

Vybrané supergenní minerály uranu z tachovské rudní oblasti (Česká republika)

Selected supergene uranium minerals from the Tachov ore area (Czech Republic)

Jiří SEJKORA¹⁾ A IVAN VAVŘÍN²⁾

¹⁾Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice; e-mail jiri_sejkora@nm.cz

²⁾Na mokřině 39, 130 00, Praha 3

SEJKORA J., VAVŘÍN I. (2013): Vybrané supergenní minerály uranu z tachovské rudní oblasti (Česká republika). *Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 1, 123-130. ISSN 1211-0329.*

Abstract

The occurrence of three uranyl minerals (uranophane-beta, metauranocircite, metatorbernite) was found at the Tachov ore area (western Bohemia, Czech Republic). Uranophane-beta was determined at abandoned uranium deposit Vítkov II. It forms dark to orange yellow crystalline aggregates up to 1 × 3 cm in size and rare idiomorphic prismatic crystals up to 3 mm in length. It is monoclinic, space group $P2_1/a$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: a 13.960(1), b 15.468(1), c 6.6318(8) Å, β 91.41(1)° and V 1431.6(2) Å³. Chemical analyses of uranophane-beta correspond to the empirical formula $(Ca_{1.00}Co_{0.01}Ni_{0.01})_{\Sigma 1.02}(UO_2)_{2.00}(SiO_3OH)_{2.00} \cdot 5H_2O$. Metauranocircite and metatorbernite was found at material from small open pit at Ostrov near Tachov. Metauranocircite forms yellow crystalline coatings up to 2 × 3 cm in size on quartz gangue or older metatorbernite composed by tabular crystals up to 2 mm in size. It is monoclinic, space group $P2_1/a$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: a 9.783(2), b 9.885(2), c 16.878(2) Å, γ 89.93° and V 1632.3(4) Å³. Chemical analyses of metatorbernite correspond to the empirical formula $(Ba_{1.04}Ca_{0.02}Co_{0.01}Ni_{0.01})_{\Sigma 1.08}(UO_2)_{2.04}[(PO_4)_{1.99}(AsO_4)_{0.01}]_{\Sigma 2.00} \cdot 6H_2O$. Metatorbernite occurs as green crystalline coatings up to 2 × 2 cm in size on quartz gangue composed by tabular crystals up to 3 mm in size. It is tetragonal, space group $P4/n$, the unit-cell parameters refined from X-ray powder diffraction data are: a 6.9702(9), c 17.329(2) Å and V 841.8(2) Å³. Chemical analyses of metatorbernite correspond to the empirical formula $(Cu_{0.77}Co_{0.01})_{\Sigma 0.78}(UO_2)_{2.03}[(PO_4)_{1.84}(AsO_4)_{0.16}]_{\Sigma 2.00} \cdot 8H_2O$. The origin of studied mineral association is interpreted as product of *in-situ* supergene alteration of primary uranium mineralization in environment under the present surface.

Key words: *uranocircite, uranophane-beta, metatorbernite, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, the Vítkov II uranium deposit, the Ostrov near Tachov occurrence, Czech Republic.*

Obdrženo: 7. 5. 2014; přijato: 30. 6. 2014

Úvod

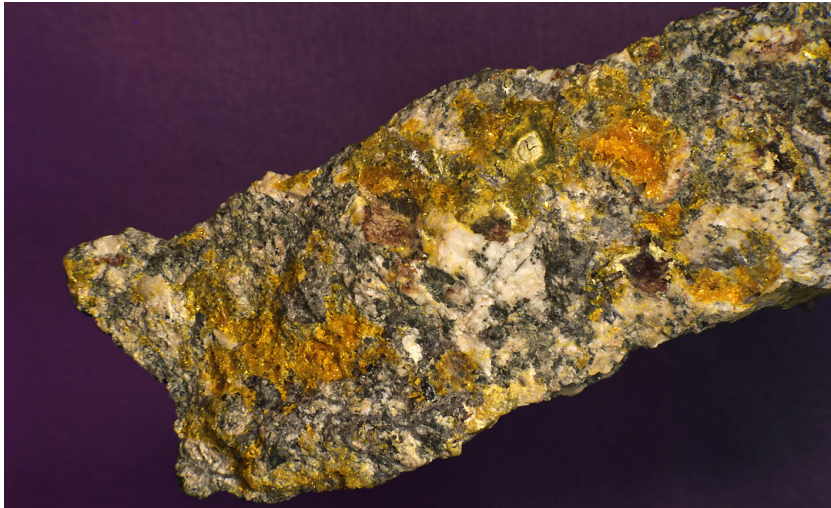
V rámci systematického mineralogického výzkumu významných českých lokalit a ložisek dokumentovaných ve sbírkách Národního muzea a přípravy rukopisu monografie „Uranové minerály a jejich nejvýznamnější naleziště v České republice“ byly mimo jiné podrobně revidovány vzorky recentně získané do sbírek NM od druhého z autorů pod označením „uranofán“ Vítkov II a „autunite“ Ostrov u Tachova. Výsledek podrobného laboratorního výzkumu těchto vzorků, který přinesl nové informace o supergenních minerálech uranu tachovské rudní oblasti je obsahem tohoto příspěvku.

Geologická situace

Uranová ložiska a rudní výskyty v okolí Tachova jsou součástí západočeské rudní oblasti (Arapov et al. 1984, Pauliš et al. 2007). Uranová mineralizace je zde obvykle vázána na rozsáhlé tektonické zóny vyvinuté jak v horninách pestré série moldanubika v okolí borského masívu, tak i přímo v granitoidech tohoto masívu (zejména ložisko Vítkov II). Převažujícím typem je vtroušená a prožilkově vtroušená metasomatická mineralizace, zatímco žilně zrudnění je zřetelně vzácnější (Arapov et al. 1984).

