ISSN 1211-8796

Acta Mus. Moraviae, Sci. geol.
CIV (2019): 2, 169–178, 2019

VÝVOJ CHEMICKÉHO SLOŽENÍ TURMALÍNU Z PERALUMINICKÉ ORTORULY Z LOKALITY OLEŠENKA V SEVEROVÝCHODNÍ ČÁSTI MOLDANUBIKA

EVOLUTION OF CHEMICAL COMPOSITION OF TOURMALINE FROM THE PERALUMINOUS ORTHOGNEISSES FROM OLEŠENKA, NE MOLDANUBIAN UNIT

DAVID BURIÁNEK, STANISLAV HOUZAR, LENKA BUŘIVALOVÁ

Abstract

Buriánek, D., Houzar, S., Buřivalová, L., 2019: Vývoj chemického složení turmalínu z peraluminické ortoruly z lokality Olešenka v severovýchodní části moldanubika. – Acta Mus. Moraviae, Sci. Geol., 104, 2, 169–178 (with English summary).

Evolution of chemical composition of tourmaline from the peraluminous orthogneisses from Olešenka, NE Moldanubian unit

Medium-grained porphyroclastic, garnet-biotite to biotite-muscovite orthogneiss with tourmaline from Olešenka consist of quartz, K-feldspar (P up to 0.02 *apfu* and Na up to 0.14 *apfu*), plagioclase (An_{7-9}) and small amount mafic minerals. Biotite (Al 3.52–3.76 *apfu*, Fe/(Fe+Mg) 0.72–0.74) predominates over muscovite. Porphyroblasts of garnet (Alm_{75-80} Sps_{12-19} Prp_{5-6} Adr_{1-3}), subhedral tourmaline and aggregates of fibrous sillimanite are locally present. Formation of central part of tourmaline grains type I; ((Fe/(Fe+Mg) = 0.55–0.64; Na = 0.68–0.85 *apfu*) can be explained as the product of pre-Variscan crystallization of granitic melt with low degree of geochemical fractionation. Tourmaline type II ((Fe/(Fe+Mg) = 0.43–0.45; Na = 0.68–0.82 *apfu*) and type III ((Fe/(Fe+Mg) = 0.52–0.55; Na = 0.61–0.65 *apfu*) are associated with formation of sillimanite, Mn- and Ca-rich garnet rims in orthogneiss indicate Variscan metamorphic overprint (747 ± 45 °C and 0.69 ± 0.18 GPa).

Key words: tourmaline, composition, orthogneiss, metamorphic overprint, Moldanubian Zone, Bohemian Massif.

David Buriánek, Czech Geological Survey, Klárov 3, 118 21 Prague 1, Czech Republic, e-mail: david.burianek@geology.cz

Stanislav Houzar, Department of Mineralogy and Petrography, Moravian Museum, Zelný trh 6, 674 01 Brno, Czech Republic.

Lenka Buřivalová, Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic.

ÚVOD

Prevariské moldanubické ortoruly zahrnují několik typů, které se odlišují jak stářím, tak i genezí. Bývají v některých případech doprovázeny specifickými mineralizacemi bohatými B, P, Li a Sn (např. Povondra *et al.* 1998, Klečka *et al.* 1992), lokálně s wolframitovým zrudněním a jejich minerální asociace jsou v současnosti studovány (Losertová 2015). Jedním ze záměrů tohoto výzkumu je snaha odlišit primární asociace protolitu (převážně peraluminických granitů) od produktů následné regionální metamorfózy. K vhodným objektům tohoto výzkumu patří minerály superskupiny turmalínu.

Turmalíny se vyskytují v celé řadě metamorfovaných a vyvřelých hornin (HENRY a GUIDOTTI 1985). Poměrně komplikované chemické složení těchto minerálů umožňuje celou řadu substitucí, a proto jsou běžné turmalíny vykazující komplikovanou chemickou i optickou zonálnost. Změny chemického složení turmalínu bývají odrazem P-T-X změn během magmatického a metamorfního vývoje okolní horniny (např. BURIÁNEK 2004; BURIÁNEK a NOVÁK 2007). Mechanizmy, které změnu chemického složení vyvolávají, jsou však stále poměrně málo prozkoumané. Kvalitní záznam o metamorfních procesech mohou poskytnout složité zonálních stavby pozorované v turmalínech z metamorfovaných hornin, jako jsou například ortoruly (např. SPRÁNITZ *et al.* 2018).

