

P-Al-Th-REE obohatený zirkón a fáza blízka cheralitu v apliticko-pegmatitickom granofýre na lokalite Dubová - Horné Trávniky pri Modre (Malé Karpaty, jz. Slovensko)

P,Al,Th,REE-rich zircon and cheralite-like phase in aplitic-pegmatitic granophyre from the Dubová, Horné Trávniky near Modra (Malé Karpaty Mountains, SW Slovakia)

PAVEL UHER A MARTIN ONDREJKA

Katedra mineralógie a petrológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina G, 842 15 Bratislava, Slovenská republika

UHER P., ONDREJKA M. (2009): P-Al-Th-REE obohatený zirkón a fáza blízka cheralitu v apliticko-pegmatitickom granofýre na lokalite Dubová - Horné Trávniky pri Modre (Malé Karpaty, jz. Slovensko). - *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 17/2*, 81-86. ISSN: 1211-0329.

Abstract

Accessory zircon and cheralite-like phase occur in Hercynian quartz - K-feldspar - albite aplitic granophyre dike cutting Devonian Ca-skarn and marbles in the Dubová, Horné Trávniky near Modra, SW Slovakia. Zircon forms euhedral to subhedral crystals. Zircon shows 1.5 to 2.7 wt. % HfO₂, Zr/Hf_{wt.} ratio attains 14 to 23. Some zircon compositions show low totals (82 - 92 wt. %), probably due to metamictization and hydration, elevated contents of P (up to 0.25 *apfu*, 7.6 wt. % P₂O₅), Al (up to 0.17 *apfu*, 3.8 wt. % Al₂O₃), Th (up to 0.12 *apfu*, 14 wt. % ThO₂), Y+REE (up to 0.07 *apfu*, 4.3 wt. % (Y,REE)₂O₃), and also U, Fe and Ca (up to 0.1 *apfu*). Zircon associates with intermediate cheralite > huttonite phase, rich in Th (up to 0.63 *apfu*, 52 wt. % ThO₂), Ca (up to 0.39 *apfu*, 6.9 wt. % CaO) and Y+REE (up to 0.13 *apfu*, 5.7 wt. % (Y,REE)₂O₃). The cheralite-like phase contains also elevated concentrations of Zr (up to 0.05 *apfu*, 2 wt. % ZrO₂), Al (up to 0.17 *apfu*, 2.6 wt. % Al₂O₃), and low analytical totals (83 to 85 wt. oxide %). Textural and compositional relationships indicate a relatively rapid crystallization of the both zircon and cheralite-like phase during magmatic solidification of the host aplitic-pegmatitic granophyre which preserved their intermediate and probably metastable compositions.

Key words: zircon, cheralite, huttonite, Th-REE minerals, aplitic-pegmatitic granophyre, Modra massif, Malé Karpaty Mts., Slovakia

Úvod

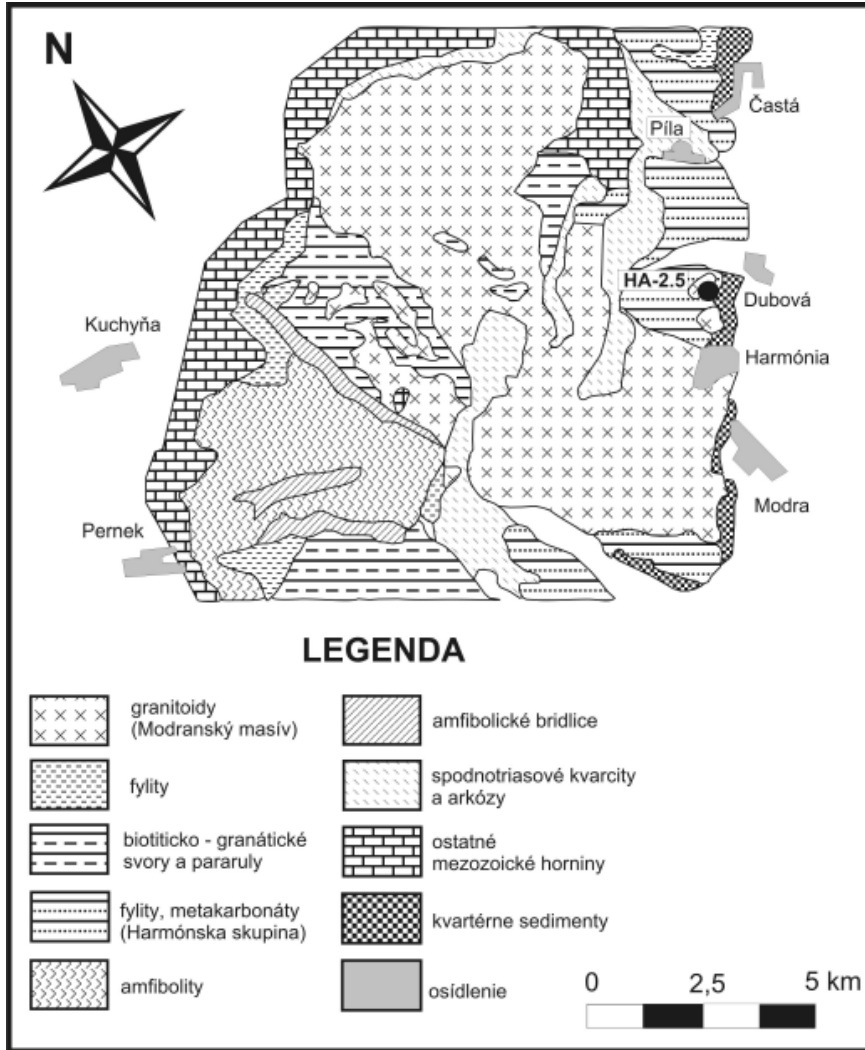
Zirkón a fosfáty prvkov vzácných zemín (REE) zo skupiny monazitu patria medzi najrozšírejšie akcesorické minerály granitických hornín, pričom ich chemické zloženie je vo väčšine prípadoch blízke zloženiu (Zr,Hf)SiO₄ v prípade zirkónu, resp. (Ce,La,Th)PO₄ v prípade monazitu (Ce). V špecifických podmienkach však dochádza k vzniku intermediárnych fáz, tuhých roztokov medzi zirkónom a xenotímom, zirkónom a toritom, resp. monazitom, cheralitom a huttonitom. Minerály podobného zloženia boli opísané z niektorých vysoko frakcionovaných granitov, vulkanických hornín a granitových pegmatitov, v prostredí bohatom fluidami (napr. Pointer et al. 1988; Della Ventura et al. 1996; Förster 1998, 2006; Broska et al. 2000; Breiter et al. 2006, 2009; Dawood, El-Naby 2007; Peréz-Soba et al. 2007).