Supergenní uranová mineralizace je v tachovské rudní oblasti vyvinuta na řadě lokalit a až na specifický případ ložiska Vítkov II (viz dále) je vázána na přípovrchové části zrudnění a popisována jen jako výskyty „uranových slíď“. Mineralogické zpracování těchto výskytů, vzhledem k nedostupnosti materiálu pro laboratorní studium, zatím chybí. V rámci této práce byly podrobně studovány vzorky silikátu uranu z ložiska Vítkov II a fosfátů uranu z lokality Ostrov u Tachova.

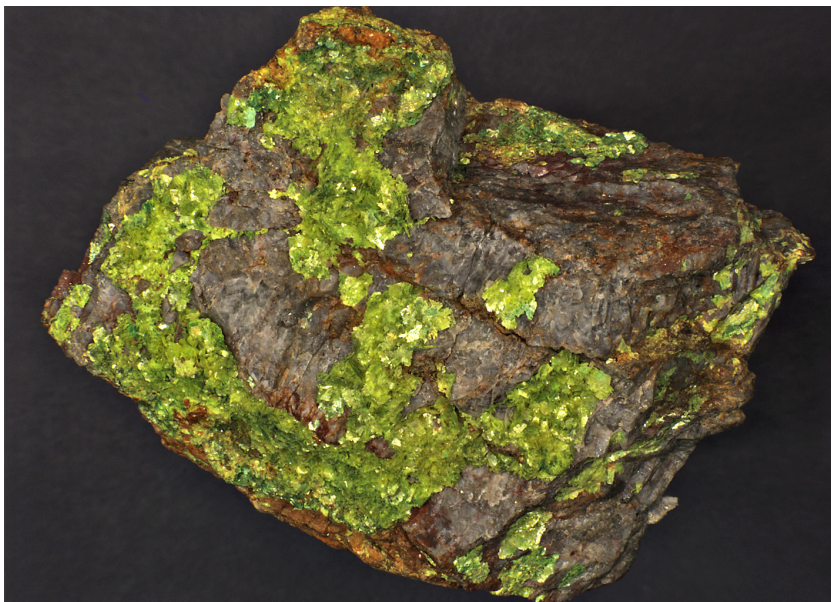
Uranové ložisko Vítkov II nacházející se 3 km sv. od Tachova bylo nalezeno v roce 1954; významnější průzkum zde byl zahájen v roce 1960 a od roku 1961 zde probíhala těžba uranových rud, která byla ukončena v roce 1988; v roce 1990 byl pak následně důl zlikvidován. Povrchové partie centrálního rudního sloupu byly do hloubky 20 m vytěženy povrchových lomem, v rámci průzkumu a těžby bylo ložisko báňsky otevřeno 2 jámami a 2 průzkumnými šachticemi s celkovou hloubkou 1757 m, které byly lokalizovány cca 500 m vjv. od obce Vítkov. Na ložisku bylo vyraženo celkem 43.3 km komínů a 83 km horizontálních důlních děl, vytěženo zde bylo přes 3.2 mil. t rudniny s průměrným obsahem 0.124 % U (3973 t U). Hlavní jáma Vítkov II, hluboká 720 m (15 pater), je dnes zatopena, ostatní jsou zasypány (Kolektiv 2003).



Obr. 1 Tmavě až oranžově žluté krystalické povlaky uranofánu-beta na trhlině pofyrického granitoidu, Vítkov II. Šířka obrázku 10 cm, foto J. Sejkora.



Obr. 2 Tmavě až oranžově žluté prizmatické krystaly uranofánu-beta, Vítkov II. Šířka obrázku 3 mm, foto J. Sejkora.



Ložisko Vítkov II je vyvinuto v granitoidech střední části borského masívu, cca 2 - 3 km od jeho západního kontaktu s metamorfity tachovského krystalinika. Granitoidy jsou reprezentovány dvěma základními skupinami; staršími magmatity dioritového a granodioritového složení a mladším porfyrickým hrubozrnným granitem s žilnými granitoidy; nejmladší jsou žilné lamprofyry. Hrubozrnné žuly, které budují ložiskový úsek, jsou variského stáří (334 mil. let). V oblasti ložiska se nacházejí i dvě mocné kry těles xenolitů metamorfovaných hornin, tvořené biotitickými a biotit-amfibolickými pararulami a amfibolity. Ložisko je vyvinuto v pásmu západočeského hlubinného zlomu, na západě je omezeno mocnou dislokační zónou sj. směru (O-12), která je interpretována jako centrální část českého křemenného valu. Má úklon 55 - 75° k V a mocnost od několika málo metrů do desítek metrů. Je vyplněna drcenými a alterovanými okolními horninami, jílovými minerály, křemenem a výjimečně i uranovými minerály. Východní zóna (O-30) má v severní a v centrální části ložiska směr 0 - 10°, směrem na jih se stáčí do směru SSV - JJZ. Výplň je z velké části tvořena intenzivně podrcenými alterovanými horninami, jílovými minerály, ojediněle křemenem a karbonáty, místy jsou v těsném okolí i bohaté akumulace uranové mineralizace. V rozmezí těchto dvou hlavních submeridiálních, navzájem protiklonných zón, je lokalizována celá řada zpeřených dislokací směru SZ - JV až SSZ - JJV s úklonem převážně k JZ, v jejichž okolí jsou lokalizována průmyslová tělesa uranových akumulací. Skupiny čočkovitých rudních těles jsou seskupeny do několika rudních sloupů (severovýchodní, centrální a jižní), uspořádaných podél sz. tektonických zón (Pauliš et al. 2007).

