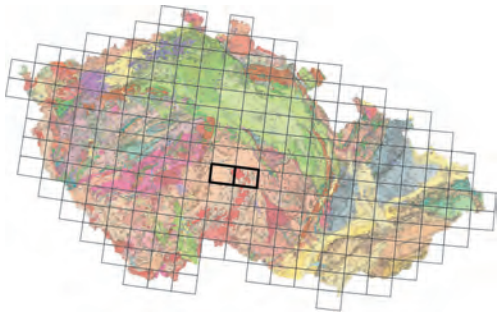
Česká geologická služba / Czech Geological Survey, Praha 2011 / ISSN 0514-8057, ISBN 978-80-7075-769-7

Některé informace z koncentrátů těžkých minerálů z melechovského masivu

Some information from heavy-mineral concentrates from Melechov massif

Václav Procházka [1] – Miroslav Žáček [2] – Marta Chlupáčová [3] – Dobroslav Matějka [4] – Zuzana Korbelová [5] – Mariana Klementová [6]

[1] V Bažantnici 2636, 272 01 Kladno; vprochaska@seznam.cz
[2] GEOMIN Družstvo, Znojemská 78, 586 56 Jihlava
[3] Boháčova 866/4, 14900 Praha 4
[4] Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2
[5] Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6
[6] Ústav anorganické chemie AV ČR, v. v. i., 250 68 Husinec-Řež 1001



(23-12 Dolní Kralovice, 23-21 Havlíčkův Brod)

Key words: *heavy minerals, uraninite, tourmaline, allanite, radioactivity, eluvium*

Abstract: In the granites of Melechov massif, the most important minerals which were documented in heavy-mineral concentrates only are tourmaline (scoryl) and uraninite. U-Th-Pb age of uraninite from Kouty granite according to EMPA is 280 Ma, i.e. significantly lower than cooling age of the granite; this discrepancy probably cannot be explained by the observed uraninite alteration. In the close proximity (< 20–40 μm) of uraninite only secondary minerals and some accessories (zircon, monazite, apatite) are preserved and the secondary minerals often form concentric aureoles, which indicates that intensive radiation damage helped to the destruction of primary minerals. Measurements of radioactivity of heavy-mineral concentrates from eluvia of granites and paragneisses indicate that monazite is the most important source of radiation in the weathered rock; in the Melechov granite, also contribution of apatite and perhaps uranium bound to limonite seem to be significant.

Koncentráty těžkých minerálů usnadňují především zkoumání akcesorií. V granitech melechovského masivu patří mezi minerály, které nebyly pozorovány přímo v hornině, ale byly nalezeny v koncentrátech z drcených hornin, především turmalín, někdy také uraninit, allanit, almandin a amfiboly (viz též Procházka – Matějka 2006). Tento článek se již nezabývá akcesoriemi podrobně dokumentovanými ve výbrusech a nábrusech hornin (apatitem, ilmenitem, monazitem, zirkonem – viz též citované práce autorů a další odkazy v nich) a uvádí jen významnější informace získané pouze z koncentrátů těžkých minerálů.