Pri detailnom mineralogickom štúdiu akcesorických minerálov granitických hornín modranského masívu Malých Karpát bola v žilnom apliticko-pegmatitickom granofýre pri obci Dubová zistená prítomnosť zirkónu s vysokými obsahmi P, Al, Th a REE v asociácii s prechodným fosfátom-silikátom Th, REE a Ca, zložením blízky hydratovanému (?) cheralitu. Cieľom nášho príspevku je charakteristika variácií chemického zloženia týchto dvoch minerálov v kontexte k podmienkam ich vzniku.

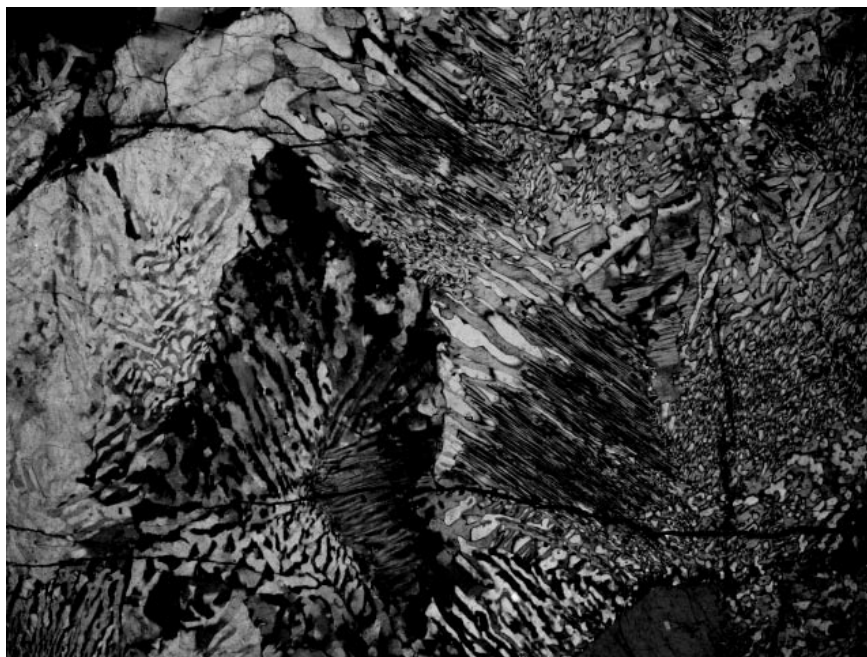
Lokalizácia a geologická charakteristika

Študovaná lokalita Horné Trávniky sa nachádza pri jz. okraji obce Dubová, približne 4 km severne od mesta Modra, na východnom úpätí pohoria Malé Karpaty na juhozápadnom Slovensku. Geografická poloha lokality je 48°21'76'' severnej zemepisnej šírky a 17°18'54'' východnej zemepisnej dĺžky. Jedná sa o malý zalesnený pahorok, morfológickú eleváciu tvorenú kompaktnými mramorizovanými vápencami s polohami Ca-skarnov (erlánov), ktoré sú prerázané apofýzami a žilami hercýnskych leukokrátnych granitov a apliticko-pegmatitických hornín modranského masívu (obr. 1). V okolí sa nachádzajú aj kontaktné metamorfované metapelity až metapsamity - fylity, škvrnité bridlice s porfyroblastami andaluzitu a cordieritu, lokálne metabazalty - amfibolity (Cambel, Vilinovič 1987; Putiš et al. 2004).

