

Selenidová mineralizace uranového ložiska Potůčky v Krušných horách (Česká republika)

Selenide mineralization of the uranium deposit Potůčky, Krušné hory Mountains (Czech Republic)

JIRÍ SEJKORA^{1)*}, VLADIMÍR ŠREIN²⁾, BLANKA ŠREINOVÁ¹⁾ A ZDENĚK DOLNÍČEK¹⁾

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

²⁾Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 21 Praha 1

SEJKORA J, ŠREIN V, ŠREINOVÁ B, DOLNÍČEK Z (2017) Selenidová mineralizace uranového ložiska Potůčky v Krušných horách (Česká republika). Bull Mineral Petrolog 25(2): 306-317 ISSN 2570-7337

Abstract

An interesting mineral association of Pb, Ag and Bi selenides was found in samples from the abandoned uranium deposit Princ Evžen near Potůčky in Krušné hory Mountains (Czech Republic). The unnamed Se-analogue of pavonite is the most abundant Se-bearing mineral phase. It forms anhedral aggregates up to 100 µm across and veinlets in chalcopyrite or coffinite in association with bohdanowiczite or unnamed Bi-selenide. Its empirical formula (mean of 97 analyses) can be expressed as $(Ag_{1.15}Cu_{0.02})_{\Sigma 1.17}(Bi_{2.74}Pb_{0.13}Fe_{0.01})_{\Sigma 2.88}(Se_{3.31}S_{1.62}Te_{0.01})_{\Sigma 4.94}$. The minerals from the galena - clausthalite solid solution series are abundant as tiny (several µm) grains in coffinite, anhedral grains up to 50 µm in size in association with bohdanowiczite inclusions are much rare. Bohdanowiczite forms grains up to 30 µm in size in association with unnamed Se-analogue of pavonite, clausthalite and unnamed Bi-selenide. Its chemical composition (mean of 10 analyses) corresponds to the empirical formula $(Ag_{0.99}Fe_{0.02}Pb_{0.01})_{\Sigma 1.02}Bi_{0.98}(Se_{1.68}S_{0.30}Te_{0.01})_{\Sigma 1.99}$. Unnamed Bi-selenide with ideal formula $(Bi,Ag)_3(Se,S,Te)_4$ was found as irregular grains up to 20 µm across in association with bohdanowiczite or unnamed Se-analogue of pavonite; its empirical formula (mean of 10 analyses) is $(Bi_{2.62}Ag_{0.30}Pb_{0.04})_{\Sigma 2.96}(Se_{3.11}S_{0.74}Te_{0.20})_{\Sigma 4.05}$. The description and chemical composition of coexisting Se-free sulfides (chalcopyrite, pyrite, tennantite, sphalerite) are also given.

Key words: selenide, unnamed Se-analogue of pavonite, $AgBi_3Se_9$, clausthalite, bohdanowiczite, unnamed $(Bi,Ag)_3(Se,S,Te)_4$, Potůčky, Czech Republic

Obdrženo: 2. 10. 2017; přijato: 22. 12. 2017

Úvod

Rudní revír Potůčky (dříve Breitenbach) je lokalizován v Krušných horách 15 km sz. od Jáchymova. Vyhledávání uranových ložisek v oblasti Potůček probíhalo v období 1947 - 1963. Průzkum byl prováděn jak samotným těžebním podnikem Jáchymovských dolů se sídlem v Jáchymově, tak i průzkumným závodem Jáchymovských dolů, nejprve se sídlem v Jáchymově a od roku 1960 se sídlem v Ostrově nad Ohří. Z vyhodnocení archivních materiálů je možné v rudním revíru Potůčky vyčlenit 4 úseky s uranovým zrudněním, na kterých byly vedeny rozsáhlejší průzkumné a z části i těžební práce. Jsou to Potůčky I, úsek šachtice č. 3, Princ Evžen a Potůčky II (Klemenc 1963; Štimmel 1958). Pouze úsek Princ Evžen je řazen mezi malá uranová ložiska, ostatní úseky byly klasifikovány jen jako rudní výskyty (Veselý 1982).

Geologicko-ložisková charakteristika oblasti

Území rudního revíru Potůčky je budováno fylitovou sérií krušnohorského krystalinika, východně od karlovarského plutonu vystupuje na povrch blatenský žulový masiv. Fylitová série (Potůčky), která k jihu přechází do svorové série (Jáchymov), se skládá z křemitých, chlo-

rit-sericitických a sericitických fylitů a kvarcitů. Charakteristické jsou výskyty ložních těles amfibolitů, které spolu s kvarcitu představují jediné makroskopicky zřetelné vúdčích horizonty. Celá série je interpretována jako mírně zvrásněná synklinální oblast v rámci větší strukturální jednotky Krušných hor. Tato základní stavba je rozčleněna antiklinálními strukturami vyšších řádů. Žulové podloží se nachází v hloubce kolem 600 m (Veselý 1982).

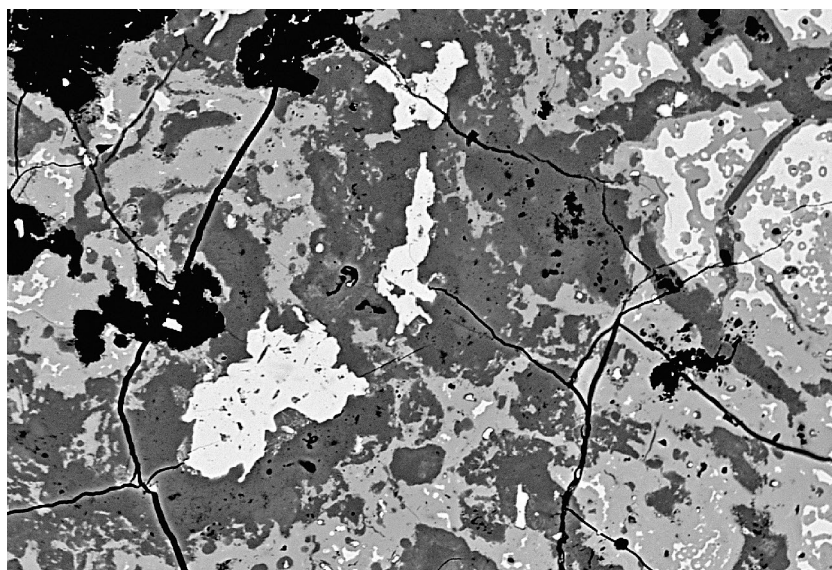
Z hlediska disjunktivní tektoniky je oblast rozdělena zlomy směru SZ - JV a V - Z na řadu tektonických bloků. Podél zlomů docházelo k opakujícím se vertikálním i horizontálním pohybům a v jednotlivých blocích následně vznikaly sítě struktur vyšších řádů různých směrů. Nejvýznamnějšími disjunktivními strukturami jsou jižní zlom, malý jižní zlom, centrální zlom a ze zlomů V - Z směru zlom Zentralspat a zlom Schwarzenbašský. Mineralizované struktury jsou v tektonických blocích zpeřené k hlavním zlomům oblasti a ve vztahu k uranové mineralizaci jsou členěny do tří skupin: předrudní struktury, struktury s uranovou mineralizací a porudní struktury. K první skupině jsou řazené struktury vyplněné lamprofyry, žulovými porfyry, aplity, dále struktury s křemenem a cínovou mineralizací a sulfidické žíly východozápadního směru. Do skupiny uranonosných žil patří hlavně struktury směru SZ

- JV a S- J vyplněné tektonickým jílem, drcenou horninou, bílým křemenem, a karbonáty. Uranová mineralizace je tvořena karbonát - uraninitovým zrudněním, které je charakteristické načervenalými karbonáty v žilovině, a dále regenerovaným uraninitem několika generací v *pětiprvkové* formaci Ag-Bi-Ni-Co-As. K porudním strukturám patří žíly Fe-Mn formace a trhliny vyplněné bazalty a tufobrekciemi (Veselý 1982).

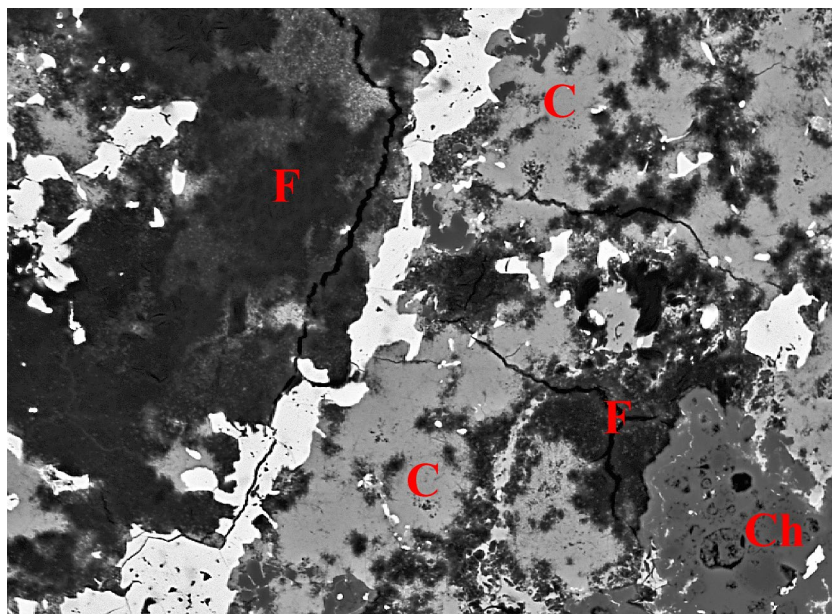
Charakteristika lokality

Malé uranové ložisko Princ Evžen je lokalizováno 1 km východně od obce Potůčky. V letech 1946 - 1949 zde prováděl těžební podnik Jáchymovské doly průzkumné práce, zahrnující obnovu starých důlních děl a ražbu nových. I když práce nebyly zcela negativní, byl průzkum přerušen (Veselý 1982).