Tato studie se zabývá chemickým složením porfyroblastů turmalínu z drobného tělesa ortoruly z Olešenky v moldanubiku. Chemické složení tohoto turmalínu se liší od prozatím publikovaných dat z jiných těles ortorul v moldanubiku. Na základě výpočtu P-T podmínek a studia chemického složení minerálních fází se pokoušíme interpretovat hlavní fáze růstu během pre-variského magmatického a variského metamorfního vývoje.

METODIKA

Chemická analýza horniny byla provedena v laboratořích Acme Analytic Laboratories Ltd., Vancouver, Kanada. Obsahy oxidů hlavních prvků byly stanoveny metodou ICP-ES, stopové prvky byly stanoveny metodou ICP-MS.

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 koncentraci konkrétního prvku mezi 0,02–0,40 hm. %. Naměřené hodnoty byly normalizovány PAP korekcí (POUCHOU a PICHOIR 1985).

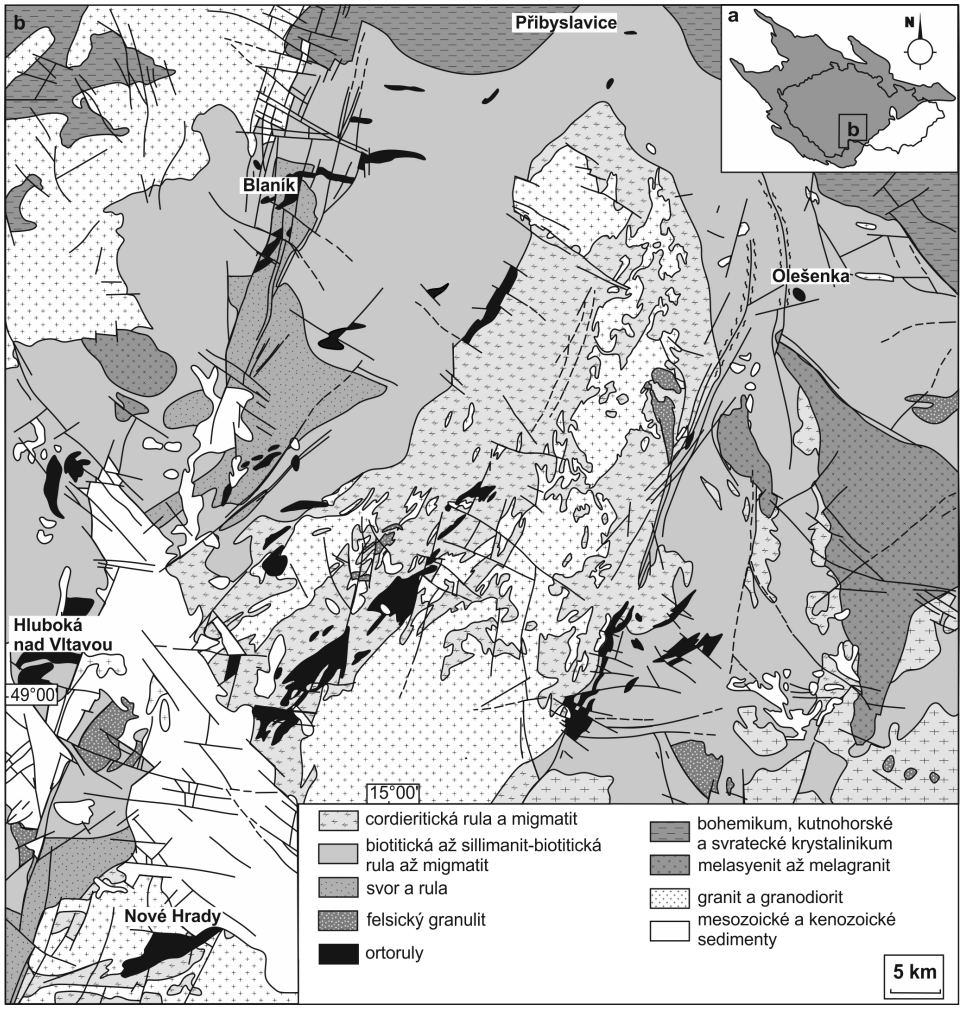
Krystalochemické vzorce živců byly přepočteny na 8 atomů kyslíku. Vzorce granátu byly přepočteny na 12 O, Fe^{2+} a Fe^{3+} bylo rozpočteno na základě stechiometrie (Si+B-pozice = 5). Krystalochemické vzorce slíd byly vypočteny na 20 O + 4 (OH + F) a vzorec turmalínu na 31 aniontů přičemž ze stechiometrie byly dopočteny bór (B = 3) a voda (OH+F = 4). Použitý způsob rozpočtu turmalínu nepočítá s možným vstupem O do pozice s (OH) a (F), hodnota (OH) bude proto ve skutečnosti o něco nižší. Označení #Fe odpovídá poměru Fe/(Fe+Mg).

