

<https://doi.org/10.46861/bmp.28.086>

PŮVODNÍ PRÁCE/ORIGINAL PAPER

Barytová mineralizace v granodioritovém porfyritu z Bělovsí u Náchoda (orlicko-sněžnické krystalinikum, Česká republika)

Baryte mineralization in granodiorite porphyrite from Běloves near Náchod (Orlica-Sněžník Crystalline Complex, Czech Republic)

MICHAL KOVÁŘ¹* A ZDENĚK DOLNÍČEK²¹Hornická 318, 471 27 Stráž pod Ralskem; *e-mail: et.kovar@email.cz²Mineralogicko-petrologické oddělení, Národní muzeum, Cirkusová 1740, 193 00 Praha 9 - Horní Počernice

KOVÁŘ M, DOLNÍČEK Z (2020) Barytová mineralizace v granodioritovém porfyritu z Bělovsí u Náchoda (orlicko-sněžnické krystalinikum, Česká republika). Bull Mineral Petrolog 28(1): 86-93 ISSN 2570-7337

Abstract

A new occurrence of baryte mineralization at Běloves near Náchod is bound to a steep NNE-SSW trending fissure in a dyke of granodiorite porphyrite, which cut phyllites of the Nové Město Group (Orlica-Sněžník Crystalline Complex). The mineralization is composed of three generations of baryte differing in Sr contents (~0.10 *apfu* in the oldest generation, ~0.003 *apfu* in the youngest generation) and a small amount of hematite. The primary fluid inclusions in baryte belong to type L and L+V; the variable phase proportions are probably caused by postdepositional damage of part of the present fluid inclusions. The wide range of temperatures of both initial melting (-40 to -1 °C) and final ice melting (-0.3 to -12.3 °C) suggests involvement of fluids with very variable salt systems and salinities. The $\delta^{34}\text{S}$ values of baryte range between +5.5 and +7.1 ‰ CDT. The mineral composition, chemical composition of minerals and fluid inclusion data suggest that the studied mineralization is similar to Late Variscan vein baryte and mineralizations of the Bohemian Massif. The source of fluids is interpreted in evaporated fresh waters of Permian lakes, which occurred in the adjacent Krkonoše Piedmont Basin during the Permian.

Key words: baryte, hematite, fluid inclusions, stable isotopes, Orlica-Sněžník Crystalline Complex, Krkonoše Piedmont Basin

Obdrženo 6. 3. 2020; přijato 11. 5. 2020

Úvod

Žilné barytové mineralizace představují zřejmě nejrozsáhlejší typ hydrotermální mineralizace v rámci orlicko-sněžnického krystalinika. Doposud známé výskyty vystupují v proměnlivé strukturně stratigrafické pozici, nejčastěji v nízkoteplotní paragenezi s fluoritem, křemenem a karbonáty (Nebeská Rybná, Klášterec, Jablonné nad Orlicí, Jadrná a Orlické Záhoří). Tyto převážně mineralogické výskyty stručně popisují Opletal et al. (1978, 1980). Charakteristiku barytu z Cotkytle publikovali Domečka et al. (1975). Ložiskové indicie jakožto součást polymetalické Pb-Zn asociace (a podružně také uranové mineralizace) zpracované formou náleзовých zpráv, byly pouze ojediněle ověřovány v rámci ložiskového průzkumu v 60. a 70. letech 20. století (Kamenec, Říčky, Špičák u Deštného). Nejlépe prostudovaným výskytem barytové mineralizace je lokalita výhradního ložiska fluorit - barytové suroviny Bohousová (Apl et al. 1988; Žák et al. 1990), řazená Chrtém (1988) k staroalpidní barytové formaci (eBa). Složitě zpeřený žilník růžovočerveného barytu je paralelní s průběhem litického poruchového pásma probíhajícího ve směru SZ - JV. Mineralizace je vázána na sv. kontaktní hrástovou zónu litické antiklinály ve vzdálenosti až 60 m směrem do granodioritového masivu. Dlouze čočkovité barytové žíly dosahují mocnosti až 6 m, obvykle však jen prvních dm, při směrné délce do 1400 m.

Severní a jižní odžilký dosahují výrazně menší směrné délky (do 200 - 400 m) a mají vedle barytové výplně také významný obsah mylonitizovaného granodioritu.

S výjimkou lokality Bohousová jsou výše uvedené výskyty situovány v jádrové strožské a sněžnicko-gieraltovské skupině orlicko-sněžnického krystalinika. V tomto příspěvku přinášíme mineralogickou a genetickou charakteristiku nově objeveného výskytu žilné barytové mineralizace v Bělovsí u Náchoda. Vzhledem k úzké vazbě této nově zjištěné mineralizace na intruzi granodioritového porfyritu (resp. novohrádecký masiv) v rámci novoměstské série, se nabízí možnost srovnání nově získaných dat s výše uvedeným ložiskem Bohousová v intruzi litického granodioritového tělesa pronikajícího do plášťových biotitických parafarul svrchněproterozoické zábřežské série.

Lokalizace a geologická situace

Studovaná mineralizace byla objevena v dubnu 2008 v bývalém lomu Březinka v Bělovsí nedaleko Náchoda (Fajst, Holásek 1961). Nečinný čtyřetážový lom, v němž byl provoz ukončen v 80. letech minulého století, je situován na ssv. úpatí kóty Dobrošov (623.5 m n. m.), cca 1 km v. od Bělovsí, na levém břehu řeky Metuje. Barytová mineralizace byla zjištěna ve stěně první etáže (N 50° 25' 1.09" E 16° 11' 49.17") v jz. části těžebního prostoru. Mineralizace je vázána na žilnou intruzi spodnopaleozoické-

ho granodioritového porfyritu (Fediuk 1960), který Černý et al. (2003) označují jako biotitický žulový porfyr. Intruze v podobě žíly o mocnosti až 40 m se sklonem cca 40° k JZ (Hošek 1964), pronikající chloriticko-muskovitickými až muskovit-biotitickými fylity (Vejupek 1990) novoměstské série neoproterozoického až spodnopaleozoického stáří (Domečka, Opletal 1976, 1980), je těmito autory geneticky spojována s magmatickým tělesem leukokratického albitického granodioritu novohrádeckého masivu. Otázky tektonicko-metamorfního vývoje a vzájemné strukturní pozice novoměstské a zábřežské série řešili Domečka a Opletal (1972, 1980), nověji se problematice porfyroidů v rámci paralelizace jednotek logika věnovali Kröner et al. (2001), dále Kozdrój et al. (2005) a Opletal (2015).