Ložisko je situováno východně od centrálního zlomu v severozápadním exokontaktu blatenského žulového masivu; centrální zlom, který je nejvýraznější tektonickým prvkem oblasti, má zde směr 320° - 330° s úklonem 80° - 85° k jihozápadu. Způsobuje pokles jihozápadního bloku o 200 metrů, amplituda horizontálních pohybů činí 800 - 1000 m. Okolní horniny fylitové série jsou tvořeny křemitými, sericitickými fylity téměř horizontálního uložení a obsahují polohy kvarcitů a amfibolitů. Fylity s charakteristickým hedvábným leskem mají malý obsah sekrečního křemene, amfibolity obsahují vtroušený pyrit a pyrotin. Žulové podloží je zde v hloubce 300 - 400 m, magmatické horniny jsou zastoupeny žulovým porfyrem. Ložisko je tvořeno řadou žil směru SZ - JV a je geneticky spojováno s centrálním zlomem (Štimmel 1958; Klemenc 1963; Veselý 1982).

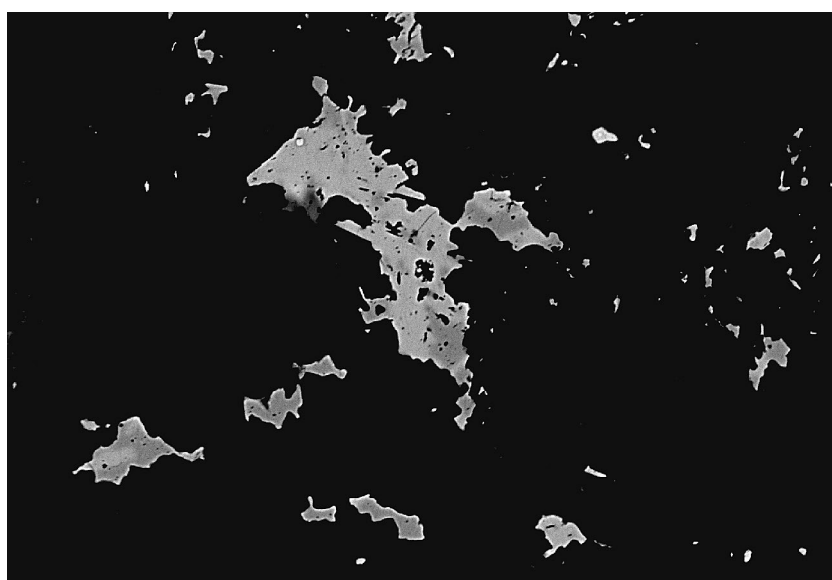


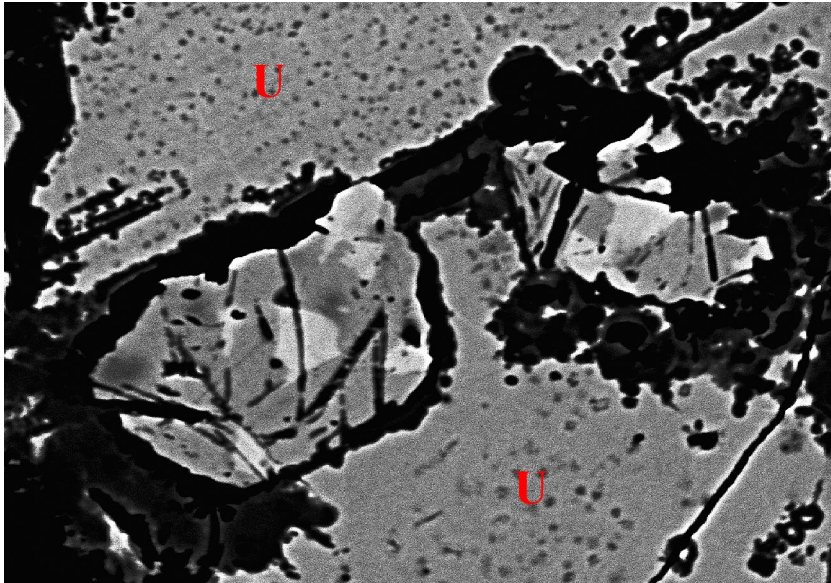
Obr. 1 Nepravidelné agregáty nepojmenovaného Se-analogu pavonitu (bílý) zarůstající do chalkopyritu (tmavě šedý), který vyplňuje prostor mezi alterovanými agregáty coffinitu (šedý) s relikty agregátů uraninitu (bělavé); šířka záběru 250 μ m; BSE foto J. Sejkora.



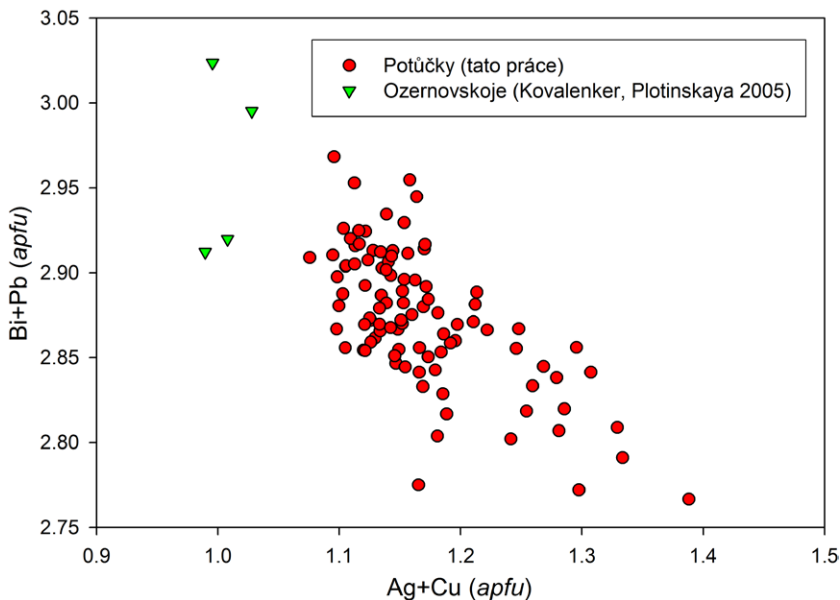
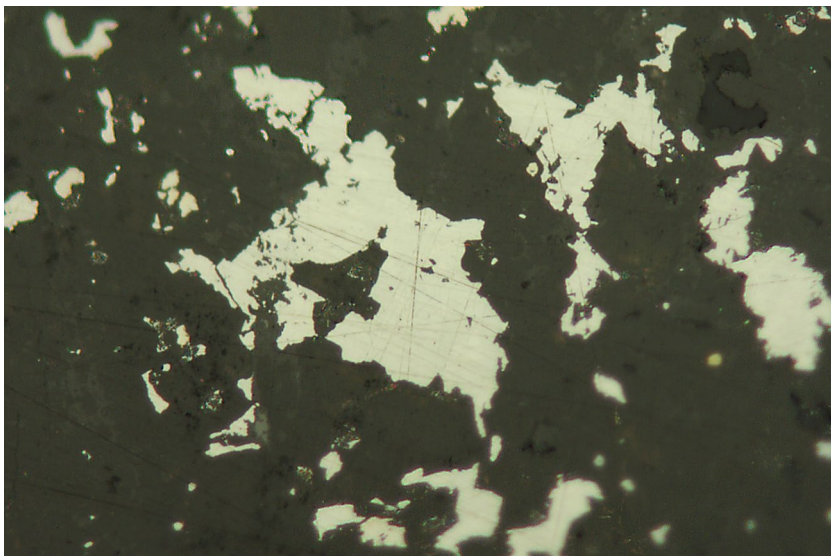
Obr. 2 Žilkovitě uspořádané agregáty nepojmenovaného Se-analogu pavonitu (bílý) zarůstající do coffinitu (C), nehomogenních Fe-silikátů (F) a chalkopyritu (Ch); šířka záběru 250 μ m; BSE foto J. Sejkora.

Obr. 3 Nepravidelné drobné agregáty bohdanowiczitu (tmavě šedý) v asociaci s nepojmenovaným Se-analogem pavonitu (světle šedý) zarůstající do coffinitu (černý); šířka záběru 210 μ m; BSE foto J. Sejkora.





Obr. 4 Nepravidelné agregáty Se-analogu pavonitu (tmavě šedý) srůstající s nepojmenovaným Bi-selenidem (světle šedý) obrůstané mladším chalkopyritem (černý) mezi agregáty voštinatého uraninitu (U); šířka záběru 105 μm ; BSE foto J. Sejkora.



Ložisko Princ Evžen bylo nalezeno po obnovení průzkumných prací v roce 1953. Byly zjištěny výchozy tří žil, z nichž na dvou, na žíle E1 a E2, se kutacími pracemi ověřilo uranové zrudnění v bilančním vývoji. K dalšímu zkoumání jeho průběhu byly kromě vrtů vyraženy v roce 1954 průzkumné šachtice č. 3 a č. 4, které sledovaly rudní struktury v hloubce 50 m pod povrchem. V důsledku pozitivních výsledků byla nejprve průzkumnou organizací založena štola č. 1, později těžební organizací štola č. 2. Štoly ražené 120 a 60 m pod povrchem tvořily hlavní důlní díla ložiska Princ Evžen. V této etapě prací byla vyzmáhána a prověřena historická štola 28. října s negativním výsledkem (Štimmel 1958; Klemenc 1963; Veselý 1982).

Hlavní mineralizovanou strukturou byla žíla E1. Má mocnost 3 - 15 cm, směr $345^\circ - 355^\circ$ a úklon $45^\circ - 70^\circ$ k západu. Hornickými pracemi byla prozkoumána na vzdálenost 1.5 km a je patrné, že v jižní části ložiska se spojuje s centrálním zlomem. Uranová mineralizace byla ověřena v délce kolem 500 m. Žíla E1 je vyplněna hlavně tektonickým jílem, mineralizaci tvoří křemen, karbonáty a uraninit. Ostatní žíly ložiska, jako např. E6, E7, E8, mají obdobný vývoj a jsou zpeřené k základní struktuře ložiska. Byly prozkoumávány do vzdálenosti 150 m (Veselý 1982).

Uranové zrudnění na ložisku je představováno uraninitem a *uranovými černěmi*, při povrchu i *uranovými slídkami*, které impregnovaly i okolní horniny. Zrudnění je koncentrováno do míst, kde jsou v horninách fylitové série rozšířeny polohy amfibolitů. Na žíle E1 dosahuje horizont s amfibolity mocností 100 - 120 m a směrem na východ vyklíňuje. Touto skutečností byla ovlivněna i celková perspektiva ložiska. V rámci průzkumu fylitové série byly v roce 1957 v nejbližším okolí ložiska zaraženy štoly č. 3 a č. 4. Provedené práce však nepřinesly pozitivní výsledky (Štimmel 1958; Klemenc 1963; Veselý 1982). Charakteristickým

Obr. 5 Nepravidelné agregáty nepojmenovaného Se-analogu pavonitu (bílý) zarůstající do coffinitu; šířka záběru 200 μm ; foto v odraženém světle (1 nikol) V. Šrein.

