

Burgessit, nový minerál pro jáchymovský rudní revír (Česká republika)

Burgessite, a new mineral for the Jáchymov ore district (Czech Republic)

JIŘÍ SEJKORA^{1)*} A IVO MACEK^{1,2)}

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

²⁾Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 2, 611 37 Brno

SEJKORA J., MACEK I. (2014): Burgessit, nový minerál pro jáchymovský rudní revír (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha) 22, 2, 221-226. ISSN 1211-0329.*

Abstract

Very rare mineral specie, burgessite $\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2(\text{H}_2\text{O})$, was identified at single historical sample from the Jáchymov ore district, Krušné hory Mountains, Czech Republic. Burgessite occurs as light to purplish red hemispherical aggregates up to 0.8 mm in size formed by elongated prismatic crystals (length to 0.4 mm and diameter of about 10 - 30 μm only). Tiny green thin tabular zeunerite crystals and purple red crusts of amorphous Co-Ni-Cu hydrogen-arsenate phase were found in the association. Burgessite is monoclinic, space group $P2_1/n$, the unit-cell parameters refined from the X-ray powder diffraction data are: a 4.672(1), b 9.281(2), c 12.606(3) Å, β 99.11(2)° and V 539.8(2) Å³. The average chemical composition (mean of 8 point analyses) of burgessite CaO 0.10, FeO 0.29, MgO 0.14, CuO 1.51, CoO 16.03, NiO 13.32, ZnO 0.63, As₂O₅ 47.63, P₂O₅ 0.21, SO₃ 0.72, H₂O_{calc.} 22.96, total 103.54 wt. % corresponds to the empirical formula $(\text{Co}_{1.00}\text{Ni}_{0.84}\text{Cu}_{0.09}\text{Zn}_{0.04}\text{Mg}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Ca}_{0.01})_{\Sigma 2.02}(\text{AsO}_3\text{OH})_{1.94}(\text{SO}_4)_{0.04}(\text{PO}_3\text{OH})_{0.01} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ on the basis of (As+S+P) = 2 *apfu*. The occurrence of Ni-rich burgessite at the Jáchymov ore district is the second locality of this mineral phase worldwide.

Key words: burgessite, powder X-ray diffraction data, unit-cell parameters, chemical composition, the Jáchymov ore district, Czech Republic

Obdrženo: 22. 10. 2014; přijato: 24. 11. 2014

Úvod

Vzácný monoklinický Co-arsenát burgessit s ideálním vzorcem $\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2(\text{H}_2\text{O})$ byl popsán Sejkorou et al. (2009) jako nový minerál z dolu Keeley v South Lorrain Township, Timiskaming district, Ontario (Kanada). Vytváří zde červenavě růžové růžice o průměru do 0.8 mm složené z protažených prizmatických krystalů o délce do 0.1 mm. Jeho krystalová struktura je složena z řetězců $[\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4(\text{As}^{5+}\text{O}_3(\text{OH}))_2]$ ve směru a , které jsou vzájemně vázány vodíkovými vazbami a vykazuje velmi blízký vztah ke struktuře erytrínu (Cooper, Hawthorne 2009). Výsledky spektroskopického studia (infačervená a Raman spektroskopie) burgessitu z původní lokality publikovali Čejka et al. (2011).

Při výzkumu typového a unikátního materiálu uloženého v mineralogické sbírce Národního muzea (Praha) byl mimo jiné studován i vzorek s inventárním číslem P1N 38099 a původním označením „erytrín, Jáchymov“. Výsledky podrobného mineralogického studia tohoto vzorku prokázali přítomnost Ni-bohatého burgessitu a jsou obsahem tohoto příspěvku.