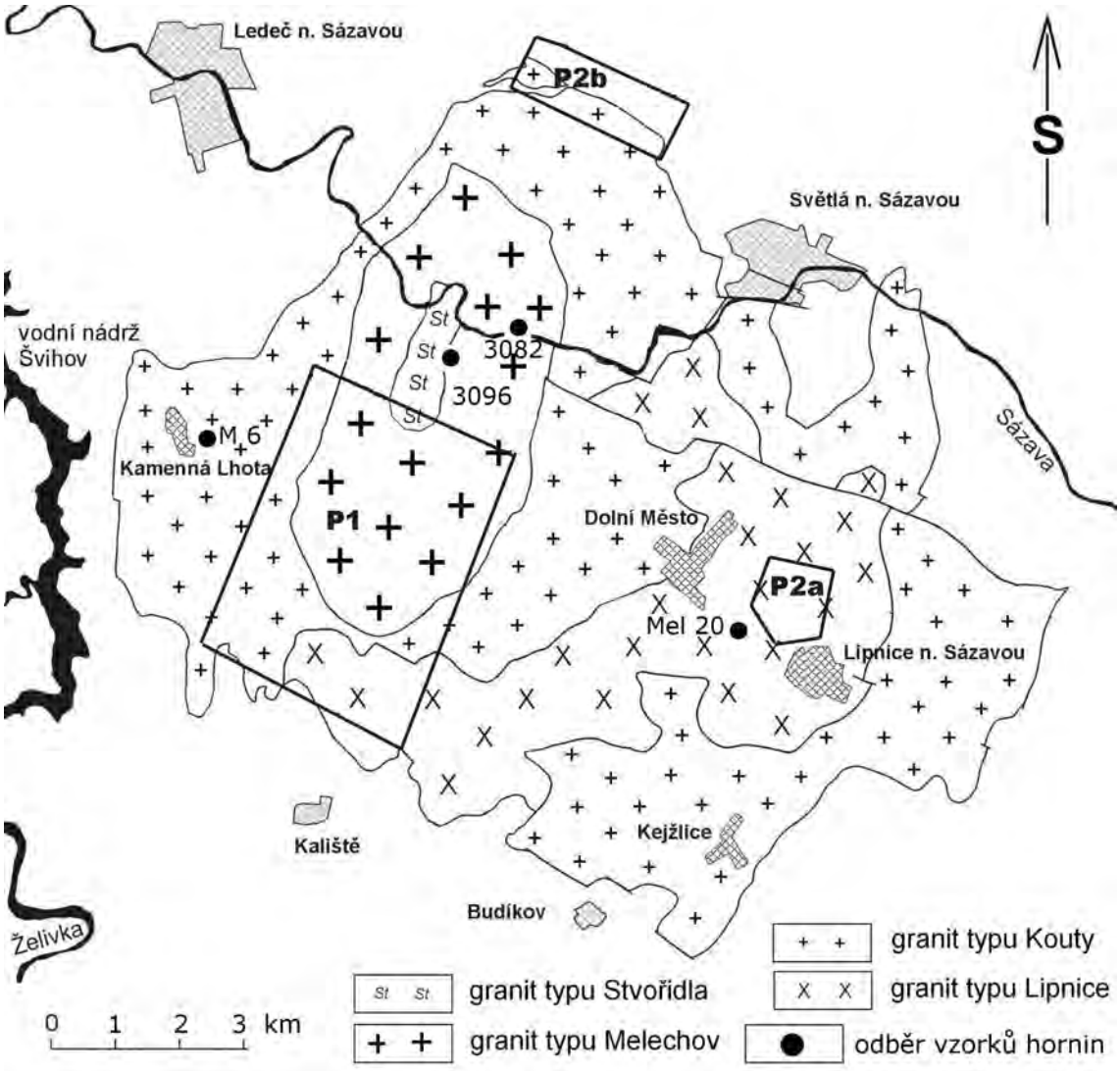
Použité vzorky. Horninové vzorky Mel 20 (Dolní Město – lom Kopaniny), Mel 26 (jjz. od Koňkovic), 3082 (Smrčná) a 3096 (zaniklý lůmek u Trpišovic, resp. Koňkovic) byly odebrány pracovníky České geologické služby a popsány v archivních zprávách (Procházka et al. 1998, Breiter et al. 2001). Těžká frakce byla po rýžování separována v acetylentetrabromidu. Vzorek koutského granitu (M 6, Kamenná Lhota) je koncentrát těžší než metylenjodid po oddělení magnetických frakcí trvalým magnetem i elektromagnetem. Kromě koncentrátů z drcených hornin byly rovněž zkoumány šlichy z eluvií, odebraných v plochách P1, P2a a P2b (obr. 1). Z frakce těžší než bromoform byly po oddělení ferimagnetické frakce trvalým magnetem a podsítné frakce (< 0,15 mm) zkoumány magnetické a nemagnetické podíly ze separace elektromagnetem. Více informací o odběru vzorků a jejich semikvantitativní mineralogickou charakteristiku uvádějí Žáček a Páša (2006).

Přehled minerálů

Turmalín (skoryl). V koncentrátech těžkých minerálů se vyskytuje pravidelně v kyselejších granitech – typy Melechov a Stvořidla, často je hojný i v lipnickém a koutském. Naproti tomu ve výbrusu byl turmalín pozorován pouze v pararule, také podle šlichové prospekce (Žáček – Páša, 2006) je v pararulách hojnější. Turmalín v granitech je tedy zřejmě omezen na drobné žilky či jiné nehomogenity, nicméně jeho složení – především poměr Fe/Mg – má vztah k okolnímu granitu: v nejméně kyselém lipnickém typu se analyzované turmalíny dokonce blíží dravitu.