Obr. 6 Graf Ag+Cu vs. Bi+Pb (apfu) pro nepojmenovaný Se-analog pavonitu.

rysem ložiska Princ Evžen je nepřítomnost *pětiprvkové* Ag-As-Bi-Co-Ni asociace, výrazně vyvinuté na blízkých úsecích lokalizovaných v intravilánu obce Potůčky (historické šachty Magdalena, Slovanka apod.).

Ložisko Princ Evžen bylo Jáchymovskými doly (úsek závodu Abertamy) dobýváno v letech 1956 - 1959 při současném vedení průzkumných hornických prací. Ložisko bylo otevřeno na třech patrech, z toho třetí patro slepou jámou, dohloubenou v roce 1957. Průzkum na třetím patře nepřinesl pozitivní výsledky a to ani na hlavní žíle E1. Po vydobytí zásob, které byly lokalizovány především na tuto žílu, byly těžební práce ukončeny a úsek zlikvidován. Celkem bylo na ložisku vydobyto 60.000 m² žilné plochy, z toho 80 % na žíle E1. S hloubkou se kovnatost ložiska rychle snižovala: druhé patro tvořilo již jen 36 % a třetí patro necelých 7 % z celkové těžby ložiska (Veselý 1982).

Metodika výzkumu

Nábrusy studovaných vzorků byly pro výzkum v odraženém světle a následně chemické analýzy připraveny standardním leštěním pomocí diamantové suspenze. Optické vlastnosti v odraženém světle byly studovány pomocí mikroskopu Nikon Eclipse ME600 s digitální kamerou Nikon DXM1200F.

Chemické složení bylo kvantitativně studováno pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX100 (Národní muzeum, Praha, analytik J. Sejkora, Z. Dolníček, J. Ulmanová) za podmínek: vlnově disperzní analýza, napětí 25 kV, proud 20 nA, průměr svazku 2 μm, použité standardy: Ag (AgLa), Bi (BiMβ), CdTe (CdLa), Co (CoKa), CuFeS₂ (CuKa), FeS₂ (FeKa, SKa), HgTe (HgMa), Mn (MnKa), NaCl (ClKa), NiAs (AsLa), Ni (NiKa), PbS (PbMa), PbSe (SeLa), PbTe (TeLa), Sb₂S₃ (SbLa) a ZnS (ZnKa). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod mezí stanovitelnosti (cca 0.03 - 0.08 hm. % pro jednotlivé prvky). Získaná data byla korigována za použití software PAP (Pouchou, Pichoir 1985).

Charakteristika zjištěné mineralizace

První studovaný vzorek pochází z rozsáhlé kolekce dokumentačního materiálu předaného do sbírek mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v roce 1973 tehdejšími Československým uranovým průmyslem (P1P 136/73). Vzorek o velikosti cca 2 x 3 cm s lokalizací Potůčky - Princ Evžen je představován částečně rozpadavým silně coffinitizovaným uraninitem hojně prostoupeným chalkopyritem a limonitizovaným pyritem; při laboratorním výzkumu v něm byla zjištěna hojná mikroskopická zrna selenidů. Vzhledem k atypickému vzhledu prvního vzorku byl v průběhu roku 2017 během terénních prací na reliktech odvalů úseku Princ Evžen (GPS souřadnice: N 50°25.56855', E 12°45.04677') vyhledáván pomocí citlivého scintilačního detektoru další aktivní materiál pro výzkum. Při terénních pracích byl nalezen další několik cm velký vzorek analogického vzhledu, ve kterém byla laboratorně ověřena přítomnost clausthalitu s inkluzemi bohdanowiczitu.

nepojmenovaný Ag-Bi-selenid (Se-analog pavonitu)

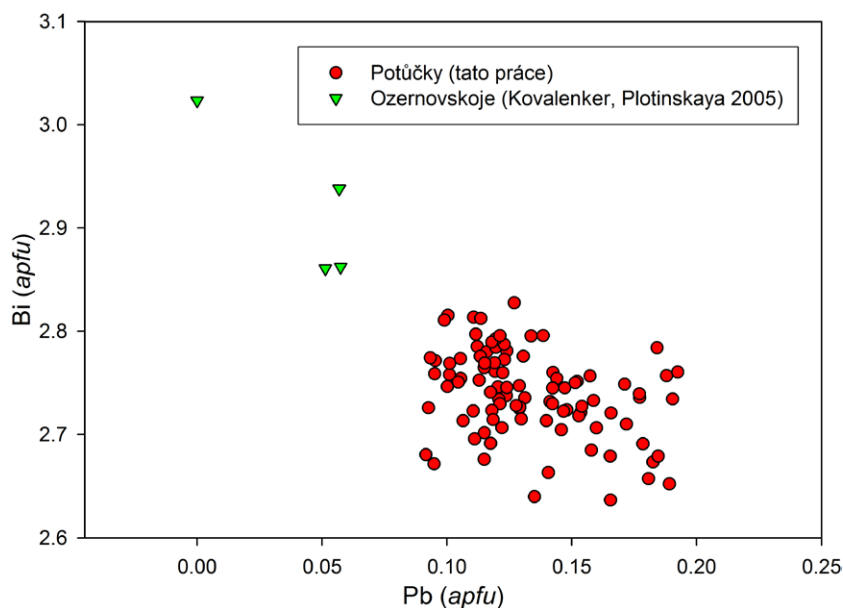
Dosud nepopsaný Ag-Bi selenid (pravděpodobný Se-analog pavonitu AgBi₃S₅) je převládajícím selenidem zjištěným ve studovaném materiálu. Vytváří alotriomorfní agregáty o velikosti do 100 μm (obr. 1), místy uspořádané do nepravidelných žilek (obr. 2). Zarůstá do chalkopyritu, který vyplňuje trhliny v alterovaném coffinitu (obr. 1) nebo přímo do coffinitu či nehomogenních Fe-silikátů (obr. 2). Vzácněji byly pozorovány i jeho agregáty, které srůstají s bohdanowiczitem (obr. 3) nebo nepojmenovaným Bi-selenidem (obr. 4). V odraženém světle je bílý (obr. 5) s výraznou anizotropií v částečně zkřížených nikolech (modravě bílý - světle nafialověle hnědý).

Při studiu jeho chemického složení (tab. 1) byla zjištěna stechiometrie, která se blíží vzorci Ag(Bi,Pb)₃(Se,S)₅ navrženému pro nepojmenovaný Se-analog pavonitu, popsaný z ložiska Ozernovskoje z oblasti Kuril - Kamčatky

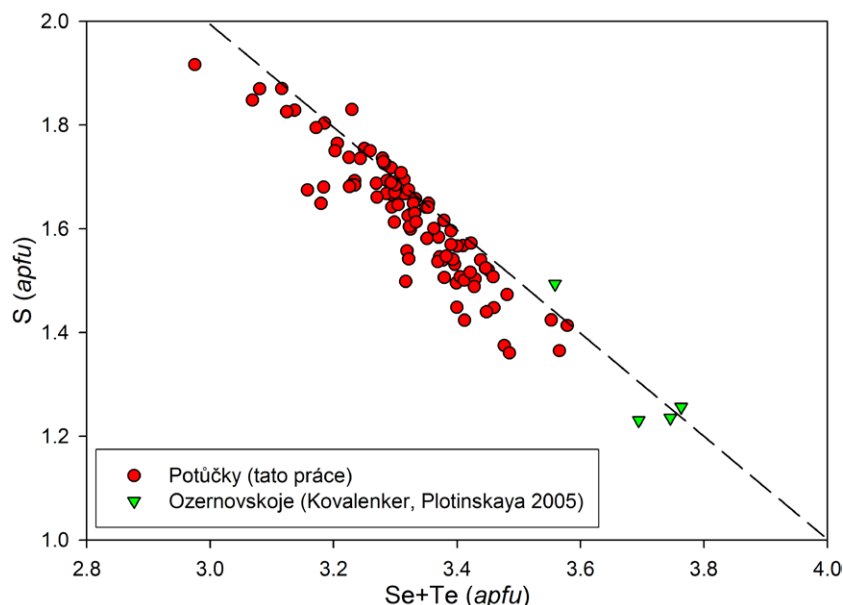
Tabulka 1 Chemické složení nepojmenovaného Se-analogu pavonitu z lokality Potůčky (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	12.00	11.86	11.71	12.13	11.54	12.79	11.30	11.43	11.72	13.50	12.97	11.82	11.73	11.28	11.54
Fe	0.06	0.00	0.00	0.06	0.10	0.00	0.12	0.06	0.25	0.00	0.12	0.04	0.11	0.14	0.05
Pb	2.66	2.87	2.37	2.58	2.26	3.34	2.61	2.10	2.41	3.75	2.09	2.45	3.18	2.46	3.78
Cu	0.10	0.00	0.00	0.10	0.16	0.15	0.19	0.19	0.39	0.00	0.00	0.14	0.29	0.25	0.00
Bi	55.31	55.39	55.86	55.42	55.56	53.67	55.56	55.73	55.70	53.06	55.48	55.71	55.24	54.94	54.77
Se	25.25	24.98	25.42	24.87	25.04	25.05	25.35	26.84	24.68	26.13	25.13	25.60	23.26	25.86	23.42
Te	0.16	0.07	0.08	0.09	0.12	0.15	0.21	0.21	0.24	0.24	0.26	0.26	0.28	0.32	0.36
S	5.02	5.14	4.86	5.14	5.23	5.27	5.34	4.39	5.51	4.22	4.82	4.75	5.73	4.68	5.61
total	100.57	100.31	100.30	100.39	100.01	100.42	100.68	100.95	100.90	100.90	100.87	100.77	99.82	99.93	99.53
Ag	1.152	1.143	1.134	1.165	1.108	1.217	1.074	1.102	1.107	1.307	1.246	1.140	1.124	1.092	1.116
Fe	0.012	0.000	0.000	0.011	0.019	0.000	0.022	0.011	0.046	0.000	0.022	0.007	0.020	0.026	0.009
Pb	0.133	0.144	0.120	0.129	0.113	0.165	0.129	0.105	0.118	0.189	0.105	0.123	0.159	0.124	0.190
Cu	0.016	0.000	0.000	0.016	0.026	0.024	0.031	0.031	0.063	0.000	0.000	0.023	0.047	0.041	0.000
Bi	2.741	2.754	2.793	2.747	2.753	2.637	2.727	2.774	2.714	2.652	2.751	2.773	2.733	2.746	2.734
Se	3.312	3.288	3.363	3.263	3.283	3.257	3.292	3.535	3.183	3.457	3.298	3.372	3.046	3.420	3.095
Te	0.013	0.006	0.007	0.007	0.010	0.012	0.017	0.017	0.019	0.020	0.021	0.021	0.023	0.026	0.029
S	1.622	1.666	1.584	1.661	1.689	1.687	1.708	1.424	1.750	1.375	1.558	1.541	1.848	1.524	1.825
An Σ	4.947	4.959	4.954	4.931	4.982	4.956	5.017	4.977	4.952	4.851	4.876	4.934	4.916	4.971	4.950