Stručná charakteristika lokality

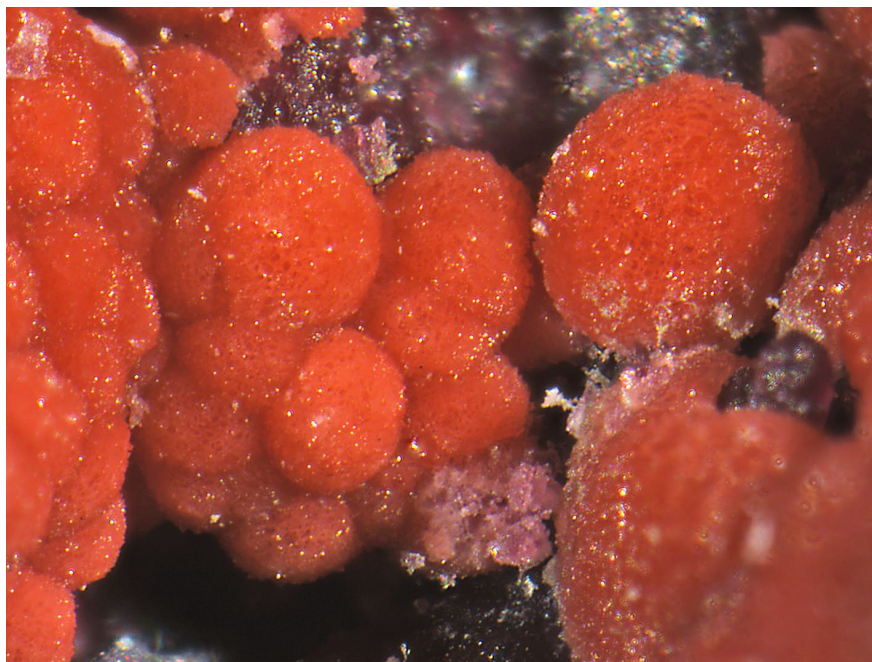
Historicky velmi významný rudní revír Jáchymov v Krušných horách (Česká republika) je klasickým příkladem Ag + As + Co + Ni + Bi + U hydrotermální žilné mineralizace. Rudní žíly jsou zde lokalizovány v komplexu

středně metamorfovaných sedimentárních hornin kambrického až ordovického stáří v kontaktní aureole variských granitoidů. Většina primárních rudních minerálů vznikla z mezotermálních fluid variského stáří (Ondruš et al. 2003a,c).

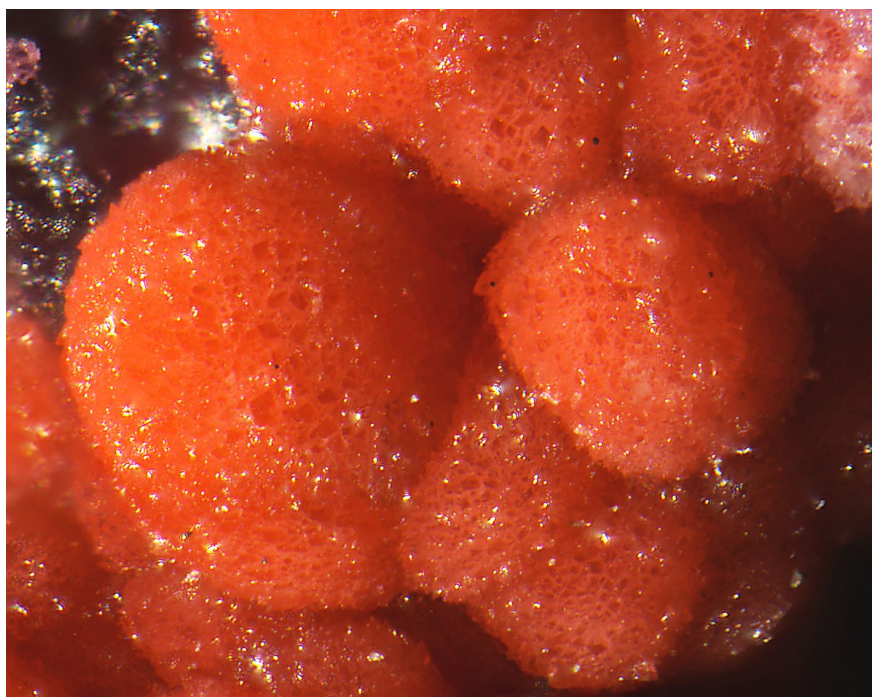
Primární i supergenní mineralizace jáchymovského rudního revíru je vzhledem k jejímu světově unikátnímu charakteru (více než 420 známých druhů) v posledních dvaceti letech velmi intenzívně studována (viz souhrnné práce Ondruše et al. 1997, 2003a,b,c; Hloušek et al. 2014). V poslední době byl výzkum soustředěn zejména na supergenní minerální fáze vznikající sub-recentně v podmínkách opuštěných důlních děl (např. Ondruš et al. 2013; Plášil et al. 2012a,b, 2013a, 2014a,b; Sejkora et al. 2013), ale publikovány byly i práce zaměřené na asociace vznikající v supergenní zóně *in-situ* (Plášil et al. 2009, 2013b; Sejkora et al. 2011, 2012).