Celá uvedená sekvencia metamorfovaných hornín patrí k dubovskému súvrstviu harmónskej skupiny devónskeho veku (Putiš et al. 2004), súčasťou kryštalického fundamentu tatrika Centrálnych Západných Karpát. Kontaktnú metamorfózu hornín harmónskej skupiny spôsobila intrúzia granitov modranského masívu (Cambel, Vilinovič 1987), ktorých hercýnsky vek magmatickej kryštalizácie bol potvrdený výsledkami izotopového datovania zirkónu metódou SHRIMP (347±4 Ma - Kohút et al. 2009).



Obr. 1 Schématická geologická mapa okolia Modry (Cambel, Vilinovič 1987) s lokalizáciou výskytu granofýru v Dubovej - Horných Trávnikoch (HA-2.5).



Obr. 2 Granofyrické prerastanie kremeňa a K-živca, apliticko-pegmatitický granofýr Dubová - Horné Trávniky. Skřížené nikoly, dlhšia strana záberu 4.5 mm. Foto P. Uher.

Metodika

Leštený výbrus horniny (textúra, štruktúra, horninotvorné minerály) bol študovaný opticky na polarizačnom mikroskope. Akcesorické minerály boli identifikované a merané pomocou elektrónovej mikroanalýzy na prístroji Cameca SX100 v laboratóriu Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave. Chemické zloženie zirkónu aj cheralitu bolo merané vlnovodisperznou bodovou analýzou (WDS) za nasledujúcich analytických podmienok: urýchľovacie napätie 15 kV, prúd elektrónového zväzku 100 nA, priemer elektrónového lúča 1 - 3 μm . Na meranie boli použité prírodné a syntetické štandardy: apatit (PK α), LiNbO₃ (NbLa), ZrSiO₄ (SiKa, ZrLa), HfO₂ (HfLa), TiO₂ (TiKa), ThO₂ (ThMa), UO₂ (UM β), Al₂O₃ (AlKa), ScPO₄ (ScKa), YPO₄ (YLa), CePO₄ (CeLa), DyPO₄ (DyL β), ErPO₄ (ErL β), YbPO₄ (YbLa), LuPO₄ (LuL β), fayalit (FeKa), rodonit (MnKa), wollastonit (CaKa), barit (BaLa) a PbCO₃ (PbMa). Merané boli aj W, Ta, Sn, Bi a F, ich obsahy však boli pod detekčným limitom merania (pod 0.03 - 0.05 hm. %). Doba merania jednotlivých prvkov bola 20 s (Si, Zr), resp. 40 s (ostatné prvky). Štandardná odchýlka merania bola pre jednotlivé prvky v intervale 0.1 - 0.5 hm. % (koncentrácie rádo vo 10 - 50 hm. % prvku), resp. 0.01 - 0.1 hm. % (koncentrácie rádo vo pod 10 hm. % prvku). Interferencie prvkov (najmä REE) boli korigované empiricky určenými korekčnými faktormi. Získané koncentrácie boli korigované metódou PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Opis horniny a minerálov

Študovaná hornina vystupuje v podobe žilného telesa, resp. viacerých žíl, alebo apofýz modranského granitového masívu, ktoré prerážajú okolité metakarbonáty a Ca-skarny harmónskej skupiny. Hornina má leukokrátny charakter so striedaním jemnozrnných aplitických a hrubozrnných pegmatitických partií, je tvorená takmer výlučne kremeňom, K-živcom a albitom. Charakteristické je mikrofotické prerastanie kremeňa a živca, ktoré vytvára typickú granofyrickú štruktúru

s lokálnymi prechodmi do hrubozrnnejšej grafickej alebo porfyrickej štruktúry (obr. 2). Draselný živcov (ortoklas - mikroklin) lokálne tvorí porfyrické výrastlice s exsolučnými lamelami albitu (obr. 3A). Na základe minerálneho zloženia, štruktúry a veľkosti minerálov možno horninu označiť ako žilný apliticko-pegmatitický granofýr.

Okrem kremeňa a alkalických živcov obsahuje granofýr malé množstvo hypidiomorfného biotitu a muskovitu, ako aj akcesorický epidot, zirkón a fázu blízku cheralitu.

Zirkón sa vyskytuje v podobe idiomorfných až hypidiomorfných kryštálov krátkoprismatického až dipyramidálneho habitu, obvyčajne 10 - 80 μm veľkých, v asociácií s cheralitom, kremeňom a živcami. V BSE je zirkón neznámy, prípadne nepravidelne alebo koncentricky zonálny, často s drobnými dutinami a puklinami (obr. 3B-D). Na základe chemického zloženia možno vyčleniť dva základné typy zirkónu: A) stechiometrický zirkón zložením blízky ZrSiO_4 (zirkón A) a zirkón s odchýlkami od ideálnej stechiometrie a zvýšenými obsahmi P, Al, Th, U, Y, REE, Fe a Ca (zirkón B) - tabuľka 1. Oba typy zirkónu tvoria buď samostatné kryštály, alebo zirkón A centrálné, homogénne partie a zirkón B silne pórovité okrajové partie kryštálov (obr. 3B).