V koncentrátu turmalínu z granitu ze Stvořidel byl též analyzován stupeň oxidace železa Mössbauerovou spektroskopií. Bylo detekováno jen Fe^{2+}, nicméně vzhledem k malému množství vzorku nelze vyloučit podíl Fe^{3+} asi do 5 % železa.

Allanit. Zatímco ve výbrusech byl allanit pozorován jen jako jeden z produktů alterace monazitu (hlavně v lipnickém granitu), zrno nalezené v koncentrátu TM z koutského granitu by mohlo být primární allanit (obr. 2).



Obr. 1. Lokalizace horninových vzorků a polygonů se vzorkovanými profily v melechovském masivu (bod Mel 26 není vyznačen, nachází se velmi blízko na jihovýchod od bodu 3096).

Uraninit a doprovodné minerály. Uraninit byl až na zanedbatelné výjimky pozorován jen v nábrusu zhotoveném z koncentrátu těžkých minerálů z koutského granitu (M 6). Ze vztahu velikosti a tvaru úlomků lze soudit, že většina zrn uraninitu byly původně automorfní až hypautomorfní krystaly o velikosti až 0,3 mm. Obsah ThO_2 je 0,185–0,689 %, což je poměrně málo na magmatický uraninit (viz např. Förster 1999), ale ještě to magmatický původ úplně nevylučuje. Také všechny ostatní příměsi (kromě Pb) mají obsahy pod 0,75 hmot. % (viz tab. 2), Al, Mg, Mn, La a Ce jsou vždy pod mezí detekce. Jediným významným vztahem mezi dvěma prvky je pozitivní korelace Th a Y, která existuje i v uraninitech krušnohorských granitů (Förster 1999). Dva analyzované body s nejnižším stářím (< 270 Ma) mají také nejvyšší obsah Si a Ca, což by mohl být projev alterace. Bez těchto dvou analýz vychází průměrné stáří 280,0 Ma (σ = 7,3 Ma), ze všech analýz 277,3 Ma (σ = 8,8 Ma).

Uraninit je jen místy alterován na blíže neurčený karbonát U.

Tabulka 1. Energiově disperzní elektronové mikroanalýzy turmalínu (Mn vždy pod mezí detekce)

granit	Lipnice	Melechov		Stvořidla		
vzorek	Mel 20	Mel 26	3082		3096	
SiO_2	33,62	35,75	36,12	34,57	34,97	35,13
TiO_2	1,10	0,54	0,68	0,64	0,67	0,39
Al_2O_3	33,13	35,23	35,90	33,72	34,82	32,94
FeO	9,15	10,2	8,84	10,91	11,05	11,37
MgO	5,07	3,3	3,67	2,81	2,81	3,24
CaO	0,35	<d.l.	0,20	0,20	<d.l.	<d.l.
Na_2O	2,65	2,41	1,92	1,89	2,12	2,13
suma	85,07	87,43	87,32	84,74	86,45	85,19

Někdy lze v uraninitu rovněž pozorovat velmi drobné uzavřeniny oxidovaného sulfidu nebo snad síranu Fe. Nízká stáří uraninitu jsou indicií jeho sekundárního vzniku. Alterace,