Metodika výzkumu

Povrchová morfologie vzorků byla sledována v dopadajícím světle pomocí optického mikroskopu Nikon SMZ25 s digitální kamerou Nikon DS-Ri1 (Národní muzeum, Praha); tento mikroskop byl použit i pro detailní separaci monominerálních fází pro další podrobný výzkum. Detaily povrchové morfologie pak byly studovány v obrazu sekundárních elektronů na elektronovém scanovacím mikroskopu Hitachi S3700-N (Národní muzeum, Praha).



Obr. 1 Polokulovité agregáty burgessitu z Jáchymova se zřetelně krystalickým povrchem narůstající na amorfni červenofialovou fázi; šířka obrázku 3.2 mm. Foto J. Sejkora.



Obr. 2 Krystalický povrch polokulovitých agregátů burgessitu z Jáchymova; šířka obrázku 0.7 mm. Foto J. Sejkora.

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

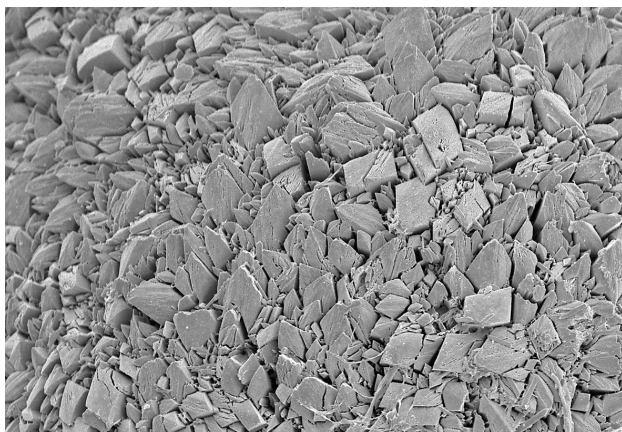
prášková data byla indexována na základě teoretického záznamu vypočteného programem Lazy Pulverix (Yvon et al. 1977) z publikovaných krystalových strukturálních dat burgessitu (Cooper, Hawthorne 2009), parametry základní cely pak byly zpřesněny pomocí programu Burnham (1962). Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Přírodovědecká fakulta, MU Brno, analytik J. Sejkora) za podmínek: vlnové disperzní analýza, napětí 15 kV, proud 4 nA, průměr svazku 15 μ m, standardy a použité vlnové délky: sanidin (AlK α , SiK α , KK α), MgSiO $_4$ (MgK α), fluorapatit (PK α , CaK α), almadin (FeK α), gahnit (ZnK α), lammerit (CuK α , AsL α), vanadinit (ClK α), Co (CoK α), Ni $_2$ SiO $_4$ (NiK α), Sb (SbL β), ScVO $_4$ (VK α) a SrSO $_4$ (SK α). Obsahy měřených prvků, které nejsou uvedeny v tabulkách, byly pod mezí detekce přístroje (cca 0.03 - 0.05 hm. %). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika burgessitu

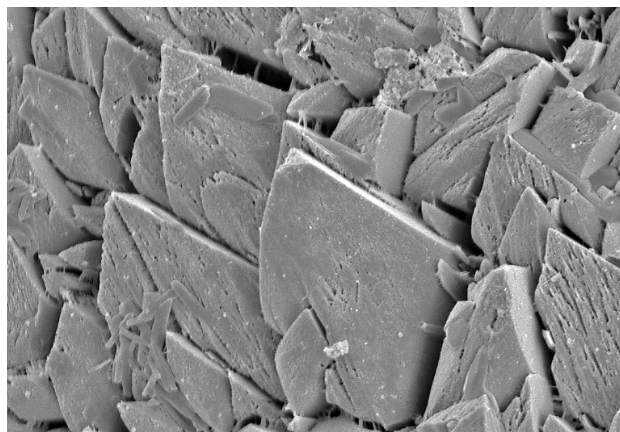
Burgessit byl identifikován na vzorku z mineralogické sbírky Národního muzea evidovaném pod inventárním číslem P1N 38099 s původním označením „erytrín, Jáchymov“. Vzorek o rozměrech cca 7 \times 9 cm pochází z historické sbírky (pravděpodobně 19. století nebo starší), do sbírky Národního muzea byl zařazen v roce 1952. Bližší údaje o lokalizaci nálezů v oblasti jáchymovského rudního revíru bohužel chybí.