Hydrotermální mineralizace ložiska byla vyvinuta v několika etapách - od nejstarší chlorit-sericitické přes uranonosnou (coffinit, uraninit, brannerit, selenidy), křemen-hematitovou (vtroušeniny a žíly s výplní křemene, hematitu, zřídka s čočkami redeponovaného uraninitu I) až po nejmladší

Obr. 3 Žlutozelené krystalické povlaky metauranocircitu částečně obrůstající starší zelený metatorbernit na trhlině křemenné žiloviny, Ostrov u Tachova. Šířka obrázku 10 cm, foto J. Sejkora.

Tabulka 1 Rentgenová prášková data uranofánu-beta z Vítkova II

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	2	0	7.734	100.0	7.734	4	3	-1	2.669	0.3	2.669	6	1	-2	1.9151	0.9	1.9117
1	2	0	6.763	0.3	6.765	2	5	-1	2.611	0.2	2.611	6	1	2	1.8686	0.3	1.8686
0	0	1	6.631	0.5	6.630	4	4	0	2.591	0.9	2.590	0	8	1	1.8562	0.8	1.8562
0	1	1	6.091	0.5	6.094	0	6	0	2.578	8.6	2.578	2	4	3	1.8383	0.7	1.8400
0	2	1	5.033	0.7	5.034	0	6	1	2.4030	0.4	2.4028	6	3	-2	1.8033	0.2	1.8046
2	0	-1	4.866	0.3	4.867	2	4	-2	2.3812	0.2	2.3817	2	8	-1	1.7969	0.6	1.7969
2	1	-1	4.646	0.5	4.642	2	4	2	2.3534	0.2	2.3535	6	5	1	1.7819	0.1	1.7810
2	1	1	4.538	0.4	4.539	2	6	-1	2.2781	0.3	2.2781	4	3	-3	1.7721	0.1	1.7729
2	2	-1	4.119	0.3	4.119	6	0	-1	2.2119	0.3	2.2119	6	3	2	1.7684	0.1	1.7682
0	3	1	4.069	0.4	4.070	4	5	-1	2.1965	0.1	2.1966	8	1	0	1.7336	0.6	1.7335
0	4	0	3.867	45.2	3.867	0	1	3	2.1880	0.4	2.1877	6	4	2	1.6914	0.5	1.6925
1	4	0	3.726	1.3	3.727	6	1	1	2.1570	0.3	2.1569	6	6	-1	1.6786	0.2	1.6787
2	3	-1	3.538	0.4	3.539	2	5	2	2.1410	0.2	2.1410	1	6	-3	1.6698	0.1	1.6696
4	0	0	3.490	1.5	3.489	6	2	-1	2.1245	0.8	2.1267	0	0	4	1.6593	0.1	1.6575
4	1	0	3.404	0.7	3.404	5	5	0	2.0734	1.0	2.0724	8	3	0	1.6527	0.2	1.6525
0	4	1	3.340	1.5	3.340	2	2	-3	2.0464	0.1	2.0463	4	8	1	1.6345	0.1	1.6341
4	2	0	3.181	1.7	3.180	0	3	3	2.0315	0.1	2.0312	2	8	-2	1.6290	0.2	1.6289
4	1	-1	3.058	0.2	3.058	2	2	3	2.0189	0.1	2.0195	0	2	4	1.6205	0.2	1.6207
2	0	-2	3.021	0.6	3.023	6	3	1	2.0067	0.2	2.0065	2	8	2	1.6205	0.2	1.6198
2	0	2	2.966	0.3	2.966	2	7	1	2.0033	0.4	2.0034	6	1	-3	1.6126	0.1	1.6133
4	3	0	2.889	0.4	2.890	4	6	1	1.9706	0.2	1.9707	6	7	1	1.5509	0.1	1.5512
4	2	1	2.843	0.2	2.843	2	6	-2	1.9616	0.4	1.9616	0	10	0	1.5468	0.6	1.5468
2	2	-2	2.816	0.9	2.816	2	6	2	1.9455	0.4	1.9458	6	6	-2	1.5429	0.4	1.5432
0	5	1	2.803	0.2	2.803	0	8	0	1.9334	4.6	1.9335	8	5	0	1.5197	0.1	1.5196
2	2	2	2.769	0.4	2.769	6	4	-1	1.9205	0.2	1.9200	1	10	1	1.4968	0.4	1.4968

Tabulka 2 Parametry základní cely uranofánu-beta (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/a$)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	β [°]	<i>V</i> [Å ³]
Vítkov II	tato práce	13.960(1)	15.468(1)	6.6318(8)	91.41(1)	1431.6(2)
JZ Afrika	Viswanathan, Harneit (1986)	13.966(2)	15.443(4)	6.632(1)	91.38(2)	1430.2(4)
Zabajkalí	Barinova et al. (2003)	13.947	15.465	6.626	91.399	1428.73
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	14.07(2)	15.46(2)	6.638(8)	91.355(9)	1444

karbonátovou (žíly kalcitu s vtroušeninami pyritu a dalších sulfidů, zřídka s redeponovaným uraninitem). Hlavním uranovým minerálem na ložisku je regenerovaný uraninit, méně jsou zastoupeny coffinit a brannerit. Stáří uranového zrudnění bylo stanoveno na 132 - 162 mil. let (uraninit) a 68 - 88 mil. let (coffinit) (Arapov et al. 1984).