Tabulka 2. Vlnově disperzní mikroanalýzy uraninitu

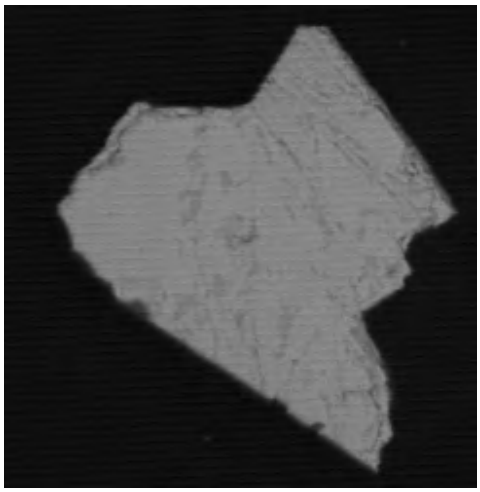
č. an.	UO_2 t	UO_3 t	ThO_2	SiO_2	TiO_2	Y_2O_3	FeO_t	CaO	PbO	suma s UO_2	suma s UO_3	stáří (Ma)
1	90,88	96,26	0,577	*0,029*	*0,039*	0,240	*0,053*	*0,000*	3,566	95,55	100,76	288,5
2	90,82	96,20	0,479	*0,022*	*0,038*	0,159	0,133	*0,032*	3,357	95,06	100,42	272,5
3	90,24	95,58	0,619	*0,010*	*0,069*	0,263	0,171	0,267	3,486	95,32	100,47	284,2
5	88,55	93,79	0,505	0,131	*0,048*	0,153	0,416	0,352	3,454	93,72	98,85	286,8
6	89,69	95,00	0,185	0,124	*0,038*	*0,071*	0,712	0,334	3,558	94,92	100,02	291,8
7	90,10	95,44	0,273	0,216	*0,076*	0,127	0,179	0,715	3,201	94,93	100,23	262,3
8	91,32	96,73	0,456	*0,044*	*0,025*	*0,084*	*0,096*	0,086	3,429	95,61	100,95	276,5
9	90,13	95,47	0,379	*0,020*	*0,068*	*0,077*	*0,000*	0,144	3,348	94,30	99,51	273,7
10	89,63	94,94	0,689	0,114	*0,059*	0,318	*0,083*	0,418	3,321	94,79	99,94	273,5
11	90,02	95,35	0,305	0,202	*0,074*	0,096	0,147	0,566	3,276	94,86	100,02	268,5
12	90,97	96,36	0,208	0,063	0,113	*0,076*	*0,076*	0,197	3,358	95,11	100,45	272,3

CAMECA, GLÚ AVČR; oxidy v hmot. %, kurzivně hodnoty pod mezí detekce (uran je uveden ve variantách „UO_2" a „UO_3", skutečná míra oxidace U leží mezi nimi) a chemická stáří za předpokladu nepřítomnosti obyčejného olova. Chyba určení stáří v jednotlivých analýzách je asi 17 Ma.

Tabulka 3. Výsledky gamaspektrometrie magnetických (bez feromagnetického podílu) a nemagnetických frakcí šlichů ze zvětralin

polygon	hornin.podklad	čísla vzorků	frakce	Th	eU	K	Th/U
1	gr. Melechov	45-52,54	mag.	106,0	113,6	<2	0,93
1	gr. Melechov	53-63	nemag.	22,4	41,8	1,1	0,54
2b	gr. Kouty	4,5,11-15	mag.	162,9	58,9	1,4	2,8
1	gr. Kouty	8-13	nemag.	72,7	85,7	0,5	0,85
2a	gr. Lipnice	2,4,6-11	mag.	552,2	60,8	1,7	9,1
2a	gr. Lipnice	26,27,29-38	mag.	417,2	61,5	3,1	6,8
1	gr. Lipnice	65-68	mag.	295,9	49,9	3,3	5,9
2a	gr. Lipnice	1-7,10,11	nemag.	174,0	52,8	1,4	3,3
2b	pararula	6-10, 16-20	mag.	125,8	39,4	0,4	3,2
2b	pararula	42-44,46	mag.	186,2	46,9	2,2	4,0
2b	pararula	6-10,16,20	nemag.	60,9	27,5	0,9	2,2
2b	pararula	42-46	nemag.	34,4	29,2	2,0	1,2