Burgessit na vzorku vytváří polokulovité agregáty o velikosti 0.2 - 0.8 mm srůstající do nevelkých skupin (obr. 1) s hladkým až drobně krystalickým povrchem (obr. 2, 3). Agregáty jsou tvořeny radiálně srůstajícími, dlouze

prizmatickými krystaly o délce do 0.4 mm a průměru jen 10 - 30 μ m, na povrchu agregátů je zřejmé jen jejich zakončení (obr. 4). Povrch agregátů burgessitu je světle až nafialověle červený, na lomu jsou agregáty zřetelně světlejší, fialově růžové až načervenalé. Burgessit vykazuje intenzivní skelný lesk, je neprůhledný (agregáty) až průsvitný (drobné úlomky) a minimálně v jednom směru dobře štěpný. V asociaci s burgessitem byly pozorovány hojné kúry amorfni červenofialové fáze (viz dále) a lokálně i skupiny velmi drobných (pod 1 mm) zelených, slabě tabulkovitých krystalů zeuneritu.



Obr. 3 Krystaly na povrchu polokulovitých agregátů burgessitu z Jáchymova; šířka obrázku 300 μm . SEM foto J. Sejkora.



Obr. 4 Zakončení krystalů burgessitu na povrchu polokulovitých agregátů, Jáchymov; šířka obrázku 90 μm . SEM foto J. Sejkora.

Tabulka 1 Chemické složení burgessitu z Jáchymova (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8
CaO	0.10	0.11	0.16	0.10	0.10	0.09	0.05	0.05	0.14
FeO	0.29	0.57	0.55	0.25	0.34	0.05	0.24	0.11	0.25
MgO	0.14	0.14	0.22	0.08	0.19	0.07	0.05	0.18	0.17
CuO	1.51	3.01	2.92	0.84	1.68	0.63	1.43	0.69	0.86
CoO	16.03	16.79	15.68	16.46	16.80	16.40	15.61	15.03	15.44
NiO	13.32	11.55	12.37	13.11	13.82	14.32	13.76	13.29	14.37
ZnO	0.63	1.08	0.75	0.35	0.69	0.41	0.55	0.77	0.46
As ₂ O ₅	47.63	49.87	47.91	46.63	47.69	47.93	47.76	46.00	47.27
P ₂ O ₅	0.21	0.30	0.33	0.12	0.16	0.14	0.00	0.45	0.16
SO ₃	0.72	1.19	1.40	0.51	0.89	0.58	0.41	0.38	0.40
H ₂ O*	22.96	24.35	23.57	22.30	23.06	22.97	22.69	22.19	22.58
total	103.54	108.97	105.85	100.74	105.42	103.59	102.54	99.14	102.09
Ca	0.008	0.008	0.013	0.009	0.008	0.007	0.004	0.005	0.012
Fe	0.019	0.035	0.035	0.017	0.022	0.003	0.016	0.008	0.016
Mg	0.016	0.016	0.025	0.009	0.021	0.009	0.005	0.022	0.020
Cu	0.089	0.167	0.167	0.051	0.099	0.037	0.086	0.042	0.052
Co	1.003	0.989	0.953	1.062	1.046	1.027	0.990	0.975	0.985
Ni	0.836	0.682	0.754	0.848	0.863	0.900	0.876	0.865	0.919
Zn	0.037	0.059	0.042	0.021	0.039	0.024	0.032	0.046	0.027
Σ M	2.008	1.956	1.989	2.017	2.100	2.007	2.009	1.962	2.030
As	1.944	1.916	1.899	1.962	1.937	1.957	1.976	1.946	1.965
P	0.014	0.018	0.021	0.008	0.011	0.009	0.000	0.031	0.011
S	0.042	0.066	0.080	0.030	0.052	0.034	0.024	0.023	0.024
Σ T	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
H	11.956	11.933	11.920	11.968	11.950	11.967	11.976	11.978	11.978

H₂O* - obsah vypočtený na základě ideálního vzorce burgessitu; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi As+P+S = 2 *apfu*.