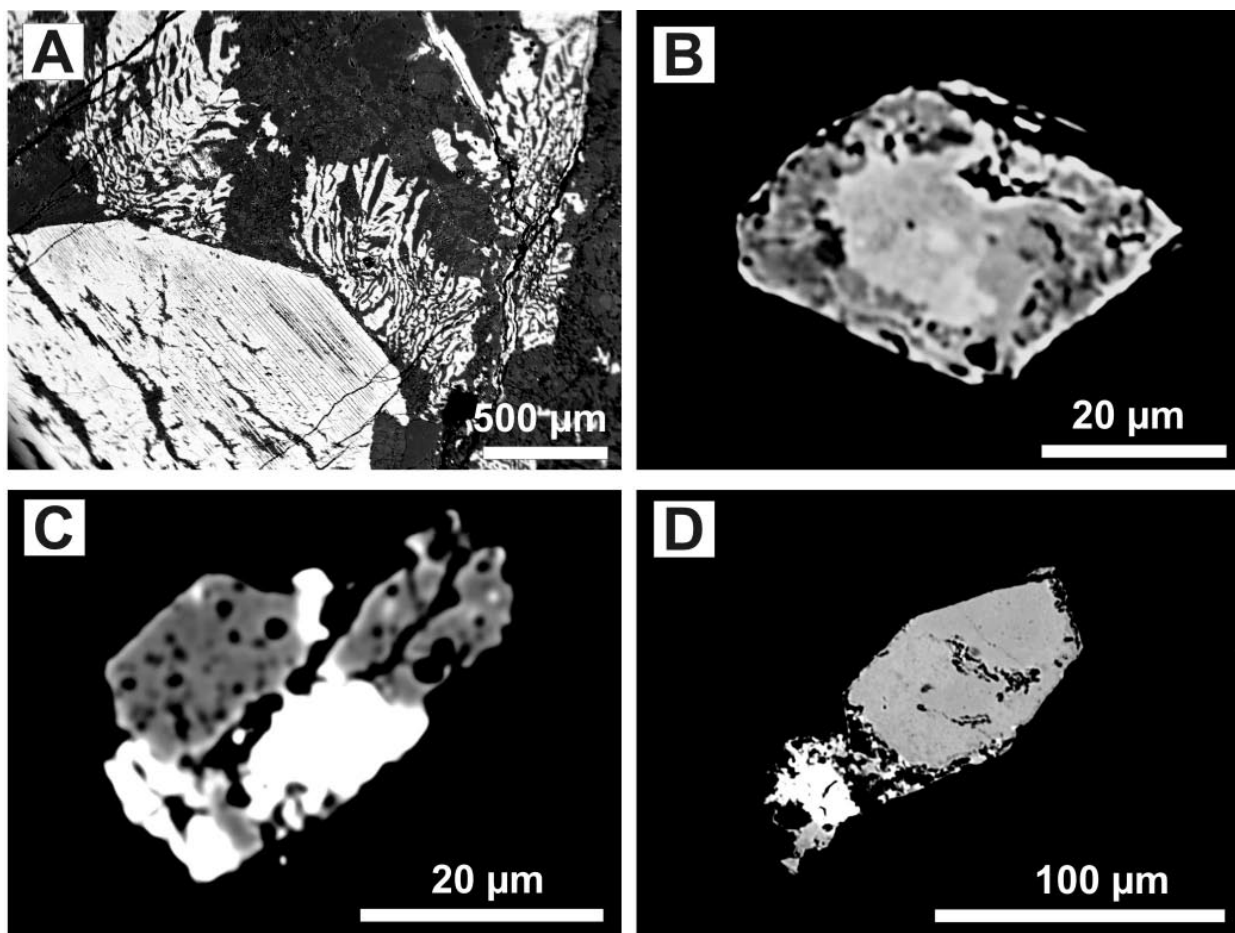
Zirkón A obsahuje 2.0 - 2.7 hm. % HfO_2 (cca 0.02 *apfu* Hf) a mierne zvýšené obsahy ostatných stopových prvkov: 0.9 - 4.0 hm. % UO_2 (0.01 - 0.03 *apfu* U), 0.2 - 0.7 hm. % ThO_2 (pod 0.01 *apfu* Th), 1.3 - 2.6 hm. % $(\text{REE}+\text{Y})_2\text{O}_3$ (0.02 - 0.04 *apfu* REE+Y), 0.3 - 1.3 hm. %

FeO (0.01 - 0.04 *apfu* Fe), 0.1 - 2.1 hm. % CaO (0.01 - 0.04 *apfu* Ca).