Charakteristickou zvláštností ložiska jsou polohy s hydroxidy uranu (becquerelit a curit), uranofánu, fosfuranilitu a autunitu, které jsou vyvinuty podél rudonosných zón do hloubek 500 - 700 m (Arapov et al. 1984). *Urgit* (též *urhyt*), který z ložiska uvádějí např. Ordyneec et al. (1987), je neplatné označení pro *gumit* s hlavní složkou představenou uranofánem. Ten zde tvoří pseudomorfozy po krystalech coffinitu (Pauliš et al. 2007). Pauliš et al. (2007) také zmiňuje bez bližších dat na základě určení Zdeňka Mrázka výskyt až 4 mm velkých krystalů uranofánu-beta na puklině hrubozrnných silně alterových granitů z dobvyky V2-D20-1300.

Výskyty uranové mineralizace v okolí obce Ostrov (cca 8 km jv. od Tachova) byly nalezeny automobilovým gama průzkumem v letech 1953 - 1956, relativně rozsáhlý průzkum zde byl realizován v šedesátých letech 20. století, vyraženy byly 4 jámy do hloubky 100 - 150 m

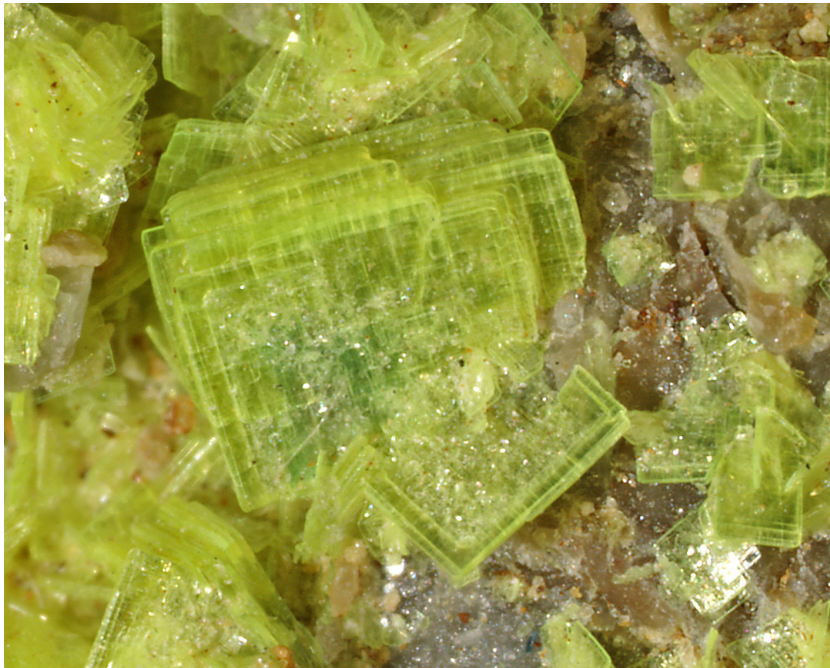
Tabulka 3 Chemické složení uranofánu-beta z Vítkova II (hm. %)

	mean	1	2	3
CaO	6.79	6.75	6.95	6.69
CoO	0.12	0.00	0.00	0.37
NiO	0.10	0.21	0.00	0.10
SiO ₂	14.61	14.57	14.83	14.44
UO ₃	69.37	69.15	68.88	70.08
H ₂ O*	13.14	13.10	13.34	12.99
total	104.14	103.78	103.99	104.66
Ca	0.997	0.993	1.004	0.992
Co	0.014	0.000	0.000	0.041
Ni	0.011	0.023	0.000	0.011
Si	2.000	2.000	2.000	2.000
U	1.995	1.995	1.952	2.040
H	12.000	11.999	12.004	12.005

H₂O* - dopočtený obsah na základě ideálního vzorce uranofánu-beta Ca(UO₂)₂(SiO₃OH)₂·5H₂O; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi Si = 2 *apfu*.

a celá řada průzkumných šurfů (Pauliš et al. 2007). Uranová mineralizace je zde vázána na poruchy sz.-jv. směru v centrálním bloku borského masívu, jejichž výplň tvoří mylonitizované okolní horniny, křemen a karbonáty. Uranové zrudnění bylo při povrchu reprezentováno „uranovými slídkami“ (pravděpodobně torbernit), ve větších hloubkách byly v karbonátové žilovině zjištěny drobné čocky a žilky uraninitu milimetrových rozměrů v asociaci s pyritem, chalkopyritem a vzácným fluoritem (Habásko 1977; Pauliš et al. 2007). V blízkosti Ostrova u Tachova je lokalizován i rudní výskyt Hlinné (7 km jv. od Tachova), který byl v minulosti také označován jako Ostrov u Tacho-

va. Uranová mineralizace zde byla vyvinuta na několika tektonických poruchách sz. až ssz. směru o mocnosti do 2 m. Uranová mineralizace (uraninit, coffinit, brannerit a leukoxenitizovaný rutil) zde tvoří impregnace a drobná hnízda v granitoidech (metasomatický typ) nebo agregáty na kontaktu granitoidů a rul až amfibolitů (žilný typ) (Litochleb et al. 1987; Pauliš et al. 2007). Pojmenovávání jednotlivých rudních výskytů v okolí Ostrova u Tachova (Ostrov, Hlinné, Lhota) komplikuje fakt, že v průzkumné dokumentaci jsou všechny tyto lokality uváděny jako úseky Bor I (střed), II (sever), III (jih) nebo IV.



Obr. 4 Tabulkovité krystaly žlutozeleného metauranocircitu v centru s relikty zeleného metatorbernitu, Ostrov u Tachova. Šířka obrázku 3 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 5 Tabulkovité krystaly žlutozeleného metauranocircitu, Ostrov u Tachova. Šířka obrázku 3 mm, foto J. Sejkora.

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ1500 s digitální kamerou DXM1200F (Národní muzeum, Praha); tento mikroskop byl použit i pro detailní separaci monominerálních fází pro další podrobný výzkum a pořízení fotografické dokumentace.