GEOLOGIE

Studované těleso ortoruly náleží z hlediska regionální geologie k moldanubiku, které je dnes členěno na tři základní jednotky: jednotvárnou, pestrou a gföhlskou (např. SCHULMANN *et al.* 2009). Zmíněné jednotky se od sebe liší litologií a/nebo metamorfním vývojem. Ve všech třech zmíněných jednotkách vystupují pre-variské ortoruly. Nejstarší z nich jsou interpretovány jako paleoproterozoické nebo mesoproterozoické alochtonní segmenty (doberská ortorula, c. 1.38 Ga, FRIEDL *et al.* 2004; nebo světlická ortorula, 2.1 Ga, WENDT *et al.* 1993). Většina ortorul je však neoproterozoického (~555–549 Ma, TEIPEL *et al.* 2004) až kambrického stáří (např. gföhlská ortorula, 580–590 Ma, FRIEDL *et al.* 2004 a KOŠLER *et al.* 2014; nebo ortorula u Hluboké nad Vltavou, 606 ± 8 Ma, VRÁNA a KRÖNER 1995).

Těleso ortoruly u obce Olešenka (obr. 1) je situováno v pestré jednotce moldanubika. Pro tuto jednotku je charakteristický výskyt drobných těles pestrých hornin jako jsou kvarcity, vápenatosilikátové horniny a amfibolity. Tato tělesa jsou obklopena několika texturními typy migmatitů (dominují stromatity a nebulity) a migmatitizovaných rul. Metamorfované horniny jsou pak proráženy muskovitickými a dvojslídnými granity variského stáří (STÁRKOVÁ a SKÁCELOVÁ 1986).

Studované těleso granát-biotitické ortoruly vystupuje jižně od obce Olešenka (směrem k obci Špinov). Severo-jižně protažené těleso je obklopeno biotitickými až sillimanit-biotitickými migmatitizovanými pararulami až migmatity. Metamorfní a deformační vývoj této oblasti souvisel se závěrečnou etapou variských orogenních procesů v období karbonu. Migmatity pestré a jednotvárné skupiny ve východní části moldanubika vykazují vrcholné P-T podmínky 0,6–0,8 GPa a 600–700 °C (Racek *et al.* 2006).

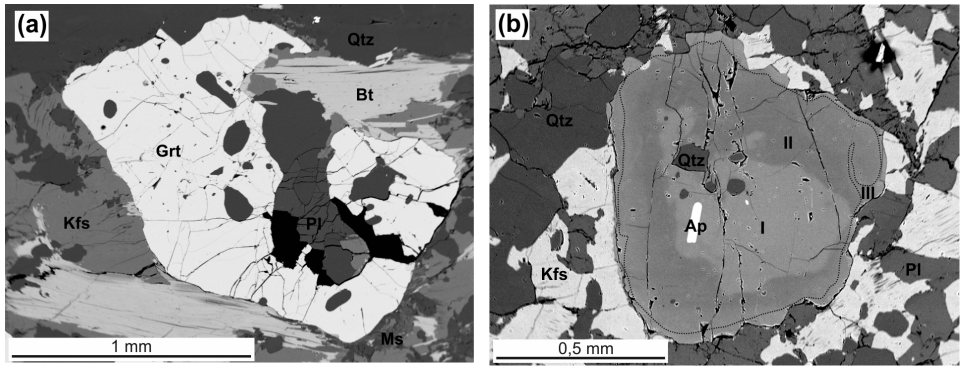


Obr. 1. (a) Rozsah Českého masivu v České republice; (b) geologická mapa moldanubika s pozicí tělesa ortoruly u Olešenky (upraveno podle Chába *et al.* 2007).

Fig. 1. (a) Extent of the Bohemian Massif compared to the Czech Republic; (b) geological map of the Moldanubian Zone with position of the Olešenka orthogneiss body (modifed after Cháb *et al.* 2007).