Zirkón B sa oproti predchádzajúcemu typu vyznačuje mierne nižšími obsahmi hafnia (1.5 - 2.1 hm. %), avšak relatívne vysokými obsahmi P_2O_5 (5.7 - 7.7 hm. %, 0.18 - 0.25 *apfu* P), ThO_2 (1.7 - 14.1 hm. %, 0.01 - 0.12 *apfu* Th), UO_2 (2.6 - 3.5 hm. %, 0.02 - 0.03 *apfu* U), TiO_2 (0.1 - 0.5 hm. %, ≤ 0.02 *apfu* Ti), 2.4 - 3.8 hm. % Al_2O_3 (0.11 - 0.17 *apfu* Al), $(\text{REE}+\text{Y})_2\text{O}_3$ (3.1 - 4.3 hm. %, 0.05 - 0.07 *apfu* REE+Y), FeO (1.7 - 3.6 hm. %, 0.05 - 0.12 *apfu* Fe) a CaO (1.2 - 2.5 hm. %, 0.05 - 0.10 *apfu* Ca). Pre zirkón B sú takisto typické nízke sumy analyzovaných oxidov, ktoré dosahujú hodnoty 82 - 91 hm. % (tab. 1).

Obsahy Y+REE, ako aj P v oboch typoch zirkónu lineárne stúpajú s poklesom hodnôt Zr+Hf+Si, čo môže indikovať substitúciu xenotimového typu v zirkónoch, vyjadrenú vektorom $(\text{Y,REE})\text{P}(\text{Zr,Hf})_{-1}\text{Si}_{-1}$. So stúpajúcimi obsahmi P a Y+REE v zirkóne však rastú aj obsahy Th, U, Al, Ca a ostatných prvkov, čo dokumentuje rastúci odstup od ideálnej substitučnej línie ($y = -x$), pričom substitučná priamka s parametrami blízky rovnicí $y = -0.4x + 0.8$ smeruje od zirkónu A k zirkónu B a k intermediárnej fáze blízkej cheralitu (obr. 4). Je zrejmé, že tento trend je ovplyvňovaný prítomnosťou ďalších možných substitúcií v zirkónoch, napr. $(\text{Th,U})(\text{Zr,Hf})_{-1}$, AlPSi_2 a pod.

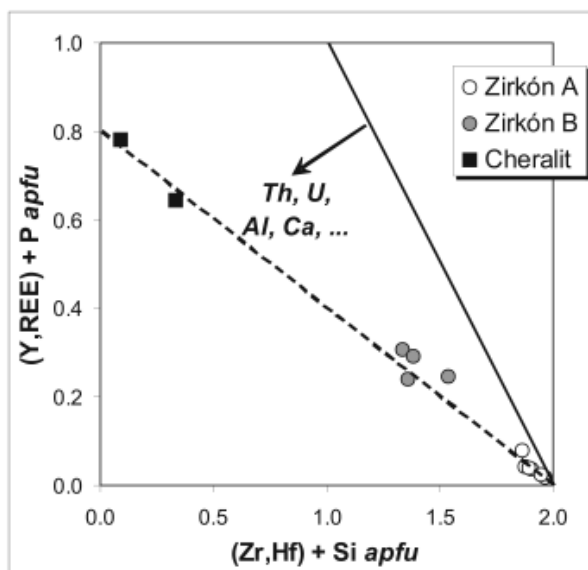
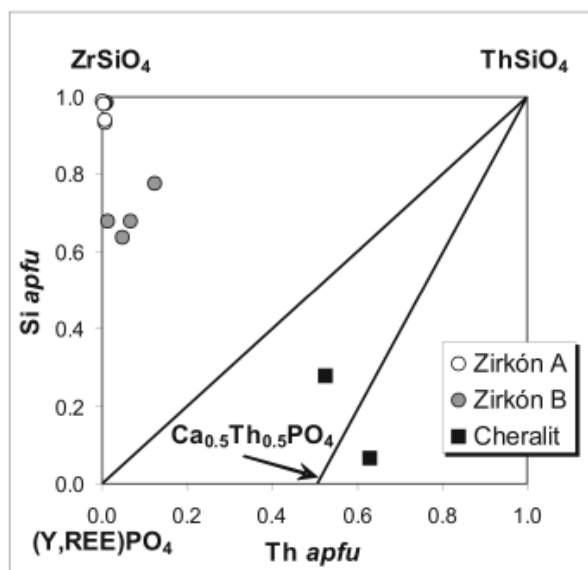
Intermediárna Th-Ca-REE-P-Si fáza, zložením najbližšie k cheralitu bola zistená v podobe hypidiomorfných, maximálne 25 μm veľkých prerastov so zirkónom