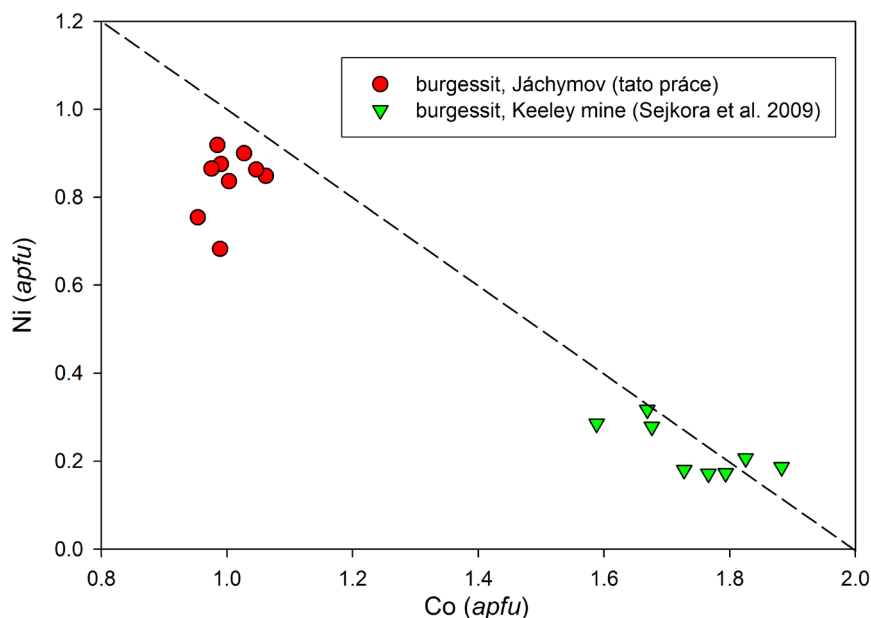
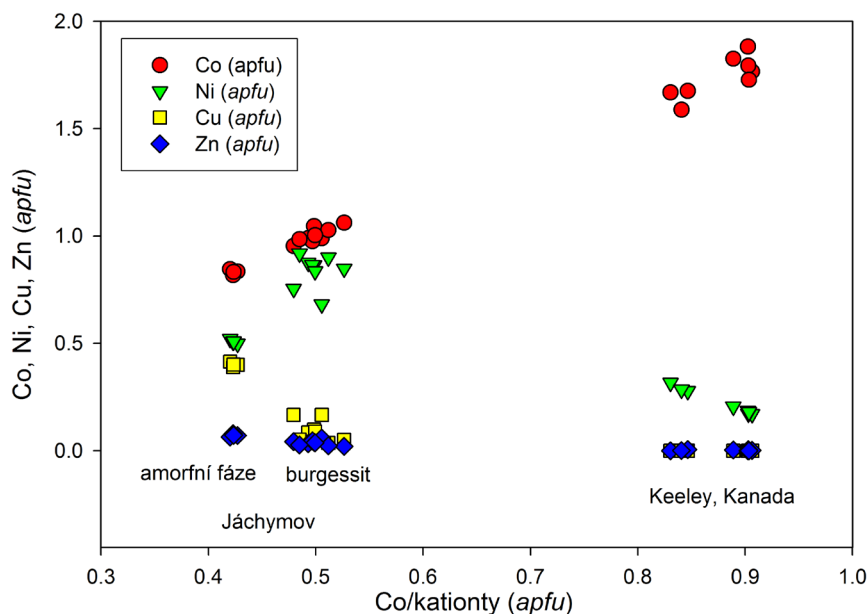
Chemické složení burgessitu

Při studiu chemického složení burgessitu z Jáchymova (tab. 1) byly ve srovnání s původními analýzami tohoto minerálu z Keeley mine (Sejkora et al. 2009) zjištěny výrazně zvýšené obsahy Ni v rozmezí 0.68 - 0.92 *apfu* (obr. 5); tyto údaje se již blíží hodnotám pro hypoteticky možný Ni-dominantní analog burgessitu. Proti burgessitu z typové lokality studovaný vzorek (obr. 6) také vykazuje

zvýšené obsahy Cu (do 0.17 *apfu*) a Zn (do 0.06 *apfu*). V aniontu byly vedle dominantního As zjištěny i minoritní obsahy S (do 0.08 *apfu*) a P (do 0.03 *apfu*). Empirický vzorec burgessitu z Jáchymova (průměr osmi bodových analýz) lze na bázi 2 *apfu* (As+P+S) vyjádřit jako $(\text{Co}_{1.00}\text{Ni}_{0.84}\text{Cu}_{0.09}\text{Zn}_{0.04}\text{Mg}_{0.02}\text{Fe}_{0.02}\text{Ca}_{0.01})_{\Sigma 2.22}(\text{AsO}_3\text{OH})_{1.94}(\text{SO}_4)_{0.04}(\text{PO}_3\text{OH})_{0.01}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Tabulka 2 Rentgenová prášková data burgessitu z Jáchymova