Rentgenová difrakční data byla získána pomocí práškového difraktometru Bruker D8 Advance (Národní muzeum, Praha) s polovodičovým pozičně citlivým detektorem LynxEye za užití CuK α záření (40 kV, 40 mA). Práškové preparáty byly nanášeny v acetonové suspenzi na nosič zhotovený z monokrystalu křemíku a následně pak byla pořízena difrakční data ve step-scanning režimu (krok 0.01°, načítací čas 8 s/krok detektoru, celkový čas experimentu cca 15 hod.). Získaná data byla vyhodnocena pomocí softwaru ZDS pro DOS (Ondruš 1993) za použití profilové funkce Pearson VII. Zjištěná rentgenová prášková data byla indexována na základě teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturních dat, parametry základních cel pak byly zpřesněny pomocí programu Burnhama (1962).

Chemické složení zjištěných minerálních fází bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora, R. Škoda), vlnové disperzní analýza, za podmínek: napětí 15 kV, proud 2 nA, průměr svazku 10 - 15 μ m, standardy a použité vlnové délky: baryt (BaL β), albit (NaK α), sanidin (AlK α , SiK α , KK α), spessartin (MnK α), Mg $_2$ SiO $_4$ (MgK α), fluorapatit (PK α , CaK α), almadin (FeK α), gahnit (ZnK α), lammerit (CuL α , AsL α), vanadinit (PbM α), uranofán (UM α), Co (CoK α), Ni $_2$ SiO $_4$ (NiK α), ScVO $_4$ (VK α) a SrSO $_4$ (SK α). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabul-

kách, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985). Sumy chemických analýz jsou ovlivněny nedokonalým povrchem nábrusu a pravděpodobnou částečnou dehydratací studovaných minerálních fází ve vakuu elektronového mikroanalýzátoru.

Charakteristika studovaných vzorků

Studované vzorky byly nalezeny během průzkumných a těžebních prací začátkem 60. let 20. století. Vzorek s původním označením „uranofán“ pochází z dobývky 0-20-1300 (4. mezilenta) na ložisku Vítkov II; vzorek s původním označením „autunit“ je lokalizován jako „karier“ (povrchová dobývka, lom) u Ostrova u Tachova.

Uranofán-beta (Vítkov II)

Uranofán-beta vytváří na puklinách nepříliš alterovaného zřetelně porfyrického granitoidu tmavě až oranžově žluté krystalické agregáty o rozměrech do 1 × 3 cm (obr. 1). Agregáty uranofánu-beta jsou složeny z náhodně nebo vějířovitě uspořádaných protažených krystalů, v dutinách některých agregátů jsou vzácně vyvinuty idiomorfnní prizmatické krystaly o délce do 3 mm (obr. 2). Uranofán-beta je průsvitný (agregáty) až průhledný (krystaly) a vykazuje intenzivní skelný lesk.

Rentgenová prášková data uranofánu-beta (tab. 1) dobře odpovídají publikovaným údajům pro tento minerální druh i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury publikované v práci Viswanathan a Harneit (1986); významné rozdíly pozorované v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány přednostní orientací preparátu vyplývající z dokonalé štěpnosti (*Ok0*) typu. Zpřesněné parametry základní cely jsou v tabulce 2 porovnány s publikovanými údaji pro tento minerální druh.

Chemické složení uranofánu-beta z Vítkova II (tab. 3) dobře odpovídá ideálnímu vzorci tohoto minerálního druhu; jen v kationtu byly vedle dominantního Ca zjištěny nepravidelné minoritní obsahy Co a Ni (do 0.02 - 0.04 *apfu*). Jeho empirický vzorec (průměr 3 bodových analýz) lze na bázi 2 Si *apfu* vyjádřit jako $(\text{Ca}_{1.00}\text{Co}_{0.01}\text{Ni}_{0.01})_{\Sigma 1.02}(\text{UO}_2)_{2.00}(\text{SiO}_3\text{OH})_{2.00}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Metauranocircit a metatorbernit (Ostrov u Tachova)

Studovaný vzorek je představován žilou hradbového světle fialového ametystu o mocnosti do 5 cm procházející silně alterovanou horninou (obr. 3). *Metauranocircit* vytváří jasně žluté krystalické povlaky o ploše do 2 × 3 cm na trhlínách ametystu (obr. 4), tvořené bohatými srůsty průsvitných

tabulkovitých krystalů o velikosti do 2 mm s intenzivním skelným leskem (obr. 5). *Metatorbernit* byl zjištěn jako jasně zelené krystalické povlaky na ploše až 2 × 2 cm na trhlínách ametystové žiloviny tvořené průsvitnými až neprůhlednými tabulkovitými krystaly o velikosti do 3 mm se skelným leskem (obr. 6). Při studiu v optickém mikroskopu (obr. 7) i BSE obraze (obr. 8) bylo zjištěno, že starší metatorbernit je zřetelně zatlačován a obrůstán mladším metauranocircitem.

Rentgenová prášková data *metauranocircitu* z Ostrova (tab. 4) jsou v dobré shodě s publikovanými údaji i teoretickým záznamem vypočteným z krystalové struktury tzv. *metauranocircitu* II $\text{Ba}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Khosrawn-Sazedj 1982); rozdíly v intenzitách jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány výraznou přednostní orientací



Obr. 6 Tabulkovité krystaly zeleného metatorbernitů obrůstáné žlutozeleným metauranocircitem, Ostrov u Tachova. Šířka obrázku 3 mm, foto J. Sejkora.



Obr. 7 Tabulkovité krystaly zeleného metatorbernitů na okrajích přecházející do žlutozeleného metauranocircitu, Ostrov u Tachova. Šířka obrázku 4 mm, foto J. Sejkora.