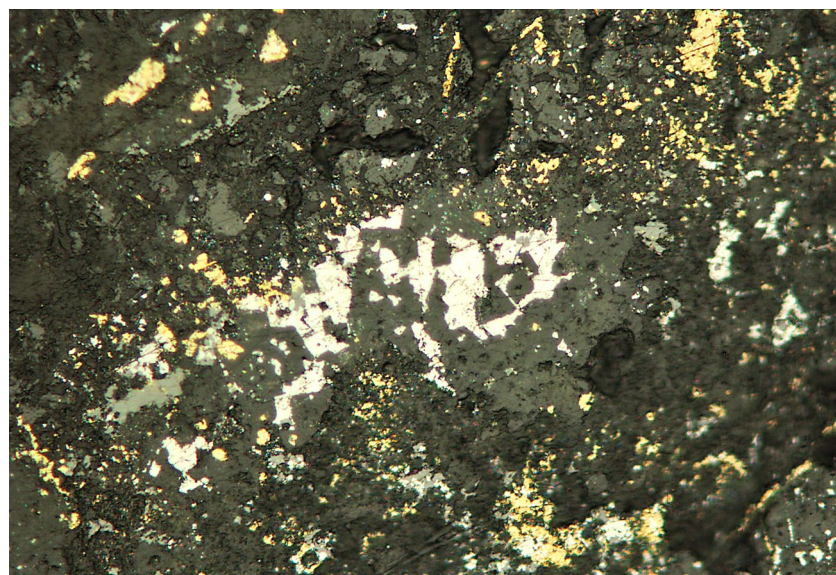
mean - průměr 97 bodových analýz; 1 - 14: reprezentativní bodové analýzy; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 9 apfu.



Obr. 7 Graf Pb vs. Bi (apfu) pro nepojmenovaný Se-analog pavonitu.



Obr. 8 Graf Se+Te vs. S (apfu) pro nepojmenovaný Se-analog pavonitu; přerušovanou čarou vyznačena ideální závislost pro $Se+Te+S = 5$ apfu.



(Kovalenker, Plotinskaya 2005). Zjištěné obsahy Ag(+Cu) negativně korelují s obsahy Bi+Pb (obr. 6). Na rozdíl od dat z ložiska Ozernovskoje (Kovalenker, Plotinskaya 2005) obsahy Pb (0.09 - 0.19 apfu) a Bi (2.63 - 2.85 apfu) v materiálu z lokality Potůčky nevykazují zřetelnou korelaci (obr. 7). V aniontové části je selen izomorfne zastupován sírou (obr. 8) s obsahy v rozmezí 1.36 - 1.92 apfu; zjištěné obsahy S v materiálu ze studované lokality jsou vyšší než hodnoty uváděné pro nepojmenovaný minerál z ložiska Ozernovskoje (Kovalenker, Plotinskaya 2005). Empirický vzorec Se-analogu pavonitu z lokality Potůčky (průměr 97 bodových analýz) je možno na bázi 9 apfu vyjádřit jako $(Ag_{1.15}Cu_{0.02})_{\Sigma 1.17}(Bi_{2.74}Pb_{0.13}Fe_{0.01})_{\Sigma 2.88}(Se_{3.31}S_{1.62}Te_{0.01})_{\Sigma 4.94}$.

minerály izomorfni řady galenit - clausthalit

Minerály izomorfni řady galenit - clausthalit jsou ve studovaném materiálu relativně časté a vytvářejí obvykle jen několik μm velké alotriomorfni agregáty v trhlinách alterovaného coffinitu; lokálně byly pozorovány i jejich alotriomorfni zrna o velikosti do 50 μm (obr. 9), místy s inkluzemi bohdanowiczitu (obr. 10).

Při studiu jejich chemického složení (tab. 2) byly vedle obsahů Pb, S a Se zjištěno i minoritní zastoupení Bi (do 0.08 apfu), Ag, Cu a Fe (do 0.02 apfu); pozoruhodné jsou i zjištěné obsahy Te (do 0.01 apfu) a Tl (do 0.004 apfu). Podle zjištěného rozsahu SSe_1 izomorfie (obr. 11) je převažující fází galenit s obsahy Se do 0.46 apfu; clausthalit s obsahy S v rozmezí 0.13 - 0.40 apfu je nepoměrně vzácnější. Podle BSE obrazu a výsledků chemických analýz jsou jednotlivá zrna chemicky relativně homogenní, zjištěné variace poměru S/Se jsou odrazem rozdílného chemického složení jednotlivých koexistujících agregátů. Neomezená izomorfni míšivost mezi clausthalitem a galenitem je uváděna z experimentálních studií fázových vztahů v tomto systému při teplotách nad 300 °C (Simpson 1964; Wright et

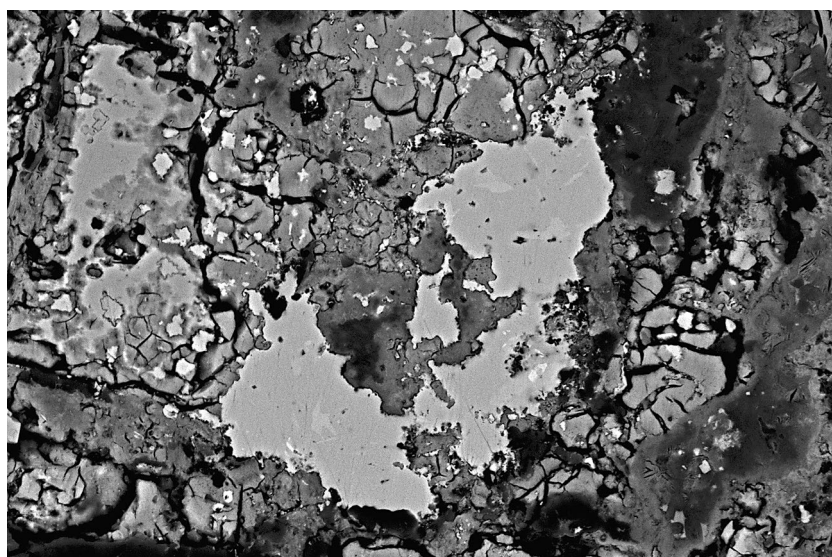
Obr. 9 Nepravidelné agregáty minerálů izomorfni řady galenit - clausthalit (bílé) zarůstající do coffinitu (tmavý) v asociaci s chalkopyritem (žlutý) a sfaleritem (světle šedý); šířka záběru 300 μm; foto v odraženém světle (1 nikol) V. Šrein.

al. 1965; Liu, Chang 1994). Extrapolace termodynamických dat pro koncové členy dovoluje předpokládat existenci úplného pevného roztoku PbSe - PbS do teplot cca 100 °C (Liu, Chang 1994; Förster 2005). Existence kompletní izomorfní série PbS - PbSe v přírodních vzorcích byla poprvé popsána Colemanem (1959), který studoval materiál z uran-vanadových ložisek oblasti Colorado Plateau a nověji byla potvrzena výsledky výzkumu vzorků z ložiska Niederschlema - Alberoda (Förster 2005) a Moldava v Krušných horách (Sejkora, Škácha 2015a) nebo Běstvína v Železných horách (Sejkora, Škácha 2015b). Naproti tomu v nově studované mineralizaci z příbramského uran - polymetalického revíru (Škácha et al. 2017), Boučí u Oloví (Sejkora et al. 2016b), Bílé Vody u Javorníka (Sejkora et al. 2016a) nebo Velké nedaleko Milevska (Sejkora, Škácha 2017) byl zjištěn rozsah SeS_{-1} izomorfie výrazně nižší.

bohdanowiczit

Bohdanowiczit byl ve studovaném materiálu zjištěn jen vzácně. Vytváří alotriomorfní zrna o velikosti do 30 μm srůstající s nepojmenovaným Se-analogem pavonitu (obr. 3) nebo nepojmenovaným Bi-selenidem (obr. 12), která zarůstají do coffinitu. Vzácněji byl zjištěn i jako drobné inkluze v clausthalitu (obr. 10).