<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	1	1	7.433	100.0	7.441	1	2	-2	3.039	2.3	3.040	0	2	5	2.1926	0.6	2.1938
0	0	2	6.221	21.5	6.224	0	3	1	3.001	4.9	3.002	1	2	4	2.1380	0.6	2.1381
0	1	2	5.166	1.5	5.169	0	1	4	2.952	3.1	2.950	1	3	3	2.1021	0.6	2.1031
1	0	-1	4.568	0.6	4.568	1	0	3	2.866	0.8	2.868	1	4	0	2.0720	0.6	2.0729
0	2	1	4.346	0.7	4.348	0	3	2	2.770	0.8	2.770	0	4	3	2.0251	3.2	2.0252
1	1	0	4.130	1.1	4.131	1	1	3	2.741	1.7	2.740	1	4	1	2.0251	3.2	2.0216
1	0	1	4.120	1.5	4.119	1	2	-3	2.723	1.4	2.722	0	1	6	2.0251	3.2	2.0246
1	1	-1	4.095	0.6	4.098	1	1	-4	2.675	1.2	2.675	2	1	-4	1.9668	0.6	1.9661
0	1	3	3.787	0.8	3.788	0	2	4	2.585	3.0	2.585	1	1	-6	1.9668	0.6	1.9693
0	2	2	3.719	10.1	3.720	1	3	0	2.569	4.9	2.569	0	3	5	1.9403	1.6	1.9395
1	0	-3	3.362	1.9	3.361	0	3	3	2.4803	2.7	2.4802	2	2	2	1.8829	0.6	1.8823
1	2	-1	3.255	4.4	3.255	1	3	1	2.4744	2.1	2.4736	2	2	-4	1.8483	0.6	1.8458
1	1	2	3.240	0.9	3.237	1	0	-5	2.3539	1.3	2.3520	0	5	1	1.8356	1.9	1.8360
1	1	-3	3.160	2.7	3.160	2	0	0	2.3068	0.6	2.3067	2	3	-2	1.8356	1.9	1.8375
1	2	1	3.080	4.6	3.080	2	0	-2	2.2811	0.6	2.2840	0	5	2	1.7786	1.6	1.7788

Obr. 5 Graf obsahů Co vs. Ni v burgessitu; čárkovaná linie vyjadřuje ideální CoNi_1 izomorfii.Obr. 6 Graf poměr $\text{Co}/\Sigma\text{kationtů}$ vs. Co, Ni, Cu, Zn (apfu) pro burgessit a červenofialovou amorní fázi.

Tabulka 3 Parametry základní cely burgessitu (pro monoklinickou prostorovou grupu $P2_1/n$)

		Co*	Ni*	a [Å]	b [Å]	c [Å]	β [°]	V [Å ³]
Keeley mine	Sejkora et al. (2009)	1.75	0.23	4.706(1)	9.299(3)	12.738(4)	98.933(8)	550.6(5)
Jáchymov	tato práce	1.00	0.84	4.672(1)	9.281(2)	12.606(3)	99.11(2)	539.8(2)

Co*, Ni* - průměrné obsahy v apfu

Tabulka 4 Chemické složení amorfni červenofialové fáze (hm. %)

	mean	1	2	3
K ₂ O	0.22	0.23	0.22	0.22
FeO	0.92	1.03	0.96	0.79
MgO	0.30	0.32	0.28	0.31
CuO	7.43	7.65	7.43	7.22
CoO	14.52	14.68	14.60	14.27
NiO	8.85	9.01	8.70	8.84
ZnO	1.36	1.21	1.35	1.51
Al ₂ O ₃	0.52	0.59	0.51	0.45
As ₂ O ₅	50.90	50.87	50.87	50.96
P ₂ O ₅	0.23	0.19	0.25	0.25
SO ₃	1.55	1.45	1.65	1.56
H ₂ O*	12.41	12.36	12.43	12.43
total	99.22	99.59	99.25	98.79
K	0.020	0.021	0.020	0.020
Fe	0.055	0.062	0.057	0.047
Mg	0.032	0.034	0.029	0.033
Cu	0.401	0.415	0.400	0.389
Co	0.833	0.846	0.835	0.817
Ni	0.509	0.520	0.499	0.508
Zn	0.072	0.064	0.071	0.079
Al	0.044	0.050	0.043	0.038
Σ M	1.966	2.012	1.955	1.931
As	1.903	1.910	1.897	1.902
P	0.014	0.012	0.015	0.015
S	0.083	0.078	0.088	0.083
Σ T	2.000	2.000	2.000	2.000
Σ H	5.919	5.921	5.913	5.919
H*	1.917	1.922	1.912	1.917
H ₂ O	2.001	2.000	2.001	2.001

H₂O* - obsah vypočtený na základě pravděpodobné přítomnosti skupin (AsO₃OH) a (PO₃OH) a 2 molekul H₂O; H* - obsah H vázaný na aniontové skupiny; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi As+P+S = 2 apfu.