PETROGRAFIE ORTORULY

Ortorula z lokality Olešenka je středně zrnitá, porfyroklastická, granát-biotitická až muskovit-biotitická s nevýraznou foliací. Hornina je složena přibližně z 32–36 % křemene, 34–39 % draselného živce, 17–18 % plagioklasu a 5–8 % biotitu, 1–3 % muskovitu, 1–2 % granátu a 0–3 % turmalínu (vše uvedeno v mod. %). Ortorula místy obsahuje až 0,4 cm velké porfyroklasty slabě sericitizovaného draselného živce (P až 0,02 *apfu* a Na až 0,14 *apfu*). Porfyroklasty jsou obtékány středně zrnitou základní hmotou tvořenou xenoblasty křemene, draselného živce a polysynteticky zdvojčatěnými hypidioblasty albitu (An_{7-9}). Z tmavých minerálů většinou dominuje biotit (Al 3,52–3,76 *apfu*, #Fe = 0,72–0,74, Ti 0,09–0,33 *apfu* a F 0,42–0,52 *apfu*), který výrazně převažuje nad muskovitem. Drobné porfyroblasty granátu (<6 mm, obr. 2a) vykazují nevýraznou zonálnost (Alm_{75-80} Sps_{12-19} Prp_{5-6} Adr_{1-3}), kde je směrem k okrajům patrný pokles Mg a růst Mn. Lokálně jsou poměrně hojné až 8 mm dlouhé idioblasty až hypidioblasty turmalínu (obr. 2b) které mají komplikovanou chemickou zonálnost. V malém množství se lokálně vyskytují agregáty jehlic sillimanitu, které jsou často zatlačeny muskovitem. Z akcesorických minerálů je přítomen zirkon, fluorapatit a vzácně také monazit-(Ce).



Obr. 2. BSE snímky textur ortoruly z lokality Olešenka (BSE): a) porfyroblast granátu (Grt) obklopený matrix složenou z křemene (Qtz), draselného živce (Kfs), plagioklasu (Pl), biotitu (Bt) a muskovitu (Ms); b) turmalín s inkluzí apatitu (Ap) a křemene obsahuje zóny typu I, II a III.

Fig. 2. BSE images of the Olešenka orthogneiss textures (BSE): a) garnet porphyroblast (Grt) surrounded by a matrix formed by quartz (Qtz), potassium feldspar (Kfs), plagioclase (Pl), biotite (Bt) and muscovite (Ms); (b) tourmaline with inclusions of apatite (Ap) and quartz contains zones of type I, II and III.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ ORTORULY

Studovaná ortorula (tab. 1) odpovídá svým chemickým složením peraluminickému granitu (SiO_2 = 74 hm. %; Na_2O+K_2O = 9,05 hm. %; A/CNK = 1,22). Vyznačuje se vyšším obsahem P_2O_5 (0,38 hm. %), Ba (144 ppm), Sr (34 ppm) a naopak nízkým obsahem Rb (272 ppm), Sn (23 ppm), Nb (10 ppm) a W (3,6 ppm). Poměr FeO/(MgO+FeO) ve studované ortorule (0,82) je poněkud nižší než u geochemicky frakcionovaných ortorul moldanubika (0,85–1,00, Povondra *et al.* 1998; Povondra a Vrána 1996). Poměr K/Rb je u studované ortoruly naopak vysoký (150) ve srovnání s ortorulou z lokality Přibyslavice (104–37, Povondra *et al.* 1998) nebo Hluboká nad Vltavou (85–66, Povondra a Vrána 1996).

Tabulka 1. Reprezentativní horninová analýza ortoruly z lokality Olešenka (oxidy hm. %, ostatní ppm).
Table 1. Representative whole-rock analysis of the orthogneiss from the locality Olešenka (oxides in wt.%; elements in ppm).

	hm. % ; wt.%
SiO_2	74,35
TiO_2	0,1
Al_2O_3	14,23
Fe_2O_3	0,9
MnO	0,03
MgO	0,18
CaO	0,43
Na_2O	3,25
K_2O	5,8
P_2O_5	0,38
LOI	1,1
	ppm
Ba	144
Co	0,7
Cu	1,6
Ni	2,2
Rb	271,6
Sr	33,5
Sn	23
Zn	25
As	1,3
U	4,3
Nb	9,9
Mo	<0,1
Y	10,1
Zr	40,5
Pb	2,2
Cd	0,1
Cs	9,3
Th	1,8
Ta	1,1
Hf	1,6
Sc	6
W	3,6
Ga	20,1

METAMORFNÍ PODMÍNKY REKRYSTALIZACE ORTORULY

Minerální asociace ortoruly umožňuje výpočet podmínek rekrystalizace této horniny během variské metamorfózy. Pro výpočet bylo použito chemické složení drobného zrna granátu (Alm_{77} Sps_{15} Prp_5 Adr_3), které je v kontaktu s biotitem. Z minerální asociace ortoruly (granát, biotit, muskovit, plagioklas, draselný živec a křemen) byly pomocí programu THERMOCALC 3.3. (Holland a Powell 1998) vypočteny teplotně-tlakové podmínky 747 ± 45 °C a 0,69 ± 0,18 GPa.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ TURMALÍNU