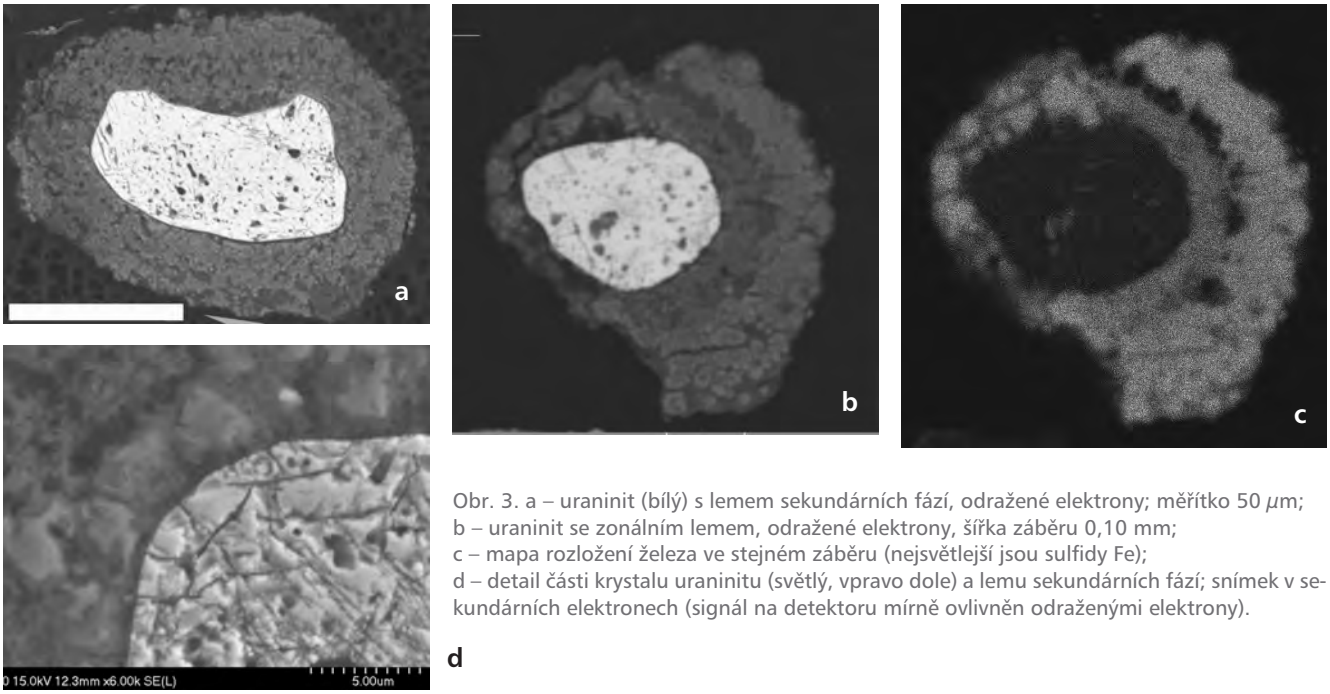
autolokalizace a čísla vzorků viz Žáček a Páša (2006); měřeno ve firmě Georadis, Brno; Th a U v ppm, K v hmot. %



Obr. 2. Allanit v odražených elektronech, vzorek M 6. Šířka záběru 50 μm.

ke které nepochybně došlo, sice mohla způsobit ztrátu olova, ale částečná ztráta Pb by pravděpodobně zanechala větší rozpětí stáří, pokud by původní stáří uraninitu skutečně bylo blízké okolnímu granitu, tzn. aspoň 310 Ma (viz Breiter – Sulovský 2005). Úplná ztráta původního olova je také nepravděpodobná, protože to by v podstatě znamenalo kompletní rekrystalizaci.

Polovina zrn uraninitu se nachází uvnitř útvaru se zjevným koncentrickým uspořádáním. V blízkosti uraninitu (ca do 20–40 μm) se nevyskytují nejběžnější horninotvorné minerály – živce, křemen a muskovit. Lze pozorovat pouze biotit, do 20 μm od uraninitu rozložený, jinak z primárních minerálů jen akcesorie – zirkon, apatit, monazit; sporný je původ TiO_2. Převažují sekundární fáze: sulfidy Fe, hydroxidy (+ oxidy?) Fe, hydratovaný SiO_2, zřídka kalcit, které patrně vytvářejí velmi jemné směsi (podrobnosti viz Procházka 2010, Procházka et al. v tisku). Směsí zřejmě je i pravděpodobná pseudomorfóza po biotitu se štěpnými trhlinami; od

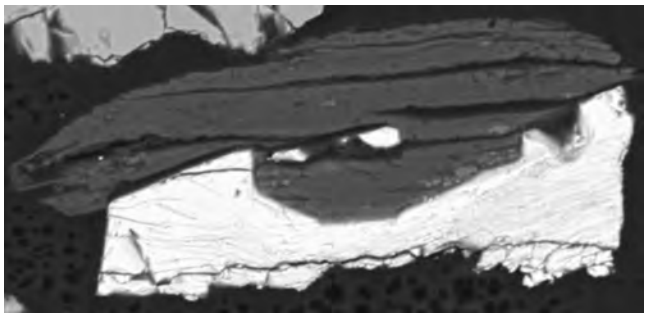


Obr. 3. a – uraninit (bílý) s lemem sekundárních fází, odražené elektrony; měřítko 50 μm;
b – uraninit se zonálním lemem, odražené elektrony, šířka záběru 0,10 mm;
c – mapa rozložení železa ve stejném záběru (nejsvětlejší jsou sulfidy Fe);
d – detail části krystalu uraninitu (světlý, vpravo dole) a lemu sekundárních fází; snímek v sekundárních elektronech (signál na detektoru mírně ovlivněn odraženými elektrony).