Rentgenový difrakční výzkum

Rentgenová prášková data burgessitu z Jáchymova (tab. 2) odpovídají publikovaným údajům i teoretickému záznamu vypočtenému z krystalové struktury publikované v práci Cooper a Hawthorne (2009); hodnoty intenzit difrakčních maxim v experimentálním záznamu jsou jen v nevelké míře ovlivněny přednostní orientací (*OkI*) typu. Zpřesněné mřížkové parametry studovaného burgessitu jsou v tabulce 3 porovnány s publikovanými údaji pro tuto minerální fázi; zřetelné je jisté snížení hodnot parametrů *a* a zejména *c*, pravděpodobně vyvolané zjištěnou NiCo₁ izomorfií.

Amorfni červenofialová fáze

Vedle lokálního výskytu drobných tabulek zeuneritu byly v asociaci s burgessitem pozorovány na ploše až několika cm² slabé (do 1 mm) nesouvislé červenofialové kůry s hladkým povrchem a charakteristickým rozpuštěním připomínajícím struktury vznikající vysycháním gelu. Při studiu pomocí rentgenové práškové difrakce bylo zjištěno, že se jedná o prakticky amorfni fázi. Pro chemické složení této amorfni fáze (tab. 4) jsou charakteristické podstatné obsahy Co, Ni, Cu a As; současně zjištěný poměr kationty/anionty se blíží burgessitu, proto předpokládáme v této fázi také uplatnění hydrogenarsenátových skupin. Od burgessitu se tento amorfni minerál odlišuje (obr. 6) zejména nižšími obsahy Ni (do 0.52 apfu), vyššími obsahy Cu (do 0.40 apfu) a pravděpodobně nižším obsahem vody (2 H₂O při dopočtu chemické analýzy do cca 100 hm. %). Empirický vzorec (průměr 3 bodových analýz) je při respektování výše uvedených úvah možno na bázi As+S+P = 2 apfu vyjádřit jako: (Co_{0.83}Ni_{0.51}Cu_{0.40}Zn_{0.07}Fe_{0.05}Al_{0.04}Mg_{0.03}K_{0.02}) _{Σ 1.95}[(AsO₃OH)_{1.90}(SO₄)_{0.08}(PO₃OH)_{0.01}] _{Σ 1.99}·2H₂O.

Závěr

Vzhledem k tomu, že supergenní minerály byly na studovaném vzorku zjištěny na všech stranách jeho dnešního povrchu, je takřka jisté, že jejich vznik je vázán na (sub)recentní zvětrávání primární mineralizace v podmínkách opuštěných důlních prostor; přítomnost hydrogenarsenátové skupiny ve struktuře burgessitu indikuje jeho vznik v relativně kyselém prostředí. Nález burgessitu na vzorku z jáchymovského rudního revíru je teprve druhým známým výskytem tohoto vzácného minerálního druhu ve světovém měřítku.

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu R. Škodovi (Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Brno) a B. Ekrtovi (Národní muzeum, Praha), stejně tak recenzentům J. Plášilovi a M. Števkovi za kritické připomínky, které pomohly zvýšit odbornou úroveň rukopisu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci projektu NAKI-DF12P01OVV021.