Idioblasty až hypidioblasty turmalínu mají poměrně složitou a nepravidelnou zonálnost (tab. 2; obr. 3a–d). V centrální části turmalínu se vyskytují skorylová jádra (typ I; #Fe 0,55–0,64; Na 0,68–0,85 *apfu*) s relativně nízkým obsahem F (0,21–0,23 *apfu*). V tomto

turmalínu jsou vzácně uzavřeny inkluze křemene a apatitu. Skorylová jádra jsou obklopena turmalínem s vysokým obsahem dravitové komponenty (typ II; #Fe 0,43–0,45; Na 0,68–0,82 *apfu*) a s poněkud vyšším obsahem F (0,23–0,28 *apfu*). Okraje turmalínu jsou pak místy lemovány skorylem (typ III; #Fe 0,52–0,55; Na 0,61–0,65 *apfu*), který také tvoří drobné žilky prorážející centrální část zrn (typ I a II). Tento turmalín obsahuje zhruba stejné množství F (0,23–0,29 *apfu*) jako typ II.

Chemické složení studovaného turmalínu se odlišuje od dříve publikovaných složení turmalínů (Povondra *et al.* 1998; Klečka *et al.* 1992; Povondra a Vrána 1996) v podobných ortorulách z moldanubika (Hluboká nad Vltavou, Blaník a Přibyslavice). Tyto turmalíny jsou odlišné od studovaných turmalínů z lokality Olešenka zejména vyšším poměrem #Fe (0,62–0,98; obr. 3a) a často také relativně vysokým obsahem F (≤0,51 *apfu*). Naopak obsahy Na (0,47–0,91 *apfu*) jsou často podobné (obr. 3b–d).

Tabulka 2. Chemické složení turmalínů z lokality Olešenka.
Table 2. Chemical composition of tourmalines from the locality Olešenka.

	51	57	65	50	52	54	56	63
Typ	I	I	I	II	II	III	III	III
SiO_2	36,23	36,09	36,13	36,33	36,39	36,33	35,80	36,07
TiO_2	0,70	0,70	0,71	0,77	0,67	0,85	0,83	0,66
Al_2O_3	32,83	32,75	32,99	33,24	33,74	32,69	32,96	32,78
FeO	9,60	11,08	9,27	7,54	7,56	9,98	9,38	9,02
MgO	4,20	3,56	4,25	5,53	5,47	4,54	4,70	4,75
CaO	0,14	0,14	0,15	0,21	0,24	0,16	0,43	0,20
MnO	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,04	0,01	0,02
Na_2O	2,11	2,44	2,65	2,13	2,61	1,91	2,05	2,00
K_2O	0,15	0,18	0,14	0,13	0,10	0,21	0,07	0,11
F	0,41	0,43	0,41	0,44	0,48	0,44	0,47	0,48
H2O*	3,43	3,43	3,44	3,45	3,46	3,44	3,41	3,40
B_2O_3*	10,51	10,53	10,54	10,61	10,69	10,57	10,53	10,49
O=F	0,17	0,18	0,17	0,18	0,20	0,18	0,20	0,20
celkem	100,16	101,18	100,54	100,21	101,20	100,97	100,43	99,76
T: Si	5,991	5,960	5,958	5,953	5,914	5,972	5,908	5,974
T: Al	0,009	0,040	0,042	0,047	0,086	0,028	0,092	0,026
B	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
Z: Al	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Y: Al	0,390	0,334	0,369	0,372	0,376	0,306	0,319	0,372
Y: Ti	0,087	0,087	0,088	0,095	0,082	0,105	0,103	0,082
Y: Mg	1,035	0,876	1,046	1,351	1,326	1,111	1,156	1,172
Y: Mn	0,004	0,006	0,004	0,001	0,001	0,006	0,001	0,003
Y: Fe^{2+}	1,327	1,530	1,278	1,034	1,027	1,372	1,295	1,250
Y: Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y: Li*	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X: Ca	0,025	0,024	0,027	0,038	0,041	0,028	0,075	0,035
X: Na	0,676	0,780	0,847	0,678	0,822	0,607	0,654	0,641
X: K	0,031	0,037	0,029	0,028	0,020	0,043	0,015	0,024
X-vakance	0,268	0,158	0,097	0,257	0,117	0,321	0,256	0,300
OH	3,788	3,774	3,788	3,772	3,751	3,772	3,753	3,751
F	0,212	0,226	0,212	0,228	0,249	0,228	0,247	0,249