Pro chemické složení bohdanowiczitu (tab. 3) je charakteristické uplatnění SeS_{-1} izomorfie. Zjištěné zastoupení S v rozmezí 0.28 - 0.33 *apfu* odpovídá publikovaným údajům pro tento minerální druh (obr. 13) a nedosahuje obsahů síry zjištěných ve vzorcích z krušnohorské lokality Moldava (Sejkora, Škácha 2015a). V kationtové části vzorce bylo zjištěno minoritní zastoupení Pb a Fe do 0.02 *apfu*; obdobné obsahy jsou uváděny i pro bohdanowiczit

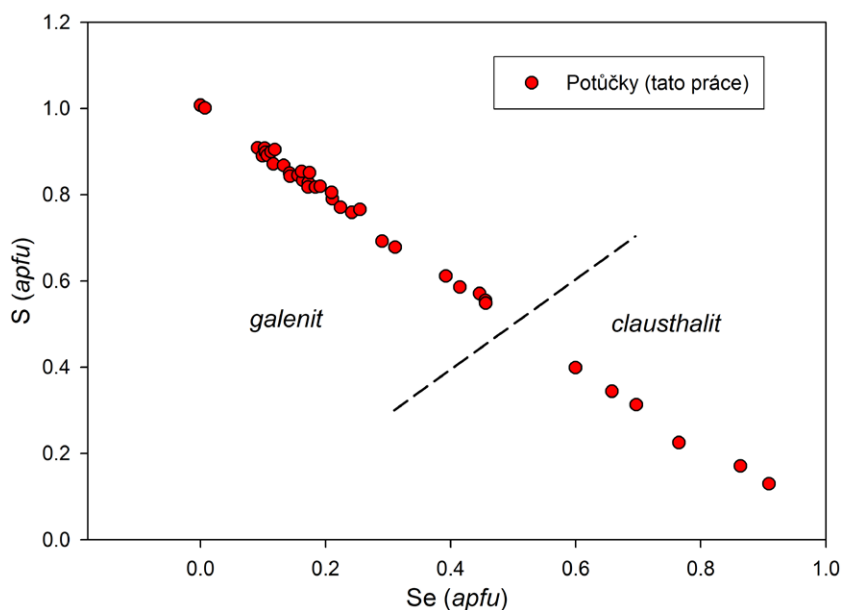


Obr. 10 Nepravidelné agregáty clausthalitu (šedý) s nevýraznými inkluzemi bohdanowiczitu zarůstající do coffinitizovaného uraninitu (tmavý); šířka záběru 150 μm ; BSE foto V. Šrein.

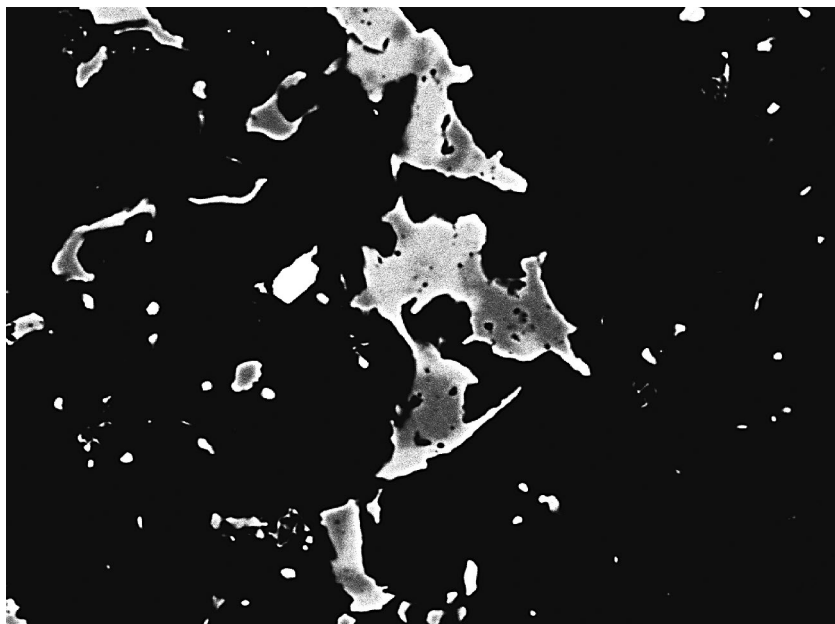
Tabulka 2 Chemické složení minerálů řady galenit - clausthalit z lokality Potůčky (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ag	0.00	0.35	0.28	0.23	0.64	0.57	0.33	0.75	0.30	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.38	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.12	0.14	0.13
Pb	87.82	83.09	82.43	83.53	82.14	80.49	79.15	80.42	79.05	77.99	78.12	79.07	76.05	69.62
Tl	0.19	0.21	0.18	0.11	0.10	0.16	0.37	0.26	0.10	0.02	0.11	0.10	0.13	0.17
Cu	0.00	0.10	0.14	0.00	0.00	0.41	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.13	0.48	0.13
Bi	0.00	1.82	1.46	1.62	1.71	1.79	2.13	1.80	2.08	0.29	1.06	0.61	0.79	1.83
Se	0.00	3.22	3.44	3.78	4.58	5.60	6.68	7.18	8.12	12.12	13.74	14.15	19.84	26.19
Te	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.10	0.00	0.00	0.65	0.07	0.00	0.00	0.11
S	13.83	11.74	11.71	11.47	11.11	10.82	10.42	10.05	9.89	7.67	7.14	6.99	4.21	1.52
total	101.84	100.53	99.64	100.84	100.28	100.29	99.18	100.69	99.54	99.48	100.24	101.17	101.64	99.70
Ag	0.000	0.008	0.006	0.005	0.015	0.013	0.008	0.017	0.007	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.016	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.005	0.007	0.006
Pb	0.990	0.975	0.971	0.982	0.972	0.941	0.946	0.955	0.947	0.962	0.967	0.971	0.961	0.921
Tl	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.004	0.003	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.002
Cu	0.000	0.004	0.005	0.000	0.000	0.016	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.005	0.020	0.006
Bi	0.000	0.021	0.017	0.019	0.020	0.021	0.025	0.021	0.025	0.004	0.013	0.007	0.010	0.024
Σ	0.992	1.011	1.002	1.012	1.008	1.009	0.984	1.006	0.979	0.983	0.981	0.990	0.999	0.959
Se	0.000	0.099	0.106	0.117	0.142	0.172	0.210	0.224	0.255	0.392	0.446	0.456	0.658	0.909
Te	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.013	0.001	0.000	0.000	0.002
S	1.008	0.890	0.892	0.871	0.850	0.818	0.805	0.771	0.765	0.611	0.571	0.554	0.344	0.130
Σ	1.008	0.989	0.998	0.988	0.992	0.991	1.016	0.994	1.021	1.017	1.019	1.010	1.001	1.041

1 - 14: reprezentativní bodové analýzy z celkem 39 změřených; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.



Obr. 11 Graf Se vs. S (apfu) pro minerály izomorfní řady galenit - claushtalit.



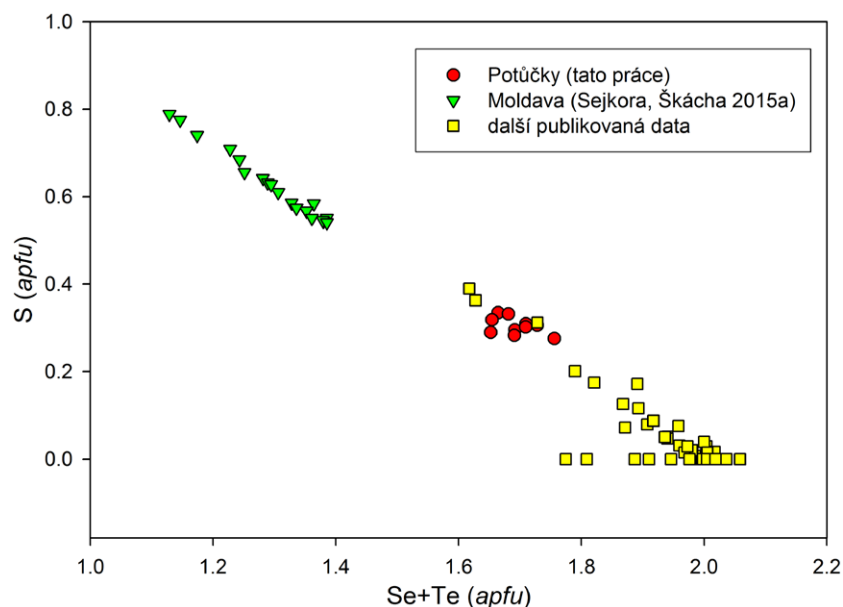
Obr. 12 Nepravidelné agregáty bohdanowiczitu (tmavě šedý) v asociaci s nepojmenovaným Bi-selenidem (světle šedý) a claushtalitem (bílý) zarůstající do coffinitu (černý); šířka záběru 130 μm ; BSE foto J. Sejkora.

Tabulka 3 Chemické složení bohdanowiczitu z lokality Potůčky (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	23.48	22.55	22.71	22.81	22.87	23.76	23.48	24.05	24.10	24.20	24.23
Fe	0.24	0.31	0.15	0.49	0.15	0.13	0.65	0.18	0.00	0.37	0.00
Pb	0.36	0.16	0.48	0.70	0.70	0.24	0.33	0.13	0.45	0.22	0.19
Bi	44.68	43.37	45.01	44.83	44.14	44.64	44.11	44.94	45.87	44.46	45.42
Se	29.08	29.58	29.67	28.59	28.55	29.65	29.19	29.85	28.58	28.06	29.07
Te	0.25	0.35	0.38	0.30	0.21	0.24	0.22	0.22	0.16	0.24	0.16
S	2.14	1.90	2.15	2.35	2.30	2.19	2.08	2.15	2.24	2.01	1.98
total	100.22	98.22	100.55	100.07	98.92	100.85	100.06	101.52	101.40	99.56	101.05
Ag	0.996	0.973	0.961	0.966	0.981	0.998	0.991	1.004	1.018	1.038	1.028
Fe	0.020	0.026	0.012	0.040	0.012	0.011	0.053	0.015	0.000	0.031	0.000
Pb	0.008	0.004	0.011	0.015	0.016	0.005	0.007	0.003	0.010	0.005	0.004
Σ	1.024	1.002	0.983	1.021	1.009	1.014	1.052	1.021	1.028	1.073	1.032
Bi	0.978	0.966	0.983	0.980	0.978	0.968	0.961	0.968	1.000	0.984	0.995
Se	1.685	1.743	1.714	1.654	1.673	1.701	1.684	1.702	1.649	1.644	1.685
Te	0.009	0.013	0.014	0.011	0.008	0.009	0.008	0.008	0.006	0.009	0.006
S	0.305	0.276	0.306	0.335	0.332	0.309	0.295	0.302	0.318	0.290	0.283
Σ	1.998	2.032	2.034	1.999	2.013	2.019	1.987	2.011	1.973	1.943	1.973

mean - průměr 10 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 4 apfu.

Obr. 13 Graf Se+Te vs. S (apfu) pro bohdanowiczit; publikovaná data byla převzata z prací: Thorpe et al. (1976), Banaš et al. (1979), Pringle, Thorpe (1980), Schonwandt (1983), Nesterov et al. (1985), Zavjalov (1985), Pring (1998), Cook, Ciobanu (2001), Augé et al. (2005), Bondarenko et al. (2005), Förster et al. (2005), Kovalenker, Plotinskaya (2005) a Kuznetsov et al. (2012).