Literatura

- Burnham Ch. W. (1962) Lattice constant refinement. *Carnegie Inst. Washington Year Book* 61, 132-135.
- Cooper M. A., Hawthorne F. C. (2009) The crystal structure of burgessite, $\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2(\text{H}_2\text{O})$, and its relation to erythrite. *Can. Mineral.* 17, 165-172.
- Čejka J., Sejkora J., Bahfenne S., Palmer S. R., Plášil J., Frost R. L. (2011) Raman spectroscopy of hydrogen-arsenate group (AsO_3OH) in solid-state compounds: cobalt mineral phase burgessite $\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2(\text{H}_2\text{O})$. *J. Raman Spectrosc.* 42, 214-218.
- Hloušek J., Plášil J., Sejkora J., Škácha P. (2014) Novinky a nové minerály z Jáchymova (2003 - 2014). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 22/2, 155-181.
- 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., Skála R., Plášil J., Sejkora J., Veselovský F., Čejka J., Kallistová A., Hloušek J., Fejfarová K., Škoda R., Dušek M., Gabašová A., Machovič V., Lapčák L. (2013) Švenekite, $\text{Ca}[\text{AsO}_2(\text{OH})_2]$, a new mineral from Jáchymov, Czech Republic. *Mineral. Mag.* 77, 2711-2724.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V. (2003a) Geology and hydrothermal vein system of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 3-18.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V. (2003b) Supplement to secondary and rock-forming minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 149-155.
- Ondruš P., Veselovský F., Gabašová A., Hloušek J., Šrein V., Vavřín I., Skála R., Sejkora J., Drábek M. (2003c) Primary minerals of the Jáchymov ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 48, 19-147.
- Ondruš P., Veselovský F., Hloušek J., Skála R., Vavřín I., Fryda J., Čejka J., Gabašová A. (1997) Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. *J. Czech Geol. Soc.* 42, 3-6.
- Plášil J., Čejka J., Sejkora J., Škácha P. (2009) The question of water content in parsonsite: a model case - occurrence at the Červené žíly vein system, Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *J. Geosci.* 54, 385-394.
- Plášil J., Fejfarová K., Wallwork K. S., Dušek M., Škoda R., Sejkora J., Čejka J., Veselovský F., Hloušek J., Meißner N., Brugger J. (2012a) Crystal structure of pseudojohannite, with a revised formula $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[(\text{UO}_2)_4\text{O}_4(\text{SO}_4)_2](\text{H}_2\text{O})_{12}$. *Am. Mineral.* 97, 10, 1796-1803.
- Plášil J., Fejfarová K., Hloušek J., Škoda R., Novák M., Sejkora J., Čejka J., Dušek M., Veselovský F., Ondruš P., Majzlan J. (2013a) Štěpíte, $\text{U}(\text{AsO}_3\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, from Jáchymov, Czech Republic: the first natural arsenate of tetravalent uranium. *Mineral. Mag.* 77, 137-152.
- Plášil J., Hloušek J., Škoda R. (2013b) Chalkonatronit, $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_3$, ze žíly sv. Duchy, Jáchymov (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 2, 228-233.
- Plášil J., Hloušek J., Veselovský F., Fejfarová K., Dušek M., Škoda R., Novák M., Čejka J., Sejkora J., Ondruš P. (2012b) Adolpateraite, $\text{K}(\text{UO}_2)(\text{SO}_4)(\text{OH})(\text{H}_2\text{O})$, a new uranyl sulphate mineral from Jáchymov, Czech Republic. *Am. Mineral.* 97, 447-454.
- Plášil J., Sejkora J., Škoda R., Škácha P. (2014a) The recent weathering of uraninite from the Červená vein, Jáchymov (Czech Republic): a fingerprint of the primary mineralization geochemistry onto the alteration association. *J. Geosci.* 59, 223-253.
- Plášil J., Veselovský F., Hloušek J., Škoda R., Novák M., Sejkora J., Čejka J., Škácha P., Kasatkin A. V. (2014b) Mathesiusite, $\text{K}_5(\text{UO}_2)_4(\text{SO}_4)_4(\text{VO}_5)(\text{H}_2\text{O})_4$, a new uranyl vanadate-sulfate from Jáchymov, Czech Republic. *Am. Mineral.* 99, 625-632.
- Pouchou J. L., Pichoir F. (1985) "PAP" ($\phi\rho z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: *Microbeam Analysis (J. T. Armstrong, ed.)*. San Francisco Press, San Francisco, 104-106.
- Sejkora J., Babka K., Pavlíček R. (2012) Saléit z uranového rudního revíru Jáchymov (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 20, 2, 208-212.
- Sejkora J., Hawthorne F. C., Cooper M. A., Grice J. D., Vajdak J., Jambor J. L. (2009) Burgessite, $\text{Co}_2(\text{H}_2\text{O})_4[\text{AsO}_3(\text{OH})]_2(\text{H}_2\text{O})$, a new arsenate mineral species from the Keeley mine, South Lorrain township, Ontario, Canada. *Can. Mineral.* 47, 159-164.
- Sejkora J., Plášil J., Bureš B. (2013) Neobvyklá asociace supergenních minerálů uranu ze žíly Jan Evangelista, Jáchymov (Česká republika). *Bull. mineral.-petrolog. Odd. Nár. Muz. (Praha)* 21, 2, 143-156.
- Sejkora J., Plášil J., Císařová I., Škoda R., Hloušek J., Veselovský F., Jebavá I. (2011) Interesting supergene Pb-rich mineral association from the Rovnost mining field, Jáchymov (St. Joachimsthal), Czech Republic. *J. Geosci.* 56, 3, 257-271.
- 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.