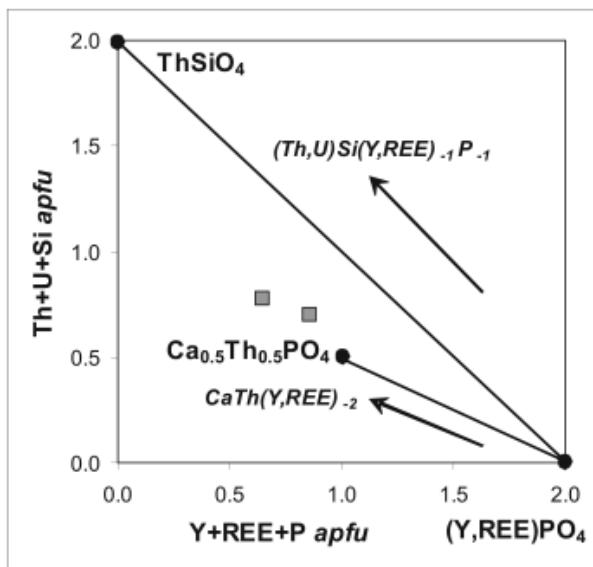


Obr. 3 BSE kompozície granofýru z Dubovej - Horných Trávnikov. A. Granofyrické prerastanie kremeňa a K-živca v albitovo-kremennej matrix (čierna) a s výrastlicou perthitického K-živca s exsolúciami albitu; B. Dipyramidálny zirkón, v strede zirkón A (svetlejší), po okrajoch zirkón B (tmavší); C. Prerastanie zirkónu B (sivý) s cheralitovou fázou (biela). D. Nárast cheralitovej fázy (biela) na zirkón A (sivý). Foto D. Ozdín.

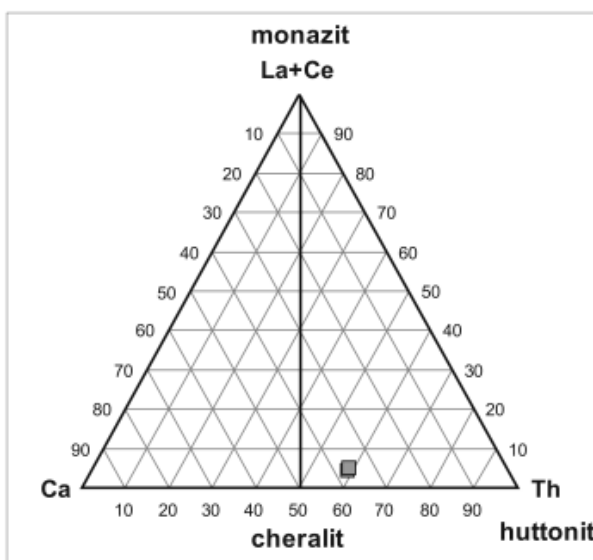
Tabuľka 1 Chemické zloženie zirkónu a fázy blízkej cheralitu (hm. %)

Minerál	zirkón A		zirkón B		cheralit	
P ₂ O ₅	0.14	0.05	7.65	5.73	11.61	15.52
Nb ₂ O ₅	0.06	0.06	0.06	0.05	0.00	0.00
SiO ₂	31.37	30.77	17.77	20.03	5.28	1.27
TiO ₂	0.00	0.00	0.37	0.54	0.06	0.04
ZrO ₂	61.92	60.55	41.44	29.68	2.04	0.86
HfO ₂	2.74	2.38	2.07	1.55	0.12	0.10
ThO ₂	0.15	0.49	5.83	14.08	43.69	52.49
UO ₂	0.90	2.65	3.31	2.61	4.37	0.46
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	3.84	2.42	2.64	1.86
Sc ₂ O ₃	0.00	0.00	0.10	0.06	0.10	0.00
Y ₂ O ₃	0.40	0.80	2.05	1.40	2.09	0.71
La ₂ O ₃	0.00	0.00	0.03	0.27	1.04	1.71
Ce ₂ O ₃	0.03	0.09	0.38	0.59	1.05	1.04
Dy ₂ O ₃	0.04	0.04	0.22	0.24	0.46	0.15
Er ₂ O ₃	0.38	0.39	0.56	0.39	0.57	0.38
Yb ₂ O ₃	0.38	0.35	0.54	0.27	0.41	0.17
Lu ₂ O ₃	0.06	0.05	0.15	0.00	0.07	0.05
FeO	0.47	0.29	2.96	3.60	1.32	0.46
MnO	0.02	0.01	0.05	0.06	0.03	0.02
CaO	0.14	0.30	1.33	2.49	5.79	6.92
BaO	0.00	0.00	0.00	0.06	0.18	0.43
PbO	0.00	0.00	0.02	0.17	0.24	0.49
Suma	99.22	99.28	90.72	86.27	83.16	85.10
Kryštalochemické vzorce prepočítané na 4 atómy kyslíka						
P	0.004	0.001	0.232	0.188	0.521	0.694
Nb	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
Si	0.989	0.983	0.637	0.778	0.280	0.067
Ti	0.000	0.000	0.010	0.016	0.002	0.002
Al	0.000	0.000	0.162	0.111	0.165	0.116
Suma B	0.994	0.985	1.042	1.094	0.968	0.879
Zr	0.952	0.943	0.724	0.562	0.053	0.022
Hf	0.025	0.022	0.021	0.017	0.002	0.001
Th	0.001	0.004	0.048	0.124	0.526	0.631
U	0.006	0.019	0.026	0.023	0.051	0.005
Sc	0.000	0.000	0.004	0.002	0.005	0.000
Y	0.007	0.014	0.039	0.029	0.059	0.020
La	0.000	0.000	0.000	0.004	0.020	0.033
Ce	0.000	0.001	0.005	0.008	0.020	0.020
Dy	0.000	0.000	0.003	0.003	0.008	0.002
Er	0.004	0.004	0.006	0.005	0.010	0.006
Yb	0.004	0.003	0.006	0.003	0.007	0.003
Lu	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001
Fe	0.012	0.008	0.089	0.117	0.058	0.020
Mn	0.000	0.000	0.002	0.002	0.001	0.001
Ca	0.005	0.010	0.051	0.104	0.329	0.392
Ba	0.000	0.000	0.000	0.001	0.004	0.009
Pb	0.000	0.000	0.000	0.002	0.004	0.007
Suma A	1.017	1.029	1.025	1.006	1.158	1.175
Suma A+B	2.011	2.014	2.067	2.100	2.126	2.053
Y+REE	0.015	0.023	0.061	0.052	0.125	0.086
Zr/Hf hmot.	19.72	22.20	17.45	16.74	15.10	7.71