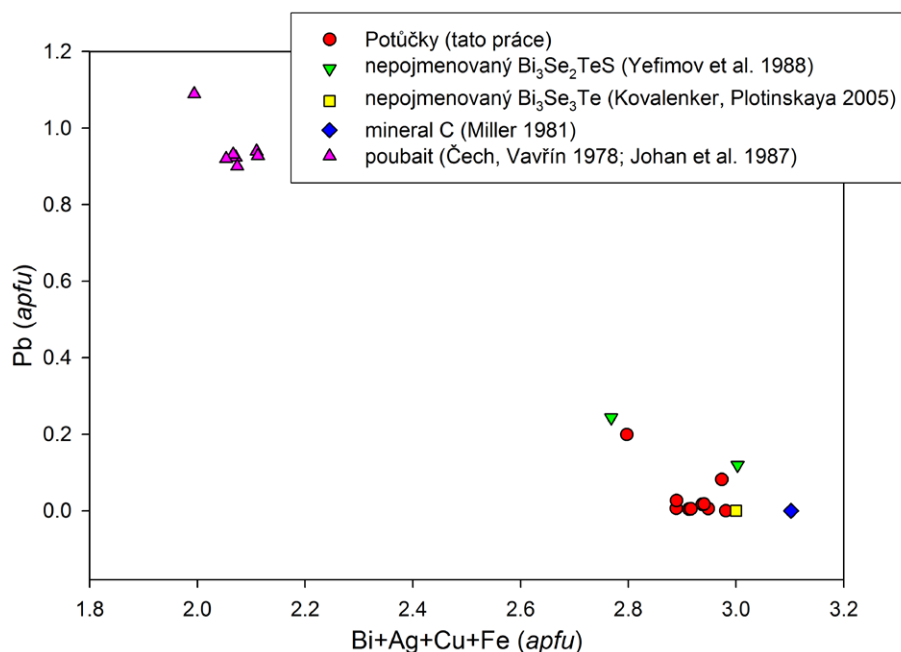


Tabulka 4 Chemické složení nepojmenovaného Bi-selenidu z lokality Potůčky (hm. %)

	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	3.63	4.01	5.69	3.67	2.61	2.71	2.83	2.93	3.10	4.14	4.56
Pb	0.84	4.60	1.90	0.13	0.15	0.10	0.40	0.11	0.63	0.41	0.00
Bi	62.23	57.43	58.59	63.36	63.50	64.66	64.38	62.78	62.58	62.25	62.77
Se	27.84	25.07	25.97	28.95	28.86	27.88	28.19	29.47	27.82	28.18	28.05
Te	2.84	4.61	4.86	2.31	2.37	3.14	2.62	1.93	2.17	2.18	2.20
S	2.71	2.98	2.40	2.50	2.63	2.93	2.66	2.24	3.03	2.83	2.87
total	100.09	98.70	99.41	100.92	100.12	101.42	101.08	99.46	99.33	99.99	100.45
Ag	0.296	0.333	0.471	0.297	0.213	0.219	0.231	0.242	0.253	0.336	0.368
Pb	0.036	0.199	0.082	0.005	0.006	0.004	0.017	0.005	0.027	0.017	0.000
Bi	2.623	2.464	2.503	2.651	2.676	2.694	2.707	2.674	2.636	2.605	2.613
Σ	2.955	2.996	3.056	2.954	2.895	2.916	2.954	2.921	2.916	2.958	2.981
Se	3.106	2.847	2.936	3.206	3.219	3.074	3.137	3.323	3.102	3.121	3.090
Te	0.196	0.324	0.340	0.158	0.164	0.214	0.180	0.135	0.150	0.149	0.150
S	0.744	0.833	0.668	0.682	0.722	0.796	0.729	0.622	0.832	0.772	0.779
Σ	4.045	4.004	3.944	4.046	4.105	4.084	4.046	4.079	4.084	4.042	4.019

mean - průměr 10 bodových analýz; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 7 apfu.

Obr. 14 Graf Bi+Ag+Cu+Fe vs. Pb (apfu) pro nepojmenovaný Bi-selenid z lokality Potůčky v porovnání s publikovanými daty (vynesena data pouze pro fáze s významnějším obsahem Se).



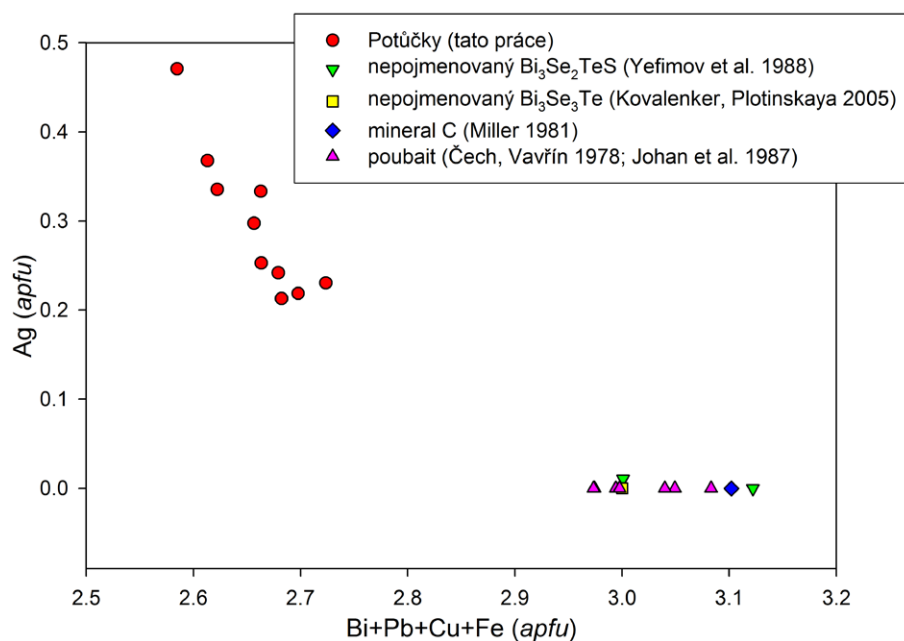
z lokalit Moldava, Kletno, Ozernovskoje a Niederschlema-Alberoda (Banaš et al. 1979; Förster et al. 2005; Kovalenker, Plotinskaya 2005; Sejkora, Škacha 2015a). Průměrné chemické složení bohdanowicitu (průměr 10 bodových analýz) je možno vyjádřit na bázi 4 apfu empirickým vzorcem $(\text{Ag}_{0.99}\text{Fe}_{0.02}\text{Pb}_{0.01})_{\Sigma 1.02}\text{Bi}_{0.98}(\text{Se}_{1.68}\text{S}_{0.30}\text{Te}_{0.01})_{\Sigma 1.99}$.

nepojmenovaný Bi-selenid $(\text{Bi,Ag})_3(\text{Se,S,Te})_4$

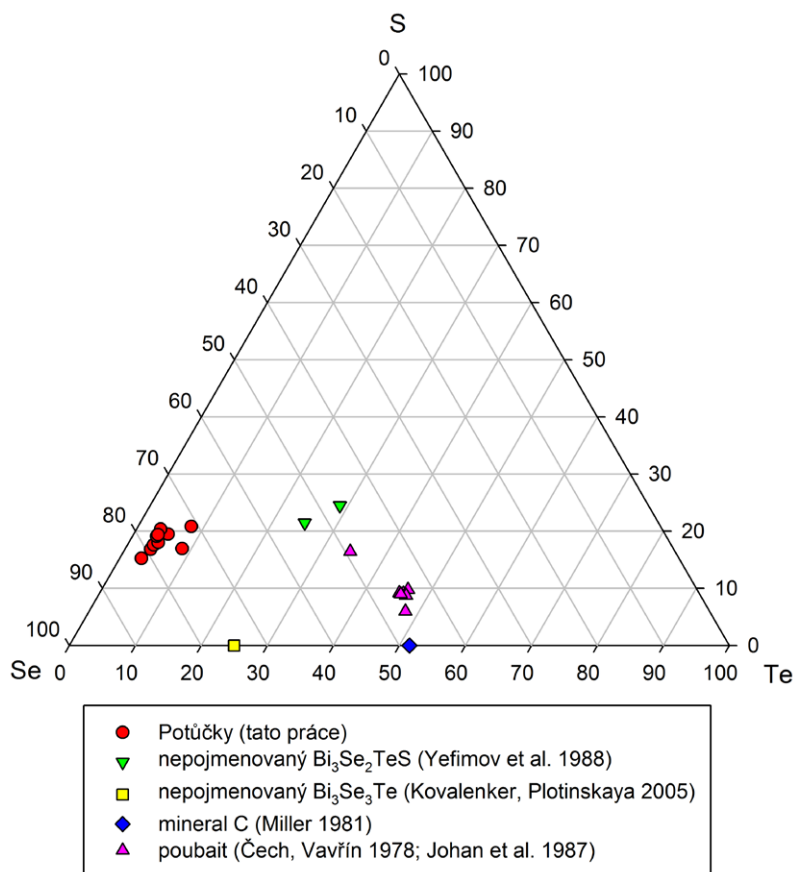
Nepojmenovaný Bi-selenid je nejvzácnější zjištěnou selenidovou fází; vytváří nepravidelná zrna o velikosti do

20 μm , které spolu s nepojmenovaným Se-analogem pavonitu zarůstají do chalkopyritu (obr. 4) nebo spolu s bohdanowicitem do coffinitu (obr. 12).

Při kvantitativním studiu jeho chemického složení (tab. 4) byly zjištěny majoritní obsahy Bi a Se doprovázené pravidelným minoritním zastoupením Ag, Pb, Te a S. Zjištěný poměr kationty : anionty blíží se ideálnímu 3 : 4 zařazuje tuto fázi do subsystému $\text{Bi}_3\text{Se}_4\text{-Bi}_3\text{S}_4\text{-Bi}_3\text{Te}_4$ (Cook et al. 2007), ve které jsou dnes známy dva minerální druhy - rucklidgeit $(\text{Bi,Pb})_3\text{Te}_4$ a poubait $\text{PbBi}_2(\text{Se,Te,S})_4$ a několik blíže nedefinovaných nepojmenovaných



Obr. 15 Graf Bi+Pb+Cu+Fe vs. Ag (apfu) pro nepojmenovaný Bi-selenid z lokality Potůčky v porovnání s publikovanými daty (vynesena data pouze pro fáze s významnějším obsahem Se).