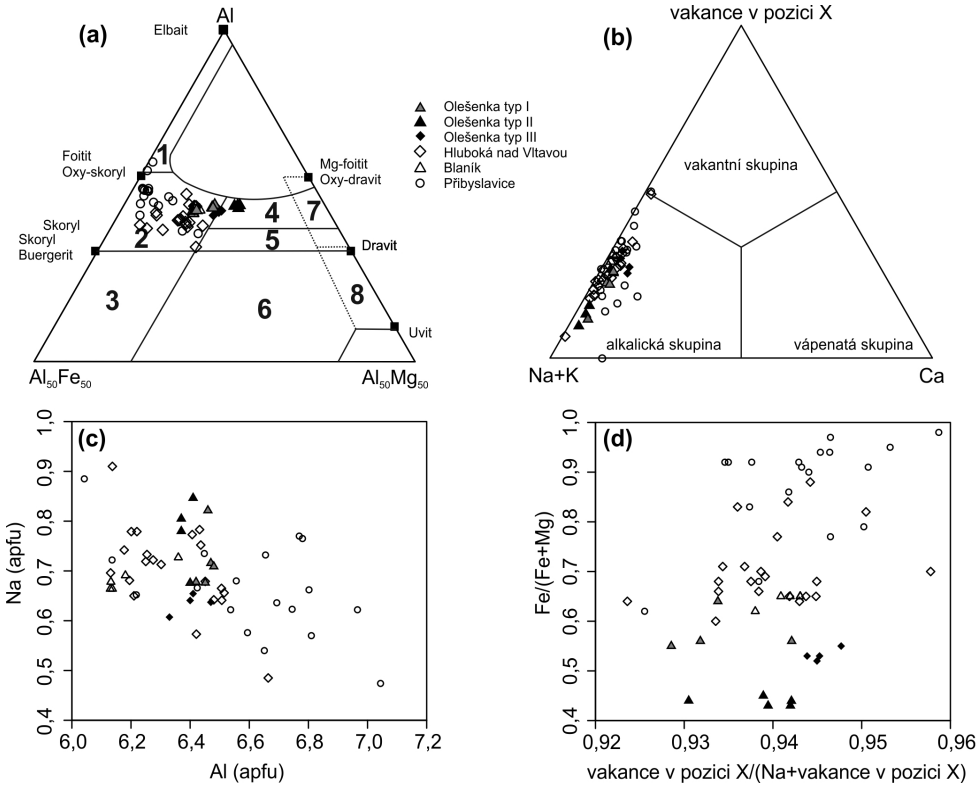
DISKUSE

Turmalín v ortorule z lokality Olešenka (obr. 3) se liší od publikovaných chemických složení turmalínů v peraluminických ortorul v moldanubiku především nižšími poměry Fe/(Mg+Fe). Tento rozdíl souvisí s nižším stupněm frakcionace studované ortoruly, která má relativně vysoký poměr K/Rb (150) ve srovnání s většinou prozatím publikovaných chemických analýz z těles turmalinických ortorul v moldanubiku (104–37; Povondra *et al.* 1998; Povondra a Vrána 1996).

Poměrně komplikovaná zonálnost turmalínu indikuje jeho polyfázový vznik. Centrální část zrn svým složení odpovídá skorylu (typ I) vzniklému krystalizací granitového magmatu s nízkým obsahem Li (Henry a Guidotti 1985). Chemické složení tohoto turmalínu (typ I) se blíží turmalínu z jiných peraluminických ortorul moldanubika (obr. 3a) a naznačuje krystalizaci z nízce geochemicky frakcionovaného granitového magmatu. Kolem magmatického jádra (typ I) je zóna turmalínu s vysokým obsahem Mg (typ II), která turmalín typu I koroduje. Turmalín s chemickým složením blízkým typu II se vyskytuje v metamorfovaných sedimentech (metapelitech a metapsamitech, Henry a Guidotti 1985). Okrajová část turmalínu (typ III) se svým chemickým složení nachází někde mezi těmito dvěma koncovými členy. Turmalín podobného chemického složení také vytváří drobné žilky, které proráží turmalín typu I a II.

Vztah mezi turmalínem a metamorfními minerály není jednoznačný. Magmatický turmalín (typ I) uzavírá inkluze apatitu a křemene. Turmalíny typu II a III uzavírají inkluze křemene a vzácně také drobné inkluze plagioklasu, který má stejné složení jako plagioklas v okolní hornině. Texturní znaky (koroze staršího jádra a mladé žilky) ale naznačují, že se pravděpodobně jedná o metamorfní turmalíny, protože podobné stavby byly pozorovány také v jiných ortorulách (např. Spránitz *et al.* 2018). Chemické složení turmalínů typu II a III indikuje spíše vznik během metamorfózy nebo hydrotermální alterace ortoruly než během magmatické krystalizace původního granitového protolitu (Henry a Guidotti 1985).