**Obr. 4** (Y,REE)+P vs. (Zr,Hf)+Si diagram zirkónu a cheralitovej fázy v granofyre z Dubovej - Horných Trávnikov. Ideálna substitučná priamka (plná línia) a reálna substitučná priamka (prerušovaná línia).**Obr. 5** Si vs. Th diagram zirkónu a cheralitovej fázy v granofyre z Dubovej - Horných Trávnikov.



Obr. 6 Th+U+Si vs. Y+REE+P diagram cheralitovej fázy v granofýre z Dubovej - Horných Trávnikov.



Obr. 7 La+Ce - Ca - Th diagram cheralitovej fázy v granofýre z Dubovej - Horných Trávnikov.

(obr. 3C, D). Chemické zloženie fázy sa vyznačuje výraznou dominanciou Th nad U, Ca, REE, Zr a ostatnými veľkými kationmi v pozícií A, ako aj jasnou prevahou P nad Si v pozícií B (tab. 1). Jednoznačnú identifikáciu fázy komplikuje aj pomerne silná odchýlka od ideálnej stechiometrie (A : B = 1.158 : 0.968, resp. 1.175 : 0.879) a nízke analytické sumy oxidov (83 - 85 hm. %), spôsobené najmä pravdepodobnou hydrataciou a metamiktizáciou minerálu. Navyše Th-Ca-REE-P-Si fáza obsahuje aj zvýšené obsahy Al, Zr a Y, čo ďalej komplikuje jej jednoznačné zaradenie (tab. 1). Na základe chemického zloženia však možno túto fázu priradiť k tuhému roztoku cheralit - huttonit (torit?) - monazit s prevahou cheralitovej molekuly ($\text{Ca}_{0.5}\text{Th}_{0.5}\text{PO}_4$), ako dokumentujú aj príslušné diagramy (obr. 5 - 7).

Diskusia a záver

Akcesorické monoklinické a tetragonálne minerály s ABO_4 stechiometriou zo skupiny monazitu, xenotímu a zirkónu s prechodným zložením sú známe predovšetkým ako produkty neskoromagmatickej precipitácie až postmagmatickej rekryštalizácie vo vyššie frakcionovaných granitoch, ryolitoch a pegmatitoch v prostredí bohatom na fluidnú fázu (napr. Pointer et al. 1988; Förster 1998, 2006; Peréz-Soba et al. 2007; Breiter et al. 2009). Tieto fázy prechodného zloženia, vytvárajú binárne tuhé roztoky, napr. zirkón - torit, zirkón - xenotím, monazit - huttonit, monazit - cheralit, resp. komplexné intermediárne tuhé roztoky v systéme monazit - huttonit - cheralit (monoklinické fázy - Broska et al. 2000; Linthout 2007; Dawood, El-Naby 2007), resp. torit - xenotím - zirkón - coffinit (tetragonálne fázy - Förster 2006; Breiter et al. 2009). Takéto komplexné intermediárne fázy s vysokými obsahmi Th a U sa však často vyznačujú metamiktizáciou, nízkymi analytickými sumami, spôsobenými najmä čiastočnou hydrataciou a/alebo prítomnosťou dutín a vstupom Ca, Al, Fe a ďalších prvkov v dôsledku reekvilibrácie zirkónu v prítomnosti vodou bohatých fluid, resp. tavenín (Geisler et al. 2007). Všetky uvedené faktory, v kombinácii s fluidným neskoromagmatickým až postmagmatickým prostredím, spôsobujú často značný odklon od ideálnej stechiometrie a nejednoznačnosť prepočtu takýchto fáz na teoretické koncové členy (napr. Förster 2006). Preto v takýchto prípadoch stráca zmysel presného prepočtu na koncové členy a konštrukcia ternárnych klasifikačných diagramov, napr. monazit - cheralit - huttonit (Linthout 2007). Drobné rozmery (zväčša pod 0.1 mm), intímne prerastanie, ako aj metamiktický stav navyše neumožňujú štruktúrne štúdium týchto prechodných fáz pomocou štandardných difrakčných metód. Z týchto dôvodov možno na základe bodových mikrosondových analýz hovoriť len s istou mierou pravdepodobnosti o príslušnosti danej fázy k určitému koncovému členu.