Obr. 16 Ternární graf Te-S-Se (apfu) pro nepojmenovaný Bi-selenid z lokality Potůčky v porovnání s publikovanými daty (vynesena data pouze pro fáze s významnějším obsahem Se).

druhů (např. Miller 1981; Yefimov et al. 1988; Kovalenker, Plotinskaya 2005). V kationtu studované fáze z ložiska Potůčky byly vedle Bi nalezeny minoritní obsahy Pb (do 0.20 *apfu*) a Ag (do 0.47 *apfu*). Zjištěné obsahy Pb jsou výrazně nižší než jsou uváděny pro poubaity (obr. 14) a blíží se hodnotám uváděným pro nepojmenované fáze (Miller 1981; Yefimov et al. 1988; Kovalenker, Plotinskaya 2005). Obsahy Ag dosud v selenem bohatých členech tohoto subsystému zjištěny nebyly (obr. 15); nicméně pro Te-dominantní člen, rucklidgeit, je uváděna tendence (na rozdíl od jiných Bi-sulfoselenotelluridů) akumulovat prvky jako Ag nebo Cu v krystalové struktuře (Cook et al. 2007). V aniontu studované fáze (obr. 16) výrazně převládá Se (2.85 - 3.32 *apfu*) nad S (0.62 - 0.83 *apfu*) a Te (0.13 - 0.34 *apfu*). Její průměrné (10 analýz) chemické složení je možno na bázi 7 *apfu* vyjádřit empirickým vzorcem $(\text{Bi}_{2.62}\text{Ag}_{0.30}\text{Pb}_{0.04})_{\Sigma 2.96}(\text{Se}_{3.11}\text{S}_{0.74}\text{Te}_{0.20})_{\Sigma 4.05}$.

doprovodná sulfidická mineralizace

Pyrit byl zjištěn jako nepravidelná zrna o velikosti do 50 μm zarůstající do chalkopyritu, který vystupuje v trhlinách coffinitizovaného uraninitu. Při studiu jeho chemického složení byly rozlišeny dvě variety (tab. 5). Hojnější typ pyritu se vyznačuje minoritními obsahy As v rozmezí 0.02 - 0.04 *apfu* a méně výraznými obsahy Sb (0.001 - 0.004 *apfu*). Jeho průměrné složení (20 bodových analýz) lze vyjádřit na bázi 3 *apfu* empirickým vzorcem $\text{Fe}_{0.99}\text{As}_{0.02}\text{S}_{1.98}$. Druhá vzácnější varieta pyritu neobsahuje As, ale vykazuje minoritní obsahy Ni (do 0.02 *apfu*), Co a Cu (do 0.01 *apfu*). Jeho chemické složení (průměr 6 bodových analýz) je možno vyjádřit vzorcem $(\text{Fe}_{0.98}\text{Co}_{0.01}\text{Ni}_{0.01}\text{Cu}_{0.01})_{\Sigma 1.01}\text{S}_{1.99}$.

Chalkopyrit je ve studované asociaci nejhojnějším sulfidem, vytváří v trhlinách coffinitizovaného uraninitu alotriomorfní zrna o velikosti do 500 μm a jejich skupiny.

Dosti často obrůstá starší agregáty nepojmenovaného Se-analogu pavonitu a místy i minerálů izomorfní řady galenit - clausthalit. Jeho chemické složení (tab. 6) je blízké ideální stechiometrii a nebyly v něm zjištěny minoritní obsahy dalších prvků.

Tennantit byl zjištěn jen ojediněle jako nepravidelné agregáty o velikosti do 15 μm srůstající s chalkopyritem. Při studiu jeho chemického složení (tab. 6) byly zjištěny minoritní obsahy Ag v rozmezí 0.16 - 0.24 *apfu*; v Fe/Zn pozici Fe (1.07 - 1.50 *apfu*) převládá nad Zn (0.95 - 1.04 *apfu*) a v As/Sb pozici je dominantní As doprovázen obsahy Sb v rozmezí 0.36 - 0.41 *apfu*. Empirický vzorec tennantitu (průměr 3 bodových analýz) je možno na bázi 29 *apfu* vyjádřit jako $(\text{Cu}_{8.94}\text{Ag}_{0.20})_{\Sigma 9.14}(\text{Fe}_{1.24}\text{Zn}_{1.00})_{\Sigma 2.24}(\text{As}_{3.67}\text{Sb}_{0.38})_{\Sigma 4.05}\text{S}_{13.56}$.

Sfalerit vytváří lokálně častá nepravidelná protáhlá zrna o délce až 50 μm , která samostatně nebo ve srůstech s chalkopyritem vystupují v trhlinách coffinitizovaného uraninitu. Pro chemické složení sfaleritu jsou vedle dominantního Zn a S charakteristické nepravidelné minoritní obsahy Fe (do 0.03 *apfu*), Cu (do 0.02 *apfu*) a Cd (do 0.01 *apfu*). Jednotlivé chemické analýzy a koeficienty empirických vzorců jsou uvedeny v tabulce 7.

Diskuse a závěr

Zjištění selenidů (nepojmenovaný Se-analog pavonitu, minerály izomorfní řady galenit - clausthalit, bohdanowiczit, nepojmenovaný Bi-selenid) v uranové mineralizaci na uranovém ložisku Potůčky významně rozšiřuje dosud kusé informace o selenidové mineralizaci v české části Krušných hor. Variace poměru Se/S v koexistujících agregátech minerálů izomorfní řady galenit - clausthalit indikují (Simon, Essene 1996; Simon et al. 1997; Förster 2005) vznik z fluid s nižší fugacitou selenu ($\log f\text{Se}_2$ v rozmezí -17 až -26) a vyššími fugacitami síry ($\log f\text{S}_2$

Tabulka 5 Chemické složení pyritu z lokality Potůčky (hm. %)

	mean*	1	2	3	4	5	6	7	8	mean**	9	10	11	12
Fe	46.29	46.22	46.26	46.14	46.43	46.02	45.87	45.85	46.31	45.66	44.97	45.26	45.15	45.70
Pb	0.14	0.19	0.07	0.09	0.10	0.09	0.12	0.15	0.12	0.17	0.15	0.07	0.21	0.20
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.75	0.11	0.50	0.46
Co	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.25	0.25	0.61	0.49
Cu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.15	0.23	0.28	0.29
Sb	0.21	0.43	0.45	0.20	0.19	0.17	0.16	0.24	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
As	1.65	1.05	1.16	1.46	1.54	1.79	1.86	2.30	2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Se	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06	0.08	0.00	0.06
S	53.01	53.44	53.00	52.80	53.01	52.46	52.44	52.39	53.03	53.28	52.44	52.26	52.88	53.28
total	101.29	101.32	100.94	100.69	101.26	100.53	100.45	100.93	102.15	100.23	98.76	98.26	99.63	100.48
Fe	0.992	0.988	0.994	0.994	0.995	0.994	0.992	0.990	0.988	0.982	0.982	0.992	0.977	0.981
Pb	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.016	0.002	0.010	0.009
Co	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.005	0.005	0.012	0.009
Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.003	0.004	0.005	0.006
Σ	0.993	0.989	0.994	0.994	0.995	0.995	0.993	0.991	0.989	1.003	1.006	1.004	1.006	1.006
Sb	0.002	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
As	0.026	0.017	0.019	0.023	0.025	0.029	0.030	0.037	0.039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S	1.979	1.990	1.983	1.981	1.978	1.974	1.976	1.970	1.970	1.996	1.994	1.995	1.994	1.993
Σ	2.007	2.011	2.006	2.006	2.005	2.005	2.007	2.009	2.011	1.996	1.994	1.995	1.994	1.993

mean* - průměr 20 bodových analýz As a Sb-obsahujícího pyritu, 1 - 8 reprezentativní bodové analýzy; mean** - průměr 6 bodových analýz pyritu s obsahy Co-Cu-Ni, 9 - 12 reprezentativní bodové analýzy; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 3 *apfu*.

Tabulka 6 Chemické složení chalkopyritu a tennantitu z lokality Potůčky (hm. %)

	chalkopyrit										tennantit			
	mean	1	2	3	4	5	6	7	8	9	mean	1	2	3
Ag	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.46	1.69	1.50	1.18
Fe	30.34	30.28	30.33	30.33	30.27	30.73	30.81	30.46	30.61	30.52	4.66	5.60	4.42	3.96
Zn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.40	4.14	4.60	4.47
Cu	34.78	34.38	34.53	34.62	34.91	35.06	35.31	34.97	34.99	35.15	38.15	37.01	38.47	38.96
Sb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.12	2.91	3.12	3.33
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.45	18.22	19.16	17.97
S	35.55	35.57	35.31	35.59	35.21	35.42	35.66	36.13	35.78	35.57	29.21	29.30	29.33	28.99
total	100.68	100.23	100.17	100.54	100.39	101.21	101.78	101.56	101.38	101.23	99.44	98.87	100.60	98.86
Ag	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.201	0.234	0.205	0.164
Fe	0.988	0.989	0.993	0.988	0.990	0.997	0.994	0.982	0.990	0.990	1.243	1.497	1.168	1.063
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.003	0.945	1.039	1.025
Cu	0.995	0.987	0.994	0.992	1.004	1.000	1.001	0.990	0.995	1.002	8.940	8.695	8.935	9.190
Sb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.382	0.357	0.378	0.410
As	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.667	3.630	3.774	3.595
S	2.017	2.024	2.013	2.020	2.006	2.002	2.004	2.028	2.016	2.009	13.565	13.642	13.501	13.553

chalkopyrit - mean - průměr 13 bodových analýz, 1 - 9 reprezentativní bodové analýzy; tennantit - průměr 3 bodových analýz (1 - 3); koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 4 *apfu* (chalkopyrit) a 29 *apfu* (tennantit).