P-T podmínky vypočtené pro minerální asociaci studované ortoruly (747 ± 45 °C a 0,7 ± 0,2 GPa) poměrně dobře korespondují s vrcholnými metamorfními podmínkami zjištěnými pro migmatity v této části moldanubika 600–700 °C a 0,6–0,8 GPa (Racek *et al.* 2006). Metamorfní podmínky jsou velmi blízké podmínkám, při nichž dochází k parciálnímu tavení metapelitů. Je tedy velmi pravděpodobné, že složení turmalínu typu II je odrazem složení fluid uvolněných během tavení okolních metapelitů ve vrcholné fázi variské metamorfózy. Pokles Fe/(Fe+Mg) při relativně stabilním obsahu F může souviset s poklesem teploty a tlaku během exhumace moldanubika (Racek *et al.* 2006). Metamorfní reakce, které vedou ke vzniku tohoto typu zonálnosti, však nebyly prozatím příliš studovány (např. Spránitz *et al.* 2018).



Obr. 3. Chemické složení turmalínu: (a) ternární diagram Fe(tot) – Al – Mg podle HENRYHO a GUIDOTTIHO (1985) vymezující chemické složení turmalínů z různých hornin: 1 – Li-bohaté granity, pegmatity a aplity; 2 – Li-chudé granitoidy s pegmatity a aplity; 3 – Fe^{3+} bohaté křemen-turmalinové horniny (alterované granity); 4 – metapelity a metapsamity s Al-fázemi; 5 – metapelity a metapsamity bez Al-saturujících fází; 6 – Fe^{3+} bohaté křemen-turmalínové horniny, metapelity a vápenatosilikátové horniny; (b) klasifikační diagram Na+K – vakance v pozici X – Ca; (c) diagram Al vs. Na; (d) diagram vakance v pozici X/(Na + vakance v pozici X) vs. Fe/(Fe+Mg).). Pro srovnání chemického složení byly použity turmalíny z ortorul z lokalit Hluboká nad Vltavou, Blaník a Přibyslavice (POVONDRA *et al.* 1998, KLEČKA *et al.* 1992, POVONDRA a VRÁNA 1996).

Fig. 3. Chemical composition of tourmaline: (a) $Fe_{(tot)}$ – Al – Mg ternary diagram after HENRY and GUIDOTTI (1985), different regions in the diagram represent compositional range of tourmaline from different rock types: 1 – Li-rich granites, pegmatites and aplites; 2 – Li-poor granitoids with pegmatites and aplites; 3 – Fe^{3+} rich quartz-tourmaline rocks (altered granites); 4 – Metapelites and metapsamites with Al-phases; 5 – Metapelites and metapsamites without Al-saturating phases; 6 – Fe^{3+} rich quartz-tourmaline rocks, metapelites and calcium silicate rocks; (b) Na + K – X-site vacancy – Ca classification diagram; (c) Al vs. Na diagram; (d) diagram X-site vacancy/(Na + X-site vacancy) vs. Fe/(Fe + Mg). Chemical composition of tourmalines from orthogneisses at localities Hluboká nad Vltavou, Blaník and Přibyslavice were used for comparison (POVONDRA *et al.* 1998, KLEČKA *et al.* 1992, POVONDRA a VRÁNA 1996).

ZÁVĚRY

Středně zrnitá porfyroklastická, granát-biotitická až muskovit-biotitická ortorula z lokality Olešenka vykazuje nízký stupeň geochemické frakcionace (K/Rb = 150). Tato hornina se skládá z křemene, draselného živce (P < 0,02 *apfu* a Na < 0,14 *apfu*), albitu (An_{7-9}) a malého množství tmavých minerálů. Biotit (Al 3,52–3,76 *apfu*, #Fe = 0,72–0,74) obvykle dominuje nad muskovitem, granátem (Alm_{75-80} Sps_{12-19} Prp_{5-6} Adr_{1-3}), sillimanitem a turmalínem.

Komplikovaná vnitřní stavba turmalínu ve studované ortorule z lokality Olešenka je pravděpodobně výsledkem kombinace pre-variských magmatických a variských metamorfních procesů. Minerální asociace ortoruly indikuje metamorfní rekrystalizaci (~ 750 °C a ~ 0,7 GPa) za podobných podmínek jako okolní migmatity. Centrální část zrn turmalínu v ortorule má chemické složení (typ I; #Fe = 0,55–0,64; Na = 0,68–0,85 *apfu*) odpovídající turmalínům vzniklým krystalizací z nízce geochemicky frakcionovaného granitového magmatu. Tato centrální část je částečně korodována a uzavřena mladším metamorfním turmalínem typ II #Fe = 0,43–0,45; Na = 0,68–0,82 *apfu*). Turmalín typu II je pak lemován Fe-bohatým turmalinem typu III (#Fe = 0,52–0,55; Na = 0,61–0,65 *apfu*), který také tvoří drobné žilky prorážející typy I a II. Turmalíny typu II a III vznikly pravděpodobně během metamorfního vývoje. Složení turmalínů z Olešenky i jejich vývoj se odlišuje od turmalínů z výše frakcionovaných ortorul s doprovodnou Sn- nebo W-mineralizací.