běžných produktů alterace biotitu (viz Procházka et al. 2010) i jejich hypotetické extrémně jemné směsi se liší hlavně vysokým SiO_2 (a dále stabilním výskytem příměsi Ca a většinou i S a P, snad i Cl). Tato pseudomorfóza byla vybrána pro identifikaci na TEM. Způsob odběru preparátu z nábrusu sice zcela nezaručuje, že byl skutečně analyzován vybraný objekt, nicméně z jedenácti analyzovaných bodů by mu mohlo patřit až osm: jde o fázi SiO_2 s příměsí Mg, neurčený polytyp kaolinitu (nebo halloysit?) v asociaci s TiO_2 (obr. 5), dále biotit, muskovit a chlorit. Většina těchto minerálů by se do koncentrátu těžšího než metylenjodid (3,3 g/cm^3) těžko mohla dostat jinak než ve srůstech s těžšími minerály.

Vznik těchto lemů obklopujících uraninit nepochybně souvisí s jeho radioaktivitou. Alterace primárních minerálů (včetně křemene) na jemnozrnné směsi, tvořené převážně snad metahalloysitem a hydroxidy (oxidy?) Fe, v prostoru silně ozářeném částicemi α a štěpnými troskami jsou běžné i v okolí monazitu přinejmenším v granitech severní části moldanubického plutonu i okolních pararulách (viz Procházka 2010, Procházka et al. v tisku). Také horninotvorný uraninit v některých krušnohorských granitech vytváří podobné lemy, ale nikdy ne v křemeni (Förster 1999). Zdá se, že na rozsáhlém území moldanubika byly neobvykle příznivé podmínky pro významné uplatnění radiochemických procesů při interakci krystalů s fluidy, a to z příčin zatím ne zcela objasněných.

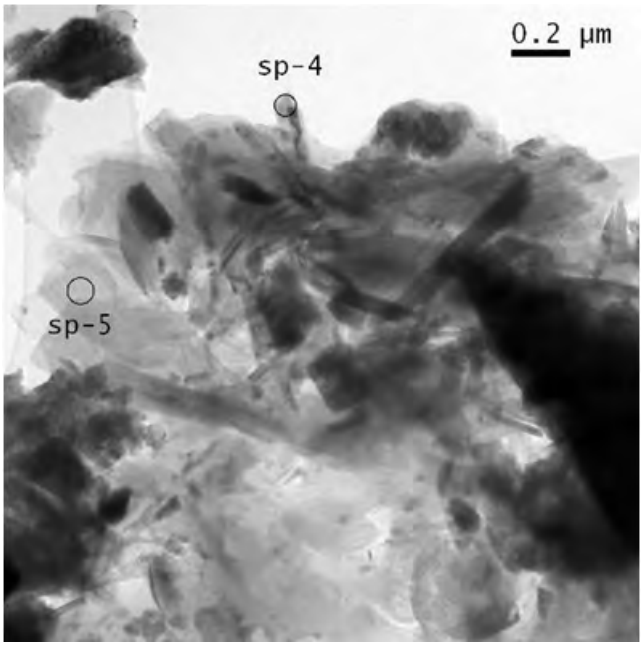
Méně byly zatím prozkoumány nábrusy z koncentrátů z eluvií. I když se v koncentrátech vyskytují různé kontaminace včetně antropogenních (např. struska), některé zajímavé objekty zřejmě kontaminací nejsou. Jde i o **wolframit** (určen na mikrosondě), nalezený v oblasti kontaktu koutského granitu s pararulami, kde byly také zjištěny vysoké obsahy W ve vzorcích hornin (Žáček – Páša 2006).



Obr. 4. Uraninit (světlý) a pravděpodobná pseudomorfóza po biotitu v nábrusu koncentrátu ze vzorku M 6, snímek v odražených elektronech, šířka záběru 0,14 mm.