Tabulka 4 Rentgenová prášková data metauranocircitu z Ostrova u Tachova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	0	2	8.439	100.0	8.439	2	2	4	2.684	0.5	2.684	3	3	4	2.0314	1.2	2.0324
-1	1	1	6.423	0.9	6.426	1	1	6	2.608	9.9	2.608	1	1	8	2.0191	5.0	2.0190
1	1	2	5.365	4.5	5.368	1	3	4	2.510	0.3	2.511	0	2	8	1.9386	2.5	1.9404
0	2	0	4.943	0.6	4.943	3	1	4	2.4965	0.3	2.4972	2	0	8	1.9386	2.5	1.9373
2	0	0	4.888	1.5	4.892	0	2	6	2.4451	0.8	2.4448	2	2	8	1.8042	1.5	1.8040
0	2	2	4.271	0.4	4.265	2	0	6	2.4386	0.4	2.4386	3	3	6	1.7903	0.3	1.7895
0	0	4	4.220	28.9	4.220	0	4	2	2.3727	0.6	2.3718	1	5	4	1.7620	0.3	1.7614
1	1	4	3.607	30.3	3.608	-3	3	2	2.2356	0.3	2.2339	5	1	4	1.7484	0.5	1.7475
2	2	0	3.477	3.5	3.479	2	4	0	2.2060	0.7	2.2068	4	4	0	1.7404	0.6	1.7394
2	2	1	3.403	0.5	3.407	-3	3	3	2.1413	0.1	2.1421	-4	4	1	1.7277	0.2	1.7283
2	2	2	3.213	4.0	3.216	0	0	8	2.1102	33.7	2.1098	0	0	10	1.6883	4.2	1.6878
1	3	2	2.929	1.0	2.930	1	3	6	2.0901	1.5	2.0904	0	2	10	1.5968	4.2	1.5973
-3	1	2	2.906	0.7	2.906	3	1	6	2.0819	1.5	2.0826						

Tabulka 5 Parametry základní cely metauranocircitu (pro monoklinickou prostorovou grupu *P2₁/a*)

		<i>a</i> [Å]	<i>b</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	γ [°]	<i>V</i> [Å ³]
Ostrov u Tachova	tato práce	9.783(2)	9.885(2)	16.878(2)	89.93(1)	1632.3(4)
synt.	Khosrawan-Sazedj (1982)	9.789(3)	9.882(3)	16.868(3)	89.95(2)	1631.7

Tabulka 6 Rentgenová prášková data metatorbernitů z Ostrova u Tachova

<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{obs.}	<i>I</i> _{obs.}	<i>d</i> _{calc.}
0	0	2	8.670	100	8.664	1	0	6	2.669	6	2.668	2	1	6	2.1155	3	2.1186
1	0	2	5.433	7	5.431	1	2	4	2.531	2	2.530	1	2	6	2.1155	3	2.1186
1	1	0	4.929	5	4.929	2	1	4	2.531	2	2.530	1	0	8	2.0696	2	2.0685
0	0	4	4.334	8	4.332	2	2	0	2.4638	1	2.4643	3	0	4	2.0476	2	2.0475
1	1	2	4.284	3	4.284	2	2	2	2.3707	2	2.3703	1	1	8	1.9837	4	1.9830
1	0	4	3.680	24	3.679	1	3	0	2.2045	2	2.2042	2	0	8	1.8395	1	1.8397
2	0	0	3.485	8	3.485	3	1	0	2.2045	2	2.2042	2	3	4	1.7654	1	1.7654
2	0	2	3.234	6	3.233	0	0	8	2.1667	9	2.1661	3	2	4	1.7654	1	1.7654
1	2	2	2.934	2	2.933	3	1	2	2.1367	1	2.1361	0	0	10	1.7325	1	1.7329
2	1	2	2.934	2	2.933	1	3	2	2.1367	1	2.1361	1	1	10	1.6351	2	1.6348

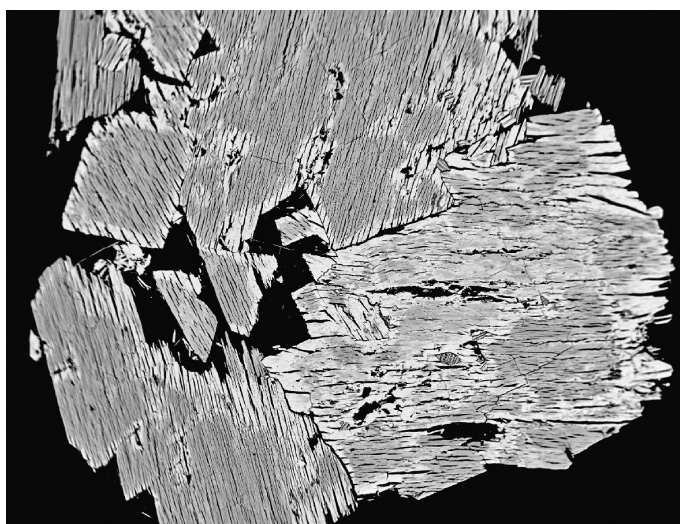
Tabulka 7 Parametry základní cely metatorbernitů (pro tetragonální prostorovou grupu *P4/n*)

