckova (u Černé v Pošumaví). *Bull. Czech Geol. Survey* 60, 287-289.
- Rapela C. W., Baldo E. G., Pankhurst R. J., Saavedra J. (2002) Cordierite and Leucogranite Formation during Emplacement of Highly Peraluminous Magma: the El Pilon Granite Complex (Sierras Pampeanas, Argentina). *J. Petrol.* 43, 1003-1028.
- Sinclair, W. D., Richardson, J. M. (1992) Quartz-tourmaline orbicules in the Seagull Batholith, Yukon Territory. *Can. Mineral.* 30 (3), 923-935.
- Svoboda J., Beneš K., Dudek A., Holubec J., Chaloupský J., Kodym O., Malkovský M., Odehnal L., Polák A., Poucha Z., Sattran V., Škvor V., Weiss J. (1964) Regionální geologie ČSSR. Díl I Český masiv, Sv. 1 Krystalinikum. 1-377, *Ústřední ústav geologický v nakl. ČSAV, Praha.*
- Ulrych J. (1972) Leukokratické granitoidy ze styku stře-dočeského plutonu s moldanubikem. *Čas. Mineral. Geol.* 17, 71-84.
- Vernon R. H. (1985) Possible role of superheated magma in the formation of orbicular granitoids. *Geology* 13, 843-845.
- Vodička J. (1961) Výskyt kulového gabrodioritu v nasavrcském plutonu. *Čas. Mineral. Geol.* 6 (2), 211.
- Whitney D. L., Evans B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *Am. Mineral.* 95 (1), 185-187.