Tabulka 7 Chemické složení sfaleritu z lokality Potůčky (hm. %)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fe	0.20	0.22	0.26	0.31	0.35	0.67	0.73	1.77	2.02
Cd	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.81	1.10
Zn	65.00	64.74	65.95	65.84	64.04	64.79	63.87	65.17	64.25
Cu	0.27	0.38	0.50	0.32	1.21	0.37	0.66	1.16	1.47
S	33.42	33.58	33.13	33.27	33.30	33.07	32.57	33.80	33.60
total	98.89	99.16	99.84	99.74	98.90	99.01	97.83	102.71	102.44
Fe	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006	0.012	0.013	0.030	0.034
Cd	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.007	0.009
Zn	0.973	0.966	0.982	0.980	0.959	0.971	0.969	0.946	0.936
Cu	0.004	0.006	0.008	0.005	0.019	0.006	0.010	0.017	0.022
Σ	0.980	0.978	0.994	0.990	0.984	0.989	0.992	1.000	1.002
S	1.020	1.022	1.006	1.010	1.016	1.011	1.008	1.000	0.998

1 - 9: bodové analýzy; koeficienty empirických vzorců počítány na bázi 2 *apfu*.

v rozmezí -17 až -22). Pro vysvětlení široké variability S/Se u členů této izomorfní řady jsou za rovnovážných podmínek nezbytné změny poměru f_{Se_2}/f_{S_2} v rozsahu několika řádů. Jejich vznik je možno vysvětlit opakovanými změnami fugacit selenu a síry doprovázenými změnami fugacity kyslíku, nerovnováží systému nebo míšním fluid s výrazně odlišným poměrem f_{Se_2}/f_{S_2} (Förster 2005). Uvedený charakter fluid objasňuje i pravidelné minoritní obsahy síry v nepojmenovaném Se-analogu pavonitu, bohdanowiczitu a nepojmenovaném Bi-selenidu. Přítomnost mladší sulfidické mineralizace (chalkopyrit, pyrit, sfalerit, tennantit) bez ani minoritních obsahů selenu nasvědčuje zásadní změně charakteru fluid během jejich vzniku, vedle vyčerpání selenu jeho depozicí v minerálních fázích pravděpodobně i výrazný pokles fugacity kyslíku. Vznik částečně obdobné minerální asociace (clausenthalit, bohdanowiczit, guanajuatit, $Ag_2Pb_3Bi_4Se_{10}$ atd.) na ložisku St. Andreasberg v Harzu (SRN) je interpretován jako varieta „pětíprvkové“ Ag-As-Bi-Co-Ni hydrotermální mineralizace formovaná za vysoce oxidačních podmínek při teplotách pod 120 °C (Cabral et al. 2017).

Poděkování

Milou povinností autorů je poděkovat za spolupráci při laboratorním studiu J. Ulmanové (Národní muzeum, Praha), stejně tak recenzentům za kritické připomínky, které pomohly zvýšit odbornou úroveň rukopisu. Předložená práce vznikla za finanční podpory Grantové agentury ČR v rámci projektu 14-27006S, Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2017/01, 00023272) a česko-německého projektu *ArchaeoMontan2018 - středověké hornictví v Sasku a Čechách*, který je financován z prostředků Evropského fondu pro regionální rozvoj, Program Cíl 3 na podporu přeshraniční spolupráce 2015 - 2018 mezi Českou republikou a Svobodným státem Sasko.

Literatura

- AUGÉ T, PETRUNOV R, BAILLY L (2005) On the origin of the PGE mineralization in the Elatsite porphyry Cu-Au deposit, Bulgaria: comparison with the Baula-Nuasahi complex, India, and other alkaline PGE-rich porphyries. *Can Mineral* 43: 1355-1372
- BANAŠ M, ATKIN D, BOWLES JFW, SIMPSON PR (1979) Definitive data on bohdanowiczite, a new silver bismuth selenide. *Mineral Mag* 43: 131-133
- BONDARENKO S, GRINCHENKO O, SEMKA V (2005) Au-Ag-Te-Se mineralization in the Potashnya gold deposit, Kocherov tectonic zone, Ukrainian Shield. *Geochem, Mineral, Petrolog* 43: 20-24
- CABRAL AR, LIESSMANN W, JIAN W, LEHMANN B (2017) Bismuth selenides from St. Andreasberg, Germany: an oxidised five-element style of mineralisation and its relation to post-Variscan vein-type deposits of Central Europe. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 106: 2359-2369
- COLEMAN RG (1959) The natural occurrence of galena - clausenthalite solid solution. *Am Mineral* 44: 166-174
- COOK NJ, CIOBANU CL (2001) Paragenesis of Cu-Fe ores from Ocna de Fier-Dognecea (Romania), typifying fluid plume mineralization in a proximal skarn setting. *Mineral Mag* 65: 351-372
- COOK NJ, CIOBANU CL, WAGNER T, STANLEY CHJ (2007) Minerals of the system Bi-Te-Se-S related to the tetradymite archetype: review of classification and compositional variation. *Can Mineral* 45: 665-708
- ČECH F, VAVŘIN I (1978) Poubaitte, $PbBi_2(Se,Te,S)_4$, a new mineral. *N Jb Mineral, Mh* 9-19
- EARLEY JW (1950) Description and synthesis of the selenide minerals. *Am Mineral* 35: 337-364
- FÖRSTER HJ (2005) Mineralogy of the U-Se-polymetallic deposit Niederschlema-Alberoda, Erzgebirge, Germany. IV. The continuous clausenthalite-galena solid-solution series. *N Jb Mineral, Abh* 181(2): 125-134
- FÖRSTER HJ, TISCHENDORF G, RHEDE D (2005) Mineralogy of the Niederschlema-Alberoda U-Se-polymetallic deposit, Erzgebirge, Germany. V. Watkinsonite, nevkite, bohdanowiczite and other bismuth minerals. *Can Mineral* 43: 899-908
- JOHAN Z, PICOT P, RUHLMANN F (1987) The ore mineralogy of the Otish Mountains uranium district, Quebec: skippenite, Bi_2Se_2Te , and watkinsonite, $Cu_6PbBi_4(Se,S)_8$. Two new mineral species. *Can Mineral* 25: 625-638
- KLEMENC O (1963) Závěrečná zpráva o geologicko - průzkumných pracích na úseku Potůčky. MS, archiv Diamo Příbram OO68/64, 1-57
- KOVALENKER VA, PLOTINSKAYA OY (2005) Te and Se mineralogy of Ozernovskoe and Prasolovskoe epithermal gold deposit, Kuril - Kamchatka volcanic belt. *Geochem, Mineral, Petrolog* 43: 118-123
- KUZNETSOV SK, SOKERINA NV, FILIPPOV VN, SOKERIN MY, ZHARKOV VA (2012) Selenium minerals in gold-bearing veins of the North Ural. *Doklady Earth Sciences* 442: 148-151
- LIU H, CHANG LLY (1994) Phase relation in the system Pb-S-PbSe-PbTe. *Mineral Mag* 58: 567-578
- MILLER R (1981) Kawazulite Bi_2Te_2Se , related bismuth minerals and selenian covellite from the Northwest Territories. *Can Mineral* 19: 341-348
- NESTEROV JG, BEGIZOV VD, ZAVJALOV JN, KRJKOV VK, ČVILEVA TN (1985) Pervaja nachodka bogdanovičita $AgBiSe_2$ v SSSR. *Zap Vsesojuz Miner Obšč* 114: 212-216
- POUCHOU JL, PICOIR 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.
- PRING A (1998) Selenides and sulfides from Iron Monarch, South Australia. *N Jb Mineral, Mh* 36-48.
- PRINGLE GJ, THORPE RI (1980) Bohdanowiczite, junoite and laitakarite from the Kidd creek mine, Timmins, Ontario. *Can Mineral* 18: 353-360
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P (2015a) Selenidy z fluoritového ložiska Moldava v Krušných horách (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 229-241
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P (2015b) Výskyt selenidů na ložisku Běstvina v Železných horách (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 23(2): 255-260
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P (2017) Selenidová mineralizace z uranového rudního výskytu Velká (Česká republika). *Bull Mineral Petrolog* 25(2): 141-148
- SEJKORA J, ŠKÁCHA P, KOPECKÝ S SEN, KOPECKÝ S JUN, PAULIŠ P, MALÍKOVÁ R, VELEBIL D (2016a) Se a Cu mineralizace z Bílé Vody u Javorníka (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(2): 161-177
- SEJKORA J, ŠREIN V, ŠREINOVÁ B, KOPECKÝ S SEN, KOPECKÝ S JUN (2016b) Výskyt clausthalitu na uranovém rudním výskytu Boučí u Oloví, Krušné hory (Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 24(2): 238-242
- SCHONWANDT HK (1983) Interpretation of ore microstructures from a seleneous Cu-mineralization in South Greenland. *N Jb Mineral, Abh* 146: 302-332
- SIMON G, ESSENE EJ (1996) Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides. I. Thermodynamic properties and calculated equilibria. *Econ Geol* 91: 1183-1208
- SIMON G, KESSLER S E, ESSENE EJ (1997) Phase relations among selenides, sulfides, tellurides, and oxides. II. Application to selenide-bearing ore deposits. *Econ Geol* 92: 468-484
- SIMPSON DR (1964) The binary system PbS - PbSe. *Econ Geol* 59: 150-153
- ŠKÁCHA P, SEJKORA J, PLAŠIL J (2017) Selenide mineralization in the Příbram uranium and base-metal district (Czech Republic). *Minerals* 7: 91.
- ŠTIMMEL I (1958) Geologický zápis k materiálům o likvidaci úseku Princ Evžen v Potůčkách. MS, archiv Geofond Praha P 11626
- THORPE RI, PRINGLE GJ, PLANT AG (1976) Occurrence of selenide nad sulphide minerals of the Kidd Creek massive sulphide deposit, Timmins, Ontario. *Geol Surv Canad Paper* 76-1A: 311-317
- VESELÝ T (1982) Malá uranová ložiska krystalinika Českého masívu. III. část: oblast severozápadních a severních Čech. *Geol Hydrometalurg Uranu* 6(3): 3-46
- WRIGHT HD, BARNARD WM, HALBIG JB (1965) Solid solution in the system ZnS-ZnSe and PbS-PbSe at 300 °C and above. *Am Mineral* 50: 1802-1815
- YEFIMOV AV, NENASHEVA SN, BORODAYEV YS, MOZGOVA NN, SIVTSOV AV (1988) Hypogene selenium mineralization in the Neva tin ore deposit. *Novye Dannye Mineral* 35: 128-151
- ZAVJALOV JN (1985) Ob izostrukturnosti bogdanovičita i volynskita. *Zap Vsesojuz Miner Obšč* 114: 434-440