		<i>a</i> [Å]	<i>c</i> [Å]	<i>V</i> [Å ³]
Ostrov u Tachova	tato práce	6.9702(9)	17.329(2)	841.8(2)
Předbořice	Vrtiška et al. (2013)	6.9668(1)	17.3240(5)	840.84(4)
synt.	Locock, Burns (2003)	6.9756(5)	17.349(2)	844.2(1)
Medvědín	Plášil et al. (2009)	6.976(2)	17.324(3)	843.1(4)
Krásno	Sejkora et al. (2006)	6.9737(8)	17.3367(8)	843.13
Rýžoviště	Sejkora et al. (1994)	6.9533(8)	17.283(3)	835.6
Horní Halže	Sejkora et al. (2007)	6.9907(8)	17.352(2)	848.1(1)
Příbram	Ondruš, Hyršl (1989)	7.020(1)	17.354(3)	855.2
Horní Slavkov	Plášil et al. (2006)	6.9705(7)	17.3464(8)	842.8
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	6.978(3)	17.37(1)	845.8
Jáchymov	Ondruš et al. (1997)	6.982(1)	17.356(5)	846.1
Schneeberg. SRN	Ross et al. (1964)	6.969(1)	17.306(1)	840.5
Vathi. Řecko	Stergiou et al. (1993)	6.972(1)	17.277(8)	839.8

Tabulka 8 Chemické složení metauranocircitu a metatorbernitů z Ostrova u Tachova (hm. %)

	metauranocircit					metatorbernit				
	mean	1	2	3	4	mean	1	2	3	4
CaO	0.11	0.14	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	16.52	15.75	16.23	16.26	17.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CuO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.63	6.51	7.07	6.05	6.87
CoO	0.06	0.00	0.23	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.17	0.00
NiO	0.08	0.00	0.07	0.24	0.00	0.02	0.08	0.00	0.00	0.00
As ₂ O ₅	0.09	0.07	0.09	0.05	0.16	2.00	2.36	1.80	0.44	3.39
P ₂ O ₅	14.69	14.99	14.34	15.24	14.21	14.15	13.83	13.71	15.95	13.12
UO ₃	60.50	58.90	63.69	58.88	60.53	62.84	63.45	63.92	65.98	58.02
H ₂ O*	11.24	11.45	10.96	11.63	10.90	15.62	15.52	15.04	16.47	15.45
total	103.29	101.30	105.91	102.30	103.63	101.31	101.75	101.59	105.05	96.85
Ca	0.019	0.023	0.053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ba	1.037	0.970	1.044	0.986	1.153	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.769	0.761	0.851	0.666	0.806
Co	0.007	0.000	0.030	0.000	0.000	0.007	0.000	0.008	0.019	0.000
Ni	0.010	0.000	0.010	0.030	0.000	0.002	0.010	0.000	0.000	0.000
Σ Me	1.073	0.993	1.137	1.016	1.153	0.778	0.770	0.859	0.685	0.806
As	0.008	0.006	0.007	0.004	0.014	0.160	0.191	0.150	0.034	0.275
P	1.992	1.994	1.993	1.996	1.986	1.840	1.809	1.850	1.966	1.725
Σ T	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
U	2.035	1.944	2.196	1.914	2.100	2.027	2.061	2.141	2.019	1.893
H ₂ O	6.004	6.002	6.000	6.001	6.003	8.001	8.002	7.998	8.000	8.002

H₂O* - dopočtený obsah na základě ideálních vzorců metauranocircitu Ba(UO₂)₂(PO₄)₂·6H₂O a metatorbernitů Cu(UO₂)₂(PO₄)₂·8H₂O; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi As+P = 2 *apfu*.



Obr. 8 Starší metatorbernit (tmavší) je zatlačován a obrůstán mladším metauranocircitem (světlejší); Ostrov u Tachova; šířka obrázku je 2400 μm, BSE foto J. Sejkora.

(001) typu. Zpřesněné mřížkové parametry jsou v tabulce 5 porovnány s publikovanými hodnotami pro tento minerální druh. Rentgenová prášková data *metatorbernitů* z Ostrova (tab. 6) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury metatorbernitů (Locock, Burns 2003); významné rozdíly pozorované v intenzitě jednotlivých difrakčních maxim jsou vyvolány přednostní orientací preparátu vyplývající z dokonalé štěpnosti (001) typu. Zpřesněné mřížkové parametry jsou v tabulce 7 porovnány s publikovanými hodnotami pro tento minerální druh.

Při studiu chemického složení *metauranocircitů* z Ostrova (tab. 8) byly v kationtu vedle dominantního Ba zjiště-

ny i minoritní obsahy Ca (do 0.05 *apfu*), Co a Ni (do 0.03 *apfu*); přes těsnou asociaci s metatorbernitom neobsahuje metauranocircit ani minimální obsahy Cu. V aniontu je pak jen ve velmi malé míře (do 0.01 *apfu*) P zastupován As. Empirický vzorec metauranocircitu (průměr 4 bodových analýz) je možno na bázi P+As = 2 *apfu* vyjádřit jako (Ba_{1.04}Ca_{0.02}Co_{0.01}Ni_{0.01}Σ1.08)(UO₂)₂[(PO₄)_{1.99}(AsO₄)_{0.01}]_{Σ2.00}·6H₂O.

Pro chemické složení *metatorbernitů* z Ostrova (tab. 8) jsou charakteristické zvýšené obsahy As v aniontu (metazeuneritová komponenta), které dosahují až 0.28 *apfu*; v kationtu byly vedle dominantního Cu zjištěny jen minimální obsahy Co (do 0.02 *apfu*) a Ni (do 0.01 *apfu*).

Přes srůsty s metauranocircitem studovaný metatorbernit neobsahuje ani minimální obsahy Ba; na rozdíl od Ba-bogatého metatorbernitů recentně popsaného z uranového ložiska Předbořice (Vrtiška et al. 2013). Empirický vzorec metatorbernitů (průměr 4 bodových analýz) lze na bázi P+As = 2 apfu vyjádřit jako $(\text{Cu}_{0,77}\text{Co}_{0,01})_{\Sigma 0,78}(\text{UO}_2)_{2,03}[(\text{PO}_4)_{1,84}(\text{AsO}_4)_{0,16}]_{\Sigma 2,00} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$.