V prípade apliticko-pegmatitického granofýru z Dubovej možno konštatovať prítomnosť akcesorického zirkónu so zvýšenými obsahmi P, Th, U, Y, REE, Fe a Ca v asociácii s Th-Ca-REE-P-Si fázou blízkou cheralitu s minoritným zastúpením najmä huttonitovej molekuly. Na základe mikroanalýz cheralitu blízkej fázy nemožno jednoznačne stanoviť formu ThSiO_4 zložky, či sa jedná o monoklinický huttonit, alebo tetragonálny torit. Pri dominancii cheralitovej molekuly sa však prikláňame k možnosti tuhého roztoku s huttonitom. Ak sú naše predpoklady správne, potom sa v prípade fázy z Dubovej jedná o zriedkavý tuhý roztok cheralit - huttonit s malým zastúpením monazitovej molekuly (cf. Linthout 2007). Geologická pozícia, štruktúra a minerálne zloženie apliticko-pegmatitického granofýru z Dubovej indikujú rýchle ochladenie a rapidnu magmatickú kryštalizáciu frakcionovanej taveniny, zrejme blízkej haplogranitovému zloženiu v prostredí obohatenom fluidami (najmä H_2O). V takomto prostredí vznikali intermediárne a zrejme metastabilné Zr-Si a Th-Ca-P-Si fázy zirkónového a cheralitového zloženia.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0557-06. Autori ďakujú P. Konečnému a D. Ozdínovi za asistenciu pri vyhotovení mikroanalýz a BSE fotografií minerálov, ako aj R. Škodovi a P. Bačíkovi za kritické posúdenie manuskriptu.

Literatúra

- Breiter K., Förster H.-J., Škoda R. (2006): Extreme P-, Bi-, Nb-, Sc-, U- and F-rich zircon from fractionated perphosphorous granites: The peraluminous Podlesí granite system, Czech Republic. - *Lithos* **88**, 15-34.
- Breiter K., Čopjaková R., Škoda R. (2009): The involvement of F, CO₂, and As in the alteration of Zr-Th-REE-bearing accessory minerals in the Hora Svaté Kateřiny A-type granite, Czech Republic. - *Can. Mineral.* **47**, 1375-1398.
- Broska I., Petřík I., Williams C. T. (2000): Coexisting monazite and allanite in peraluminous granitoids of the Tribeč Mountains, Western Carpathians. - *Am. Mineral.* **85**, 22-32.
- Cambel B., Vilinovič V. (1987): Geochémia a petrológia granitoidných hornín Malých Karpát. - 1-248, Veda, Bratislava.
- Dawood Y. H., El-Naby H. H. A. (2007): Mineral chemistry of monazite from the black sand deposits, northern Sinai, Egypt: a provenance perspective. - *Mineral. Mag.* **71**, 389-406.
- Della Ventura G., Mottana A., Parodi G. C., Raudsepp M., Bellatreccia F., Caporilli E., Rossi P., Fiori S. (1996): Monazite-huttonite solid-solutions from the Vico Volcanic Complex, Latium, Italy. - *Mineral. Mag.* **60**, 751-758.
- Förster H.-J. (1998): The chemical composition of REE-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of the Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany, Part I: The monazite-(Ce)-brabantite solid solution series. - *Am. Mineral.* **83**, 259-272.
- Förster H.-J. (2006): Composition and origin of intermediate solid solutions in the system thorite-xenotime-zircon-coffinite. - *Lithos* **88**, 35-55.
- Geisler T., Schaltegger U., Tomaschek F. (2007): Re-equilibration of zircon in aqueous fluids and melts. - *Elements* **3**, 43-50.
- Kohút M., Uher P., Putiš M., Ondrejka M., Sergeev S., Larionov A., Paderin I. (2009): SHRIMP U-Th-Pb zircon dating of the granitoid massifs in the Malé Karpaty Mountains (Western Carpathians): evidence of Mesohercynian successive S- to I-type granitic magmatism. - *Geol. Carpath.* **60**, 345-350.
- Linthout K. (2007): Tripartite division of the system 2REE-PO₄ - CaTh(PO₄)₂ - 2ThSiO₄, discreditation of brabantite, and recognition of cheralite as the name for members dominated by CaTh(PO₄)₂. - *Can. Mineral.* **45**, 503-508.
- Peréz-Soba C., Villaseca C., Del Tánago J. G. (2007): The composition of zircon in the peraluminous Hercynian granites of the Spanish Central System Batholith. - *Can. Mineral.* **45**, 509-527.
- Pointer C. M., Ashworth J. R., Ixer R. A. (1988): The zircon-thorite mineral group in metasomatized granite, Ririwai, Nigeria 2. Zoning and exsolution in zircon. - *Mineral. Petrol.* **39**, 21-37.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985): "PAP" (φρZ) procedure for improved quantitative microanalysis. - In: Microbeam Analysis (J. T. Armstrong ed.). San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Putiš M., Hrdlička M., Uher P. (2004): Litológia a granitoidný magmatizmus staršieho paleozoika Malých Karpát. - *Miner. Slov.* **36**, 183-194.