Gamaspektrometrie

Gamaspektrometrií byl měřen obsah radioaktivitních prvků ve šlichových koncentrátech z eluvií, přičemž byla vždy spojena stejná frakce z několika sousedních vzorků téže horniny (za účelem redukce počtu analýz, ale někdy to vyžadoval i malý objem vzorků). Výsledky obsahuje tab. 3. Nejvíce Th je podle očekávání v magnetické frakci šlichů z lipnického granitu díky monazitu. Při srovnávání různých hornin je třeba zohlednit také značně rozdílné objemy magnetických frakcí šlichů získané ze srovnatelného množství eluvia, které klesají od pararul a lipnického granitu přes koutský granit k melechovskému (a stvořidelskému). Koncentrace U jsou mnohem vyrovnanější, kromě monazitu se na nich podílí i apatit a pravděpodobně i vazba uranu v zatím neurčené formě na limonit (zvláště v eluviích melechovského granitu). Obsah draslíku v koncentrátu někdy dosahuje až téměř poloviny obsahu K v čerstvém biotitu. Je zřejmé, že do různé



Obr. 5. Fáze $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (?.nH_2O) (sp-5) a TiO_2 (sp-4), snímek technikou světlého pole na transmisním elektronovém mikroskopu v Ústavu anorganické chemie AV ČR, v. v. i., v Řeži (značné rozdíly v jasnosti jednotlivých zrnek mohou být způsobeny také jejich různou orientací).

míry rozložený biotit tvoří většinu objemu některých koncentrátů.

Poděkování. Část prací byla podpořena Správou úložišť radioaktivních odpadů (objednávka č. 087/2009) a z Výzkumného záměru MSM 0021620855. Děkujeme též SÚRAO za vstřícnost při využití archivovaných informací.

Literatura

BREITER, K. – HRUBEŠ, M. – MLČOCH, B. – ŠTĚPÁNEK, P. – TÁBORSKÝ, Z. (2001): Výsledky nových geologicko-petrologických studií v oblasti melechovského masivu. Dílčí zpráva projektu SÚRAO. In: PROCHÁZKA, J.: Geologický výzkum testovací lokality Melechovský masiv. – Čes. geol. služba, Praha.

BREITER, K. – SULOVSKÝ, P. (2005): Stáří granitů melechovského masivu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2004, 16–17.

FÖRSTER, H. J. (1999): The chemical composition of uraninite in Variscan granites of the Erzgebirge, Germany. – Mineral. Mag. 63/2, 239–252.

PROCHÁZKA, V. (2010): Výzkum účinku radioaktivních minerálů na okolí v některých granitoidech a pararulách moldanubické oblasti. – ÚSK VŠCHT, Praha, 33 s. (zpráva pro SÚRAO).

PROCHÁZKA, J. – BARNET, I. – BREITER, K. – COUBAL, M. – DRÁBEK, M. – FOTTOVÁ, D. – KONOPÁSEK, J. – KŘÍŽ, J. – MAJER, V. – MIKŠOVÁ, J. – MLČOCH, B. – SCHULMANN, K. – ŠEBESTA, J. – ŠTÍPSKÁ, P. – TÁBORSKÁ, Š. – VENERA, Z. – ZELINKA, Z. (1998): Geologický výzkum testovací lokality „Melechovský masiv“. – MS Čes. geol. služba – Geofond, Praha. P 93387.

PROCHÁZKA, V. – MATĚJKA, D. (2006): Rock-forming accessory minerals in the granites of Melechov massif. – Acta Univ. Carol., Geol. 48 (2004), 71–79.

PROCHÁZKA, V. – SEYDOUX-GUILLAME, A. M. – TROJEK, T. – GOLIÁŠ, V. – KORBELOVÁ, Z. – MATĚJKA, D. – NOVOTNÁ, P. (v tisku): Alteration halos around radioactive minerals in plutonic and metamorphic rocks of northern Moldanubian area, Bohemian Massif. – Eur. J. Mineral. 23/4.

PROCHÁZKA, V. – UHER, P. – MATĚJKA, D. (2010): Zn-rich ilmenite and pseudorutile: subsolidus products in peraluminous granites of the Melechov Massif, Moldanubian Batholith, Czech Republic. – Neu Jb. Mineral., Abh. 187, 249–263.

ŽÁČEK, M. – PÁŠA, J. (2006): Detailní geochemický výzkum. Dílčí zpráva projektu SÚRAO „Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa.“ – MS GEOMIN, Jihlava.