Závěr

Vznik popisovaných supergenních minerálů uranu je vázán na *in-situ* zvětrávání primární uranové mineralizace v podmínkách pod zemským povrchem. Na ložisku Vítkov II byl potvrzen výskyt uranofánu-beta, dříve uváděný bez jakýchkoliv experimentálních dat. V materiálu z rudního výskytu Ostrov u Tachova byla zjištěna pozoruhodná asociace Ba a Cu uranylfosfátů - metauranocircitu a metatorbernitů. Přes vzájemné srůsty nebyly zjištěny minoritní obsahy Ba v metatorbernitů ani Cu v metauranocircitu; obě fáze se také zřetelně liší zjištěným rozsahem PAs_1 substituce. Lze tedy předpokládat, že jsou produktem dvou rozdílných fází supergenních procesů.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu R. Škodovi z Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity (Brno) a P. Paulišovi (Kutná Hora) za poskytnutí přehledného souhrnu ložiskově-geologické situace popisovaných lokalit. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2014/02, 00023272) pro JS.

Literatura

- Arapov J. A. a kolektiv (1984) Československá ložiska uranu. *SNTL Praha a ČSUP Příbram*.
- Barinova A. V., Rastsvetaeva R. K., Sidorenko G. A., Verin I. A. (2003) Crystal structure of β -uranophane from the Transbaikalian region and its relation to the structure of the α modification. *Crystallogr. Rep.* 48, 12-15.
- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Habásko J. (1977) Prognózní ocenění ČSSR na uran, I. etapa, oblast č. 11 Borský masív. *MS UP Příbram*.
- Khosrawan-Sazedj F. (1982) The crystal structure of meta-uranocircite II, $\text{Ba}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. *Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 29, 193-204.
- Kolektiv (2003) Rudné a uranové hornictví České republiky. *Anagram, Ostrava*.
- Litochleb J., Novická Z., Šrein V. (1987) Brannerit z ložiska Hlinné u Tachova. In: *Celoštatny mineralogický seminár: Mineralógia uránových a s nimi súvisiacich nerastných surovín*, 72-85. Spišská Nová Ves.
- Locock A. J., Burns, P. C. (2003) Crystal structures and synthesis of the copper - dominant members of the autunite and meta-autunite groups: torbernite, zeunerite, metatorbernite and metazeunerite. *Can. Mineral.* 41, 498-502.
- Ondruš P. (1993) ZDS - A computer program for analysis of X-ray powder diffraction patterns. *Materials Science Forum*, 133-136, 297-300, EPDIC-2. Enchede.
- Ondruš P., Hyršl J. (1989) New finds and revision of secondary minerals from Příbram district. *Acta Univ. Carol. (Praha), Geol.* 521-533.
- Ondruš P., Veselovský F., Hloušek J., Skála R., Vavřín I., Frýda J., Čejka J., Gabašová A. (1997) Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J. Czech geol. Soc.* 42, 3-76.
- Ordynec G. E., Komínek J., Anderson E. B., Milovanov I. A., Nikolskij A. L., Romanidis K. (1987) Stáří uranového zrudnění ložisek západočeské rudní oblasti. *Geol. Hydrometalurg. Uranu*, 11, 24-62.
- Pauliš P., Kopecký S., Černý P. (2007) Uranové minerály České republiky a jejich naleziště. 1. a 2. část, 1-252. Martin Bartoš - Kuttna, Kutná Hora.
- Plášil J., Sejkora J., Čejka J., Škácha P., Goliáš V. (2009) Supergene mineralization of the Medvědíň uranium deposit, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 15-56.
- Plášil J., Sejkora J., Ondruš P., Veselovský F., Beran P., Goliáš V. (2006) Supergene minerals in the Horní Slavkov uranium ore district, Czech Republic. *J. Czech geol. Soc.* 51, 149-158.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. 104-106, San Francisco Press, San Francisco.
- Ross M., Evans H. T., Appleman D. E. (1964) Studies of the torbernite minerals (II): The crystal structure of meta-torbernite. *Am. Mineral.* 49, 1603-1621.
- Sejkora J., Čejka J., Šrein V. (2007) Supergene uranium mineralization from Horní Halže near Mědenec (Krušné hory Mountains), Czech Republic. *J. Geosci.* 52, 119-210.
- Sejkora J., Ondruš P., Fikar M., Veselovský F., Mach Z., Gabašová A., Škoda R., Beran P. (2006) Supergene minerals at the Huber stock and Schnöd stock deposits, Krásno ore district, the Slavkovský les area, Czech Republic. *J. Czech geol. Soc.* 51, 57-101.
- Sejkora J., Veselovský F., Šrein V. (1994) The supergene mineralization of uranium occurrence Rýžoviště near Harrachov (Krkonoše Mts., Czech Republic). *Acta Mus. Nat. Pragae, ser. B (Historia Nat.)* 50, 55-91.
- Stergiou A. C., Rentzeperis P. J., Sklavounos S. (1993) Refinement of the crystal structure of metatorbernite. *Zeit. Krist.* 205, 1-7.
- Viswanathan K., Harneit O. (1986) Refined crystal structure of beta-uranophane $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_5$. *Am. Mineral.* 71, 1489-1493.
- Vrtiška L., Sejkora J., Nováková H., Vašinová Galiová M. (2013) Metatorbernit a lithioforit z uranového ložiska Předbořice. *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 2, 240-248.
- Yvon K., Jeitschko W., Parthé E. (1977) Lazy Pulverix, a computer program for calculation X-ray and neutron diffraction powder patterns. *J. Appl. Cryst.* 10, 73-74.