Metodika výzkumu

Makrofotografie vzorků a terénní fotodokumentace byla pořízena fotoaparátem Sony DSX-WX350. Orientace puklin byly změřeny pomocí geologického kompasu Freiberg I3. Vybrané vzorky byly řezány diamantovou pilou a z vhodných partií byly zhotoveny nábrusy a výbrusy (zpracoval p. Letko, Diatech Praha) obvyklým postupem. Dokumentace preparátů v odraženém světle byla provedena na odrazovém polarizačním mikroskopu Nikon Eclipse ME 600 v mineralogicko-petrologickém oddělení Národního muzea Praha.

Následně byly preparáty potaženy uhlíkovým filmem o tloušťce 30 nm a kvantitativně studovány pomocí elektronového mikroanalýzátoru Cameca SX-100 (analytik Z. Dolníček, Národní muzeum Praha). Na přístroji byly pořízeny fotografie ve zpětně odražených elektronech (BSE) a měřeno chemické složení jednotlivých fází ve vlnově disperzním (WDS) modu. Při bodových analýzách bylo použito urychlovací napětí 15 kV, proud svazkem 10 nA a defokusaný elektronový svazek o průměru 3 μm (hematit), respektive 10 μm (baryt). Ve všech analýzách barytu byly měřeny obsahy Ba, Ca, Fe, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Si, Sr a Zn, zatímco v hematitu byly měřeny Al, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, P, Si, Ti, V, Zn a Zr. Jako standardy byly použity dobře definované homogenní minerály a syntetické fáze: albit (NaK α), almandin (AlK α , FeK α), apatit (PK α), baryt (BaL β), celestín (SK α , SrL β), Cr₂O₃ (CrK α), diopsid (MgK α), Ni (NiK α), rodonit (MnK α), TiO₂ (TiK α), V (VK α), vanadinit (PbM α), wollastonit (CaK α , SiK α), zinkit (ZnK α). Načtená data byla přepočítána na hm. % s použitím standardní PAP korekce (Pouchou, Pichoir 1985). Obsahy výše uvedených prvků, které nejsou zahrnuty v tabulkách, byly kvantitativně analyzovány, ale zjištěné obsahy byly pod detekčním limitem (cca 0.03 - 0.05 hm. % pro jednotlivé prvky).

Fluidní inkluze byly studovány petrograficky a mikrotermometricky. K mikrotermometrickému studiu byly použity štěpné úlomky barytu (Ulrich, Bodnar 1988). Rozlišení jednotlivých genetických typů inkluzí bylo provedeno v běžném výbrusu dle kritérií Roeddera (1984). Ve studovaných

inkluzích byla za laboratorní teploty konstatována přítomnost kapalného vodného roztoku (L - liquid), někdy i plynné fáze (V - vapour). Termometrické parametry inkluzí byly změřeny (M. Kovář) v termokomoře Linkam THMSG 600 v laboratoři mineralogicko-petrologického oddělení Národního muzea v Praze. Měřeny byly: teplota homogenizace (T_h), teplota zamrznutí inkluze (T_f), teplota iniciálního tání (T_i) a teplota tání poslední pevné fáze, již byl ve všech případech led (T_m). Komora byla kalibrována pomocí anorganických standardů a fluidních inkluzí se známými teplotami fázových přechodů. Přesnost měření teploty je ± 0.1 °C. Jednofázové (L) inkluze byly před kryometrickými měřeními „nataženy“ přehřátím na maximálně 200 °C, tak aby po ochlazení došlo k objevení plynné bubliny a mohly být změřeny rovněž hodnoty T_f, T_i a T_m v přítomnosti plynné fáze. Salinita vodných roztoků byla vypočtena z teploty tání ledu podle rovnice Bodnara (1993).

Izotopové složení síry bylo měřeno v laboratořích České geologické služby v Praze (analytička Z. Lněničková) na hmotnostním spektrometru Finnigan MAT 251. Baryt byl rozkládán ve směsi s V₂O₅ a SiO₂ při cca 1000 °C ve vakuu. Izotopové složení síry uvolněného SO₂ bylo měřeno oproti pracovnímu standardu kalibrovaném CDT (Canyon Diablo Troilite). Výsledek izotopové analýzy je vyjádřen v ‰ odchylce od standardu CDT. Reprodukovatelnost celé metody je lepší než 0.2 ‰, chyba samotného měření je menší než 0.05 ‰.

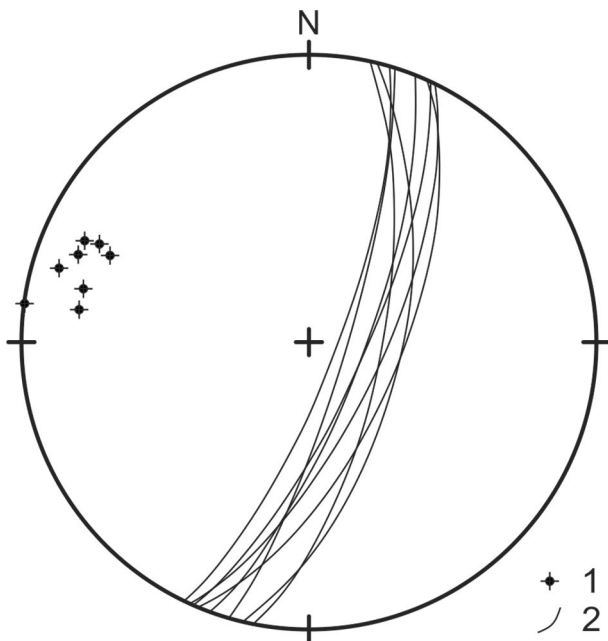
Výsledky

Barytová mineralizace je vázána na puklinu v granodioritovém porfyritu (obr. 1). Čočkovitě naduřená subvertikální porucha vykazuje v přístupné části odkryvu (výška stěny cca 8 m) mírně proměnlivý směr SSV - JJZ při



Obr. 1 Tektonická porucha s hrubě brekciovitou výplní mylonitizovaného porfyritu, šířka záběru 0.5 m. Foto M. Kovář, 2018.

sklonu 65 - 75° k VJV (obr. 2). Pravá mocnost dosahuje 35 cm při vrcholu osypu u paty lomové stěny a pozvolna se zmenšuje na 12 cm u horní hrany etáže. Převážnou část výplně poruchy tvoří ostrohonná nesoudržná drť porfyritu s převážně plochými úlomky do velikosti až 0.5 m. Místa, zejména ve svrchních partiích poruchy, nabývá výplň charakteru drčené zóny (obr. 1) s výraznými projevy kataklázy okolní horniny. Hojně se vyskytují úlomky drčené horniny s patrnými projevy vybělení, zasahujícího cca 2 až 5 mm pod povrch jednotlivých klastů. Mezeru výplň slabě zpevněné tektonické brekcie tvoří zemité hmota okrové až nápadně červené barvy (nesoudržná mezeru hmota nebyla dále studována) a místy také níže charakterizovaná barytová mineralizace. V terénu byla



Obr. 2 Orientace barytem mineralizované poruchy (1) a puklin bez barytu (2). Spodní polokoule Lambertovy projekce.

pokusně ověřována přítomnost karbonátů v jemnozrnné zemitě hmotě 15% vodným roztokem HCl s negativním výsledkem.

Baryt je přítomen ve formě silně porézních plochých drúzovitých agregátů vyplňujících otevřené pukliny mezi většími úlomky horniny v nejmocnějších partiích výše popsané pukliny (obr. 3). Tence tabulkovitý baryt se makroskopicky jeví jako růžově červený s náznaky růstové zonálnosti. Získané agregáty dosahují maximální velikosti do 10 cm. Dutiny mezi barytovými krystaly a agregáty jsou prázdné, častěji však hojně pokryté snadno rozplavitelnou jemnozrnnou hmotou jílovitého charakteru sytě červenohnědé barvy. Další komponentou, zjištěnou pouze v malém množství, je hematit.

V procházejícím světle lze již při malém zvětšení pozorovat nápadnou růstovou zonálnost barytu. Podrobnější mineralogické studium ukázalo, že baryt je ve studovaných vzorcích přítomen ve třech generacích. Nejstarší baryt I, nasedající přímo na úlomky porfyritového mylonitu, je makroskopicky hrubě tabulkovitý (jednotlivé tabulky dosahují velikosti až 2.5 mm), průhledný až průsvitný a vytváří základ, na němž narůstají obě mladší generace barytu. V mikroskopu je dobře průhledný, s jen minimálním množstvím fluidních inkluzí. V BSE obraze se ze všech generací barytu jeví jako nejtmavší (obr. 4a-c), a to v důsledku obsahu nejvyšších koncentrací Sr (kolem 4.6 hm. % SrO, odpovídající cca 0.10 *apfu* Sr) izomorfně zastupujícího baryum (tab. 1). Baryt II ve studovaných vzorcích zpravidla objemově převažuje. Narůstá na baryt I (obr. 4b), v řadě případů nelze vyloučit ani zatlačování barytu I barytem II (obr. 4a,c). Baryt II je mléčně bílý až růžový, silně zakalený v důsledku přítomnosti velkého množství fluidních inkluzí. V BSE obraze je „středně šedý“ v důsledku přítomnosti středně vysokých koncentrací Sr (1.67 - 2.65 hm. % SrO, odpovídající 0.04 - 0.06 *apfu* Sr; tab. 1). Rozdílné obsahy Sr v různých částech zrn se projevují spíše nahodilým parketováním (obr. 4c) než přítomností dobře definovaných růstových zón. Nejmladší baryt III je objemově nejméně zastoupená generace. Vytváří vnější růstové zóny na starších generacích, zdůrazňující krystalové tvary, případně samostatné krystalové nárůsty čnějící

do dutin. Dokonale omezené tenké tabulky dosahují velikosti až přes 0.5 mm. Makroskopicky jsou čiré, téměř bez obsahu fluidních inkluzí. V BSE obraze jsou ze všech tří generací nejsvětlejší (obr. 4b,c). Obsahy SrO nepřesahují 0.20 hm. % (0.003 *apfu* Sr); viz tab. 1.

Hematit je poměrně běžným pigmentem, barvicím baryt do růžova až do červena. Na kontaktu barytové žíly s okolní horninou byly zjištěny velmi jemnozrnné, měkké, málo soudržné a v BSE obraze kompozičně nehomogenní agregáty hematitu o velikosti až přes 1 mm (obr. 4d). V barytu samotném (generace I a II) byly ojediněle zjištěny i špatně lešitelné sférické agregáty, tvořené radiálně paprscitě uspořádanými tenkými hematitovými tabulkami o velikosti až 100 μm (obr. 4e). Ojediněle byly zaznamenány i růžovité agregáty, tvořené poněkud hrubšími, lépe lešitelnými tabulkami hematitu o velikosti

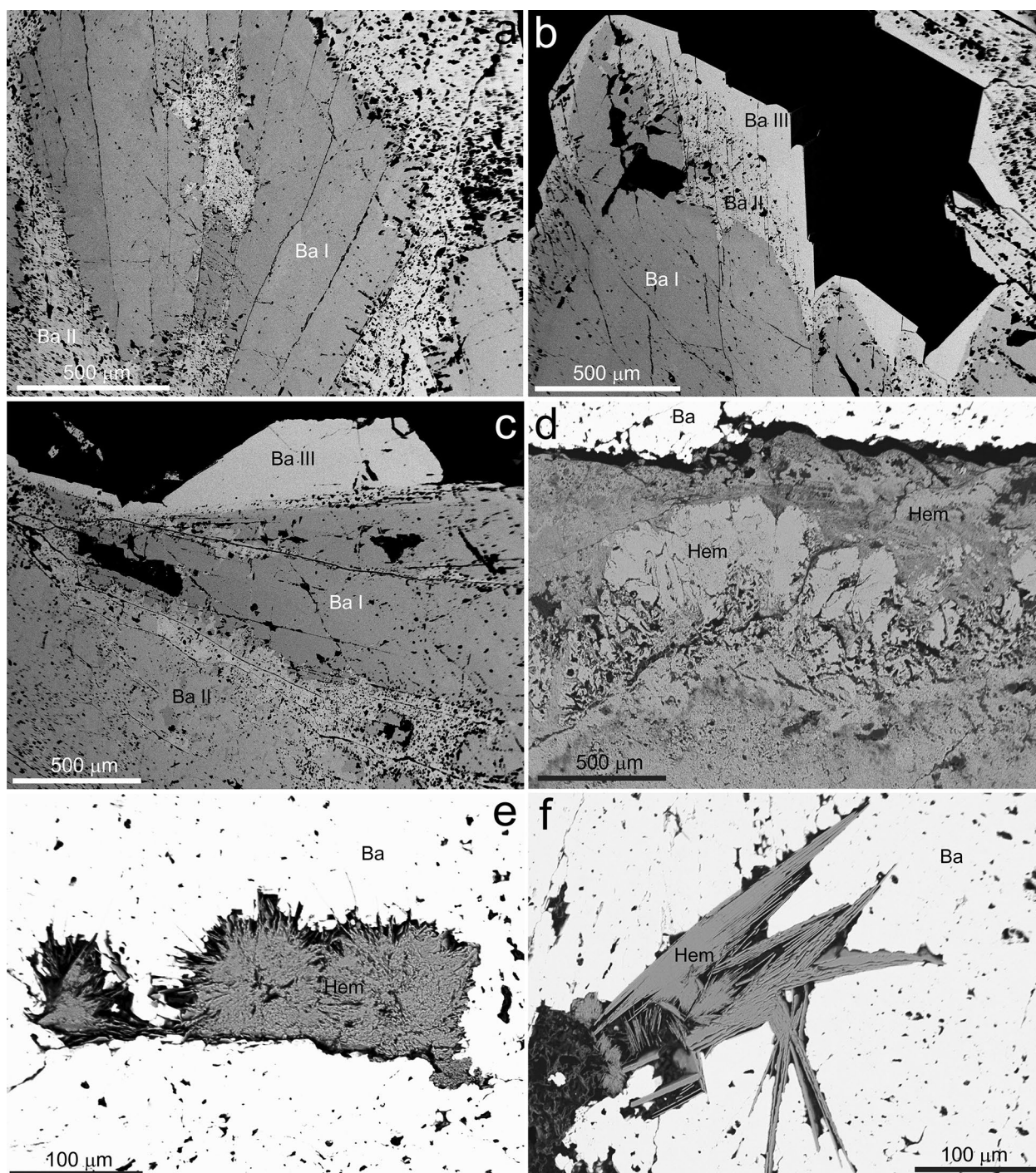


Obr. 3 Drúzovitá barytová výplň pukliny v hydrotermálně alterovaném a hematitizovaném porfyritu z Bělovsi. Velikost vzorku 11 x 8 cm. Makrofoto J. Ulmanová.

až 200 μm (obr. 4f). Chemické složení hematitu bylo ověřeno bodovými WDS analýzami. Hrubé tabulky poskytly nejčistší složení (bez Ca, Mg a Ti) i nejlepší analytické sumy (přes 99 hm. %), zatímco jemnozrné porézní agregáty hematitu na kontaktu s okolní horninou mají velmi nízké analytické sumy (kolem 90 hm. %) a zvýšené obsahy dalších prvků včetně nepochybně anizominerálních komponent (Ca, Mg). Průběžně zvýšené obsahy ve studovaných hematitech vykazaly Si (0.007 - 0.045 *apfu*), Al (0.010 - 0.025 *apfu*), V (0.003 - 0.007 *apfu*) a P (0.001 - 0.005 *apfu*; tab. 2).

Studiu fluidních inkluzí byly podrobeny všechny tři

zjištěné generace barytu. Vzorky krystalovaného barytu II a III se jeví jako velmi vhodné pro výzkum fluidních inkluzí. Tvar studovaných inkluzí je velmi variabilní, od nepravidelných amébových uzavření po dokonalé tvary tzv. „negativního krystalu“. Velikost inkluzí se obvykle pohybuje v rozmezí 10 - 40 μm . V barytu III byly ojediněle zaznamenány relativně velké inkluze (v řádu prvních mm) výrazně nepravidelného plochého tvaru, obsahující pouze kapalnou fázi. V případě barytu I převažují drobnější inkluze do velikosti 15 μm nepravidelného tvaru. Ve všech generacích barytu byly zaznamenány primární (P) i pseudosekundární (PS) inkluze obsahující plynnou a kapalnou



Obr. 4 Minerální asociace a vývin minerálů ze studované mineralizace na BSE snímcích. a-c - texturní vztahy mezi třemi generacemi barytu (Ba I, Ba II, Ba III). d-f - různé morfologické formy hematitu (Hem) přítomné ve studované mineralizaci. Ba - baryt. Všechny snímky Z. Dolníček.

(vodný roztok) fázi. Primární inkluze jsou v minerálu distribuovány nepravidelně, tvoří obvykle shluky čítající nejvýše jednotky kusů. Jsou trojrozměrné, často s výrazně reliéfním okrajem. Pseudosekundární fluidní inkluze se v procházejícím světle jeví jako ploché, rozmístěné podél vyhojených mikrotrhlin, často s velmi členitou morfologií. Pozorování PS inkluzí v barytu II ztěžuje hojná příměs hematitového pigmentu. Primární i PS inkluze v barytu jsou převážně dvoufázové, typu L+V s velmi variabilním stupněm zaplnění (F). U primárních L+V inkluzí zaujímá plynná fáze cca 30 až 80 % objemu inkluzí. V případě PS

uzavřenin činí stupeň zaplnění cca 70 až 90 %. V menší míře byly pozorovány také primární jednofázové inkluze typu L, vyplněné pouze vodným roztokem. Primární L a L+V inkluze se vyskytují pospolu v týchž shlucích. V některých vzorcích byla zaznamenána i přítomnost sekundárních inkluzí, které jsou velmi drobné (velikost <5 µm) a často velice tmavé, špatně průhledné. Tyto inkluze nebyly blíže studovány.

Výsledky mikrotermometrie P a PS inkluzí jsou shrnuty v tabulce 3. Dvoufázové L+V inkluze v barytu I vykazují rozsah teplot homogenizace od 178 do 232 °C. U plynoka-

pálních inkluzí v barytu II nebyla měřena teplota homogenizace z důvodu malé velikosti inkluzí. V L+V inkluzích z barytu III byl zjištěn velmi široký rozsah homogenizačních teplot, od 136 do 288 °C. Data vykazují naprosto náhodnou prostorovou distribuci. Řada větších PS inkluzí dekretovala před dosažením teploty homogenizace (počínaje teplotou cca 180 °C).

Při kryometrii inkluze zamrzají za teplot -63 až -22 °C (tab. 3). Vymrzlé inkluze vykazují často granulární strukturu pevných fází. U větších nepravidelných inkluzí z barytu III bylo pozorováno ztmavnutí obsahu, hnědé zbarvení zamrzlých inkluzí indikuje přítomnost NaCl - CaCl₂ solí v uzavřeném roztoku (Shepherd et al. 1985). Někdy lze pozorovat také „sklovité“ vymrzání inkluzí, kdy jedinou pozorovatelnou změnou při zamrznutí je deformace plynné fáze.

Teploty iniciálního tání se pohybují v širším intervalu mezi -40.1 až -1.1 °C v případě barytu II (obr. 5a). Čirý baryt I vyazuje užší rozmezí mezi -25.2 a -11.2 °C. Pro růžový baryt II byly naměřeny hodnoty T_i mezi -39.6 a -10.9 °C.

Teploty tání posledního krystalu ledu se pohybují v nejširším rozsahu (obr. 5b) opět u barytu II (-12.3 až -0.3 °C). Tyto hodnoty odpovídají obsahu rozpuštěných solí 0.5 až 16.5 hm. % ekvivalentu NaCl (Bodnar 1993). Nejužší rozsah hodnot T_m byl naměřen u barytu I (-2.3 až -0.9 °C), odpovídající nejnižším salinitám mezi 1.6 a 3.9 hm. % NaCl ekv. (tab. 3).

Izotopové složení síry bylo stanoveno u třech vzorků barytu, náležejících třem výše charakterizovaným generacím. Naměřené hodnoty δ³⁴S barytu jsou značně homogenní, pohybují se v úzkém rozmezí +5.5 až +7.1 ‰ CDT. Pro nejstarší baryt I byla stanovena hodnota δ³⁴S = +5.5 ‰ CDT, pro baryt II hodnota δ³⁴S = +6.1 ‰ CDT a pro baryt III hodnota δ³⁴S = +7.1 ‰ CDT.

Tabulka 1 Příklady chemického složení barytu (hm. %) a koeficienty empirického vzorce, vypočítané na bázi 4 atomů kyslíku

| An. č. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Generace | I | I | II | II | II | III | III |
| SO ₃ | 34.88 | 35.03 | 34.62 | 34.61 | 34.70 | 34.66 | 34.74 |
| P ₂ O ₅ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.11 | 0 |
| SrO | 4.66 | 4.64 | 2.65 | 2.38 | 1.67 | 0.13 | 0 |
| BaO | 59.94 | 60.48 | 63.08 | 63.04 | 64.35 | 65.76 | 66.72 |
| Na ₂ O | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.57 | 0.19 |
| Celkem | 99.48 | 100.15 | 100.35 | 100.03 | 100.72 | 101.23 | 101.65 |
| S ⁶⁺ | 1.000 | 0.999 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 0.994 | 0.998 |
| P ⁵⁺ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.004 | 0 |
| Subtot. | 1.000 | 0.999 | 0.997 | 0.999 | 0.999 | 0.998 | 0.998 |
| Sr ²⁺ | 0.103 | 0.102 | 0.059 | 0.053 | 0.037 | 0.003 | 0 |
| Ba ²⁺ | 0.897 | 0.901 | 0.949 | 0.950 | 0.967 | 0.985 | 1.000 |
| Na ⁺ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.042 | 0.014 |
| Subtot. | 1.000 | 1.003 | 1.008 | 1.003 | 1.004 | 1.030 | 1.014 |

Tabulka 2 Chemické složení hematitu (hm. %) a koeficienty empirického vzorce, vypočítané na bázi 3 atomů kyslíku

| An. č. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P ₂ O ₅ | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.09 | 0.19 | 0.10 |
| SiO ₂ | 0.69 | 0.25 | 1.31 | 1.21 | 1.51 | 1.60 |
| TiO ₂ | 0 | 0 | 0.25 | 0.25 | 0.50 | 0.46 |
| Al ₂ O ₃ | 0.79 | 0.50 | 0.41 | 0.33 | 0.60 | 0.72 |
| Fe ₂ O ₃ | 97.67 | 98.44 | 95.84 | 95.94 | 87.00 | 89.53 |
| V ₂ O ₃ | 0.17 | 0.15 | 0.31 | 0.29 | 0.22 | 0.15 |
| MgO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.10 |
| CaO | 0 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.18 |
| Celkem | 99.41 | 99.43 | 98.25 | 98.15 | 90.10 | 92.84 |
| P ⁵⁺ | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.005 | 0.002 |
| Si ⁴⁺ | 0.018 | 0.007 | 0.035 | 0.032 | 0.044 | 0.045 |
| Ti ⁴⁺ | 0 | 0 | 0.005 | 0.005 | 0.011 | 0.010 |
| Al ³⁺ | 0.025 | 0.016 | 0.013 | 0.010 | 0.020 | 0.024 |
| Fe ³⁺ | 1.944 | 1.969 | 1.923 | 1.929 | 1.892 | 1.890 |
| V ³⁺ | 0.004 | 0.003 | 0.007 | 0.006 | 0.005 | 0.003 |
| Mg ²⁺ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.004 |
| Ca ²⁺ | 0 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.002 | 0.005 |
| Catsum | 1.993 | 1.997 | 1.986 | 1.987 | 1.980 | 1.983 |

Tabulka 3 Výsledky mikrotermometrických měření fluidních inkluzí. Čísla v závorkách udávají počet měření. Vysvětlení symbolů - viz text.

| generace barytu | F | T _i [°C] | T _i [°C] | T _m [°C] | T _m [°C] | salinita [hm. %] |
|-----------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|
| I. čirý | 0.40 - 0.95 (24) | -47 / -37 (23) | -25.2 / -11.2 (19) | -2.3 / -0.9 (21) | 178 / 232 (4) | 1.6 / 3.9 (21) |
| II. bílý | 0.20 - 0.95 (33) | -63 / -34 (27) | -40.1 / -1.1 (18) | -12.3 / -0.3 (23) | - - | 0.5 / 16.5 (23) |
| III. růžový | 0.25 - 0.80 (27) | -52 / -22 (24) | -39.6 / -10.9 (20) | -7.9 / -1.2 (22) | 136 / 288 (11) | 2.2 / 11.6 (22) |

Diskuse

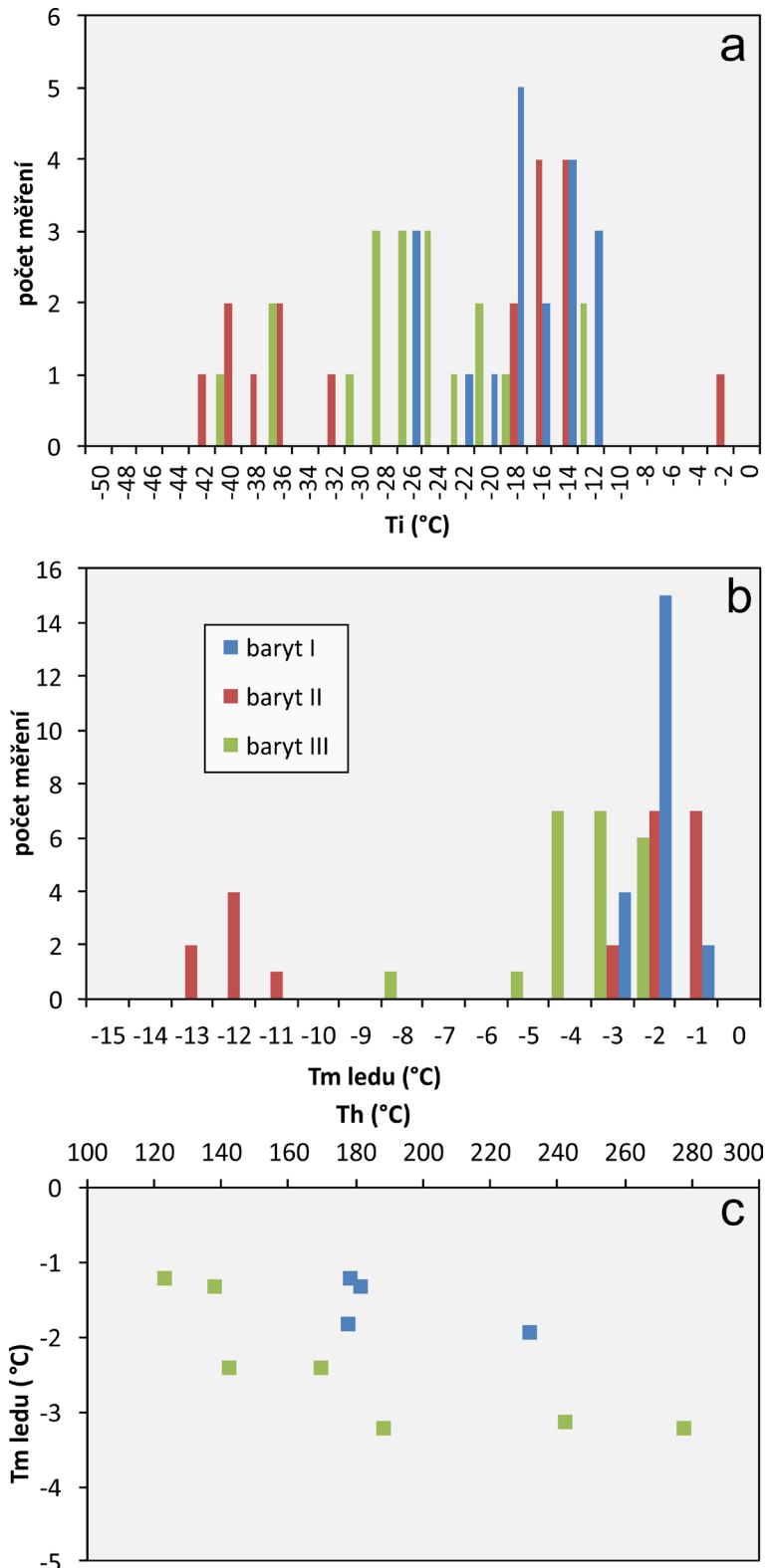
Minerální složení a charakter nově nalezené mineralizace dobře odpovídají pozdně variským („staroalpidním“ ve smyslu Chrt 1988) barytovým mineralizacím Českého masivu, náležejícím formaci tzv. červeného barytu, jejímiž typickými reprezentanty jsou lokality Mackov, Bohousová, Novina a Křižany (Chrt 1988). Podmínky vzniku tohoto typu mineralizace nejpodrobněji řešili Žák et al. (1990). Autoři uvádějí homogenizační teploty fluidních inkluzí v barytech z lokalit Mackov a Bohousová do 175 °C, salinity mezi 4 a 12 hm. % NaCl ekv. a přítomnost chloridů Na a Mg. Zdroj síry a také minimálně části fluid spatřují v platformních (zejména permských) sedimentech, které v době vzniku těchto mineralizací pokrývaly mnohem větší oblasti Českého masivu než dnes.

Geologická pozice námi studované lokality je z pohledu výše uvedené možné interpretace zdroje fluid více než příznivá. Permské sedimenty hojně vystupují v bezprostředním okolí lokality i v dnešním erozním řezu. Z pohledu regionálně-geologického začlenění je námi studovaná oblast situována v oblasti východního ukončení podkrkonošské pánve a jejího přechodu v podorlický perm.

Souvislost s fluidy generovanými (nebo alespoň významně ovlivněnými) permskými horninami naznačuje i zjištěná zvýšená koncentrace vanadu v hematitu. Vanad je charakteristickým elementem permských sedimentů a vulkanitů podkrkonošské pánve a jejich mineralizací (např. Johan, Povondra 1987; Moravec, Pauliš 1990; Pauliš 1993; Vavřín, Frýda 1996; Vytopilová 2011).

Chemické složení fluid, uzavřených ve fluidních inkluzích námi studovaných barytů, je velice variabilní, pokud se týká celkové salinity i přítomných solných systémů. Velmi široký naměřený interval hodnot T_i (mezi -1.1 a -40.1 °C) nasvědčuje velmi proměnlivému solnému obsahu jednotlivých inkluzí, a tedy účasti různých typů fluid s odlišným chemismem. Hodnoty T_i kolem -35 až -37 °C jsou charakteristické pro vodné roztoky s obsahem FeCl_2 či MgCl_2 , T_i kolem -21 °C pro roztoky s NaCl, hodnoty T_i kolem -11 °C pro roztoky s KCl a hodnoty kolem -1 až -5 °C pro systémy s (hydrogen)síranu či (hydrogen)uhličitany Na a/nebo K (Borisenko 1966). Na základě hodnot T_i nelze předpokládat přítomnost systémů s CaCl_2 , a to přesto, že bylo pozorováno hnědé zbarvení některých vymrzlých inkluzí, které jsou pro roztoky s CaCl_2 charakteristické (např. Shepherd et al. 1985). Převážně velmi podobné široké rozsahy hodnot T_i byly zjištěny i v mineralizacích přítomných přímo v permských horninách (sedimentech a vulkanitech) Českého masivu (Kratinová 2007; Jirásek et al. 2013; Průchová 2016; Z. Dolníček, *nepubl. data*). Široká variabilita chemismu vod recentních kontinentálních jezer typu

playa [s příklady bohatými na chloridy, sírany, uhličitany či boráty (přehledně např. Garrett 1992, 2001)], k nimž jsou zdrojnice fluid v oblasti Českého masivu v období permu nejčastěji připodobňovány (Žák et al. 1990; Křibek et al. 2009; Dolníček et al. 2014), tak velmi dobře koresponduje s údaji ze studia fluidních inkluzí.



Obr. 5 Výsledky mikrotermometrie fluidních inkluzí z barytu z Bělšovsi. a - histogram teplot iniciálního tání; b - histogram teplot tání posledního ledu; c - diagram T_h - T_m pro dvoufázové L+V inkluze.

Celková salinita námi studovaných fluidních inkluzí se pohybuje v širším intervalu mezi 0.5 a 16.5 hm. % NaCl ekv. Tento rozsah hodnot je rovněž zcela v souladu s údaji pro mineralizace permských sedimentárních pánví (Kratinová 2007; Vytopilová 2011; Jirásek et al. 2013; Průchová 2016; Z. Dolníček, *nepubl. data*). Ojedinelý výskyt vyšších hodnot salinity (až 20 - 26 hm. % NaCl ekv.; Průchová 2016) může souviset s lokálním uplatněním fluid odlišného složení a/nebo jiné geneze (viz též Žák et al. 1990).

Rozporné jsou závěry plynoucí z fázového složení fluidních inkluzí a také interpretace směřující k odvození teplot vzniku barytu. Na jedné straně jsou ve studovaných barytech přítomny dvoufázové L+V inkluze s poměrně vysokými teplotami homogenizace (136 - 288 °C). Na druhé straně jsou v prostorové asociaci s L+V inkluzemi i čistě kapalně L-inkluze, jež by podle různých autorů měly vznikat za teplot pod 50 °C (Goldstein, Reynolds 1994), respektive pod 100 °C (Kříbek et al. 2009). Příčinou nepravidelného zaplnění primárních fluidních inkluzí ve studovaném barytu může být heterogenní záchyt plynné fáze, zaškrcování („necking-down“) či postdepoziciční porušení inkluzí (Bodnar et al. 1985). Tyto možnosti jsou v souladu i s charakterem distribuce dat v diagramu T_h vs. T_m , která je charakterizována velkým rozptylem a subhorizontálním protažením datového pole (obr. 5c). Je třeba zdůraznit, že baryt je vzhledem ke své nízké tvrdosti a výborné štěpnosti ve třech směrech považován za hostitelský minerál velmi náchylný k mechanickému postdepozicičnímu porušení hermetičnosti inkluzí (Ulrich, Bodnar 1988; Žák et al. 1990; Jirásek et al. 2013), takže je potřeba mít na zřeteli i možnost, že naměřené dosti vysoké hodnoty T_h dvoufázových inkluzí nemusí mít žádný geologický význam. Teplota vzniku studované mineralizace byla tedy pravděpodobně kolem 100 °C nebo i nižší.

Hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ námi studovaného barytu patří k nejnižším v rámci celého Českého masivu (srov. Žák et al. 1990). Vzhledem k absenci sulfidů a hojně přítomnosti hematitu ve studované mineralizaci lze předpokládat, že izotopové složení síry barytu je blízké hodnotě $\delta^{34}\text{S}$ celkové síry matečného fluida (Ohmoto 1986). Zároveň přítomnost hojného hematitu nasvědčuje vysoké fugacitě kyslíku v roztocích. Interpretace zdroje takto izotopicky lehké síry může být v dané situaci dvojitá. Za prvé může jít o síru mobilizovanou oxidačně působícími roztoky z okolní magmatické horniny. Magmatity obecně mají hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ obvykle mezi cca 0 a +10 ‰ CDT (např. Hoefs 1997), přičemž je v nich síra vázána zejména na akcesorické sulfidy, které nejsou v oxidačním prostředí stabilní. O mobilizaci síry prostřednictvím oxidačních procesů postihujících akcesorické sulfidy (pyrit, arsenopyrit, pyrhotin, covellin a chalkozín) uvažují v dané oblasti i Černý et al. (2003). Druhou možností je přínos sulfátové síry fluidy z externího zdroje. Ani tato možnost není z pohledu výše nastíněné interpretace geneze fluid v permských sedimentárních pánvích nereálná - jak uvádějí Žák et al. (1990), hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ evaporitových sulfátů lokálně dochovaných v permských kontinentálních sedimentech Českého masivu se pohybují v intervalu +5.5 až +20.0 ‰ CDT s průměrnou hodnotou +10.4 ‰ CDT.

Postupné zvyšování hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ barytu souhlasně s paragenetickým vývojem mineralizace lze vysvětlit buď postupnou změnou hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ cirkulujících matečných fluid nebo - při nezměněném zdroji síry - prostým poklesem teploty hydrotermálního roztoku. Pokud bychom

uvažovali druhou možnost, rozdíl v hodnotách $\delta^{34}\text{S}$ barytu I a barytu III, který činí 1.6 ‰, by odpovídal za předpokladu vzniku mineralizace za teploty kolem 100 °C poklesu teploty o cca 8 °C (kalibrace podle Ohmota, Rye 1979).

Izotopická data barytu získaná v rámci studie Žáka et al. (1990) z blízké lokality Bohousová, s níž by bylo možné nejspíše porovnat naše výsledky, dosud nebyla samostatně publikována (osobní sdělení K. Žák 2018).

Závěr

Nově popsaný výskyt barytové mineralizace v Bělovsi u Náchoda je vázán na strmou puklinu směru SSV - JJZ v žíle granodioritového porfyritu, prorážející fylity novoměstské skupiny orlicko-sněžnického krystalinika. Vedle tří generací barytu, lišících se obsahem Sr (~0.10 *apfu* v nejstarší generaci, ~0.003 *apfu* v nejmladší generaci), byl zjištěn ještě v malém množství hematit. Primární fluidní inkluze v barytu náleží typu L a L+V; rozkolísané fázové složení je patrně důsledkem postdepozicičního poškození části přítomných inkluzí. Široký rozsah teplot iniciálního tání (-40 až -1 °C) a teplot tání ledu (-0.3 až -12.3 °C) nasvědčují přítomnosti fluid s velmi variabilním chemickým složením i salinitou. Hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ barytů jsou mezi +5.5 a +7.1 ‰ CDT. Studovaná mineralizace je svým minerálním složením, chemickým složením minerálů i genetickými parametry blízká pozdně variským žilným barytovým mineralizacím Českého masivu. Zdroj fluid je interpretován v evaporovaných vodách permských jezer, pocházejících z bezprostředně sousedící krkonošské pánve.

Poděkování

Autoři děkují J. Ulmanové za vyfotografování vzorku s barytem. Předložená práce vznikla za finanční podpory Ministerstva kultury ČR v rámci institucionálního financování dlouhodobého koncepčního rozvoje výzkumné organizace Národní muzeum (DKRVO 2019-2023/1.II.b, 00023272). P. Dobešovi a J. Zachariášovi děkujeme za recenzní připomínky, které přispěly k vylepšení rukopisu.

Literatura

- APL J, BIŽA J, CHRT J, KOROŠ I, KRONEŠ J, PROCHÁZKA J, SAULI P, SLEZÁK L, ŠULCOVÁ V, UNZEITIG M, VLASÁK J (1988) Vyhledávací průzkum Bohousová. Surovina: baryt. Stav ke dni 31.1.1988. MS, archiv ČGS - Geofond, ČGS Praha. GF P068287
- BODNAR RJ (1993) Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochim Cosmochim Acta* 57: 683-684
- BODNAR RJ, REYNOLDS TJ, KUEHN CA (1985) Fluid inclusion systematics in epithermal systems. In BERGER BR, BETHKE PM (eds): *Geology and geochemistry of epithermal systems*. *Rev Econ Geol* 2: 73-97
- BORISENKO AS (1977) Izučeniye solevogo sostava rastvorov gazovožidkikh vključenij v mineralach metodom kriometrii. *Geol Geofiz* 8: 16-27
- ČERNÝ P, DOUBEK Z, VESELOVSKÝ Z (2003) Nerosty z Bělovsi u Náchoda - Jiráskova lomu. *Minerál* 11(6): 406-418
- DOLNÍČEK Z, RENÉ M, HERMANNOVÁ S, PROCHÁZKA W (2014) Origin of the Okrouhlá Radouň episyenite-hosted uranium deposit, Bohemian Massif, Czech Republic: fluid inclusion and stable isotope constraints. *Miner Deposita* 49, 4: 409-425
- DOMEČKA K, OPLETAL M (1972) Granitoidy severní části novoměstské série. MS, archiv ČGS - Geofond, ČGS Praha. GF P022929

- DOMEČKA K, OPLETAL M (1976) Stratigrafie, stavba a metamorfóza severní části novoměstské série. Sbor geol věd G 28: 157-187
- DOMEČKA K, OPLETAL M (1980) Metamorphosed Upper Proterozoic tholeiites of the N.E. part of the Bohemian Massif. *Krystalinikum* 15: 55-80
- DOMEČKA K, OPLETAL M, POŠMOURNÝ K (1975) Barytová mineralizace v orlicko-kladské klenbě. *Věst Ústř Úst Geol* 50, 1: 9-19
- FAJST M, HOLÁSEK O (1961) Soupis lomů ČSSR, list 3856 Náchod. Nakl ČSAV, Praha
- FEDIUK F (1960) Porfyrroid v novoměstských fylitech z Bělovsí u Náchoda. *Acta mus Reginaehradec, Sci nat* 1(2): 19-25
- GARRETT DE (1992) Natural soda ash: Occurrences, processing and use. Van Nostrand Reinhold, New York
- GARRETT DE (2001) Sodium sulfate: Handbook of deposits, processing, properties, and use. Academic Press, San Diego, etc
- GOLDSTEIN RH, REYNOLDS TJ (1994) Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *Society for Sedimentary Geology, SEPM Short Course Notes Series*, 31: 1-199. Tulsa
- HOŠEK M (1964) K výskytům Cu-zrudení v magmatitech Podkrkonoší. *Čas Mineral Geol* 9(3): 261-266
- HOEFS J (1997) Stable isotope geochemistry. Springer Verlag, Berlin - New York, 201 pp
- CHRT J (1988) Barite formations of the Bohemian Massif. *Geol Průzk* 30: 65-68
- JIRÁSEK J, DOLNÍČEK Z, MATÝSEK D, ŠKODA R (2013) Barytová mineralizace ve svrchnokarbonských slepencích na lokalitě Pecka-Hrubá skála (podkrkonošská pánev, Česká republika). *Bull mineral-petrolog Odd Nár Muz (Praha)* 21, 2: 195-200
- JOHAN Z, POVONDRA P (1987) Vanadium- and copper-bearing dolomite nodules from Permian sediments near Horní Kalná, Czechoslovakia. *N Jahrb Mineral Abh* 157, 3: 245-266
- KOZDRÓJ W, TURNIAK K, TICHOMIROVA M, BOMBACH K, KACHLÍK V, ZIÓLKOVSKA-KOZDRÓJ M (2005) New $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zircon ages from the east Karkonosze Metamorphic Complex, West Sudetes - evidence of the Late Cambrian-Early Ordovician magmatism. *Geolines* 19: 69-70
- KRATINOVÁ L (2007) Alterace hornin boskovické brázdy - produkt fosilního hydrotermálního systému? MS, diplomová práce, PŘF MU Brno
- KRÖNER A, JEACKEL P, HEGNER E, OPLETAL M (2001) Zircon ages and whole-rock Nd isotopic systematic of early Paleozoic granitoid gneiss from the Czech and Polish Sudetes (Jizerské hory, Krkonoše Mountains and the Orlice-Sněžník Complex). *J Earth Sci (Geol Rdsch)* 90: 304-324
- KŘÍBEK B, ŽÁK K, DOBEŠ P, LEICHMANN J, PUDILOVÁ M, RENÉ M, SCHARM B, SCHARMOVÁ M, HÁJEK A, HOLECZY D, HEIN UF, LEHMANN B (2009) The Rožná uranium deposit (Bohemian Massif, Czech Republic): shear zone-hosted, late Variscan and post-Variscan hydrothermal mineralization. *Miner Deposita* 44: 99-128
- MORAVEC B, PAULIŠ P (1990) Vésigniéit ze Studence u Jilemnice. *Čas Mineral Geol* 35,4: 430
- OHMOTO H (1986) Stable isotope geochemistry of ore deposits. *Rev Mineral* 16: 491-559
- OHMOTO H, RYE RO (1979) Isotopes of sulfur and carbon. In BARNES HL (ed.): *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: 509-567. John Wiley & Sons
- OPLETAL M (2015) Porfyrroidy jsou kritické horniny pro paralelizaci jednotek lugika. *Zpr Vlast muz Olom* 309: 73-82
- OPLETAL M, DOMEČKA K, ČECH S, ČUTA M, FAJST M, HOLUB V, KAČURA G, LIBALOVÁ J, POŠMOURNÝ K, SEKYRA J, STRÍDA M, ŠALANSKÝ K, ŠULCEK Z, TÁSLER R, VALEČKA J (1980) *Geologie Orlických hor. ÚÚG, Praha*
- OPLETAL M, POŠMOURNÝ K, DOMEČKA K (1978) Nález fluoritové mineralizace v centrální části orlicko-kladské klenby. *Čas Mineral Geol* 23, 2: 183-188
- PAULIŠ P (1993) Volborthit, $\text{Cu}_3(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ze Studence u Jilemnice. *J Czech geol Soc* 38: 1-2: 112
- POUCHOU JL, PICOIR F (1985) "PAP" ($\phi\phi Z$) procedure for improved quantitative microanalysis. In: ARMSTRONG