PODĚKOVÁNÍ

Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury v rámci institucionálního financování na dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné organizace Moravské zemské muzeum (DKRVO, MK000094862) a projektů České geologické služby číslo 321180 („Základní geologické mapování“).

LITERATURA

Buriánek, D., 2004: Turmalinické granity moldanubika a saxothuringika – příklad využití turmalínu jako petrogenetického indikátoru. – Manuskript, Disertační práce, PřF MU, Brno, 1–256.

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.

Friedl, G., Finger, F., Paquette, J. L., Von Quadt, A., McNaughton, N. J., Fletcher, I. R., 2004: Pre-Variscan geological events in the Austrian part of the Bohemian Massif deduced from U–Pb zircon ages. – International Journal of Earth Sciences 93, 802–823.

Henry, J. D., Guidotti, V. Ch., 1985: Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. – American Mineralogist, 70, 1–15.

Holland, T. J. B., Powell, R. T. J. B., 1998: An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. – Journal of Metamorphic Geology, 16, 309–343.

Cháb, J., Stráník, Z., Eliáš, M., 2007: Geologická mapa České republiky 1 : 500 000. – Česká geologická služba.

Klečka, M., Machart, J., Pivec, E., 1992: Locality No. 10: Křížovská hora quarry near Vlašim, a Pre-Variscan tourmaline-bearing two-mica orthogneiss (Blaník type). – Field Trip Guidebook, Lepidolite 200, 69–74.

Košler, J., Konopásek, J., Sláma, J., Vrána, S., 2014: U-Pb zircon provenance of Moldanubian sediments in the Bohemian Massif. – Journal of Geological Society, 171, 83–95.

Losertová, L., 2015: Přehled wolframitové mineralizace vázané na centrální moldanubický pluton a na ortorulová tělesa v moldanubiku. – Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae, 100, 2, 45–67.

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

Povondra, P., Lang, M., Pivec, E., Ulrych, J. 1998: Tourmaline from the Přibyslavice peraluminous alkali – feldspar granite, Czech Republic. – Journal Czech Geological Society, 43, 3–8.

Povondra, P., Vrána, S., 1996: Tourmaline and associated minerals in alkali-feldspar orthogneiss near Hluboká nad Vltavou, southern Bohemia. – Journal of Czech Geological Society, 41, 91–100.

Racek, M., Štípská, P., Pitra, P., Schulmann, K., Lexa, O., 2006: Metamorphic record of burial and exhumation of orogenic lower and middle crust: a new tectonothermal model for the Drosendorf window (Bohemian Massif, Austria). – Mineralogy and Petrology, 86, 221–251.

Schulmann, K., Konopásek, J., Janoušek, V., Lexa, O., Lardeaux, J-M., Edel, J-B., Štípská, P., Ulrich, S., 2009: An Andean type Palaeozoic convergence in the Bohemian Massif. – Comptes Rendus Geoscience 341(2), 266–286.

Spránitz, T., Józsa, S., Kovács, Z., Váczi, B., Török, K., 2018: Magmatic and metamorphic evolution of tourmaline-rich rocks of the Sopron area, Eastern Alps. – Journal of Geosciences, 63, 175–191.

Stárková, I., Skácelová, D., 1998: Geologická mapa ČR. List 23-22 Žďár nad Sázavou. – Český geologický ústav.

Teipel, U., Eichhorn, R., Loth, G., Rohrmüller, J., Höll, R., Kennedy, A., 2004: U-Pb SHRIMP and Nd isotopic data from the western Bohemian Massif (Bayerischer Wald, Germany): implications for Upper Vendian and Lower Ordovician magmatism. – International Journal Earth Sciences, 93, 782–801.

Vrána, S., Kröner, A., 1995: Pb-Pb zircon age for tourmaline alkali-feldspar orthogneiss from Hluboká nad Vltavou in southern Bohemia. – Journal of Czech Geological Society, 40, 127–131

Wendt, J. I., Kröner, A., Fiala, J., Todt, W., 1993: Evidence from zircon dating for existence of approximately 2.1 Ga old crystalline basement in southern Bohemia, Czech Republic. – Geologische Rundschau, 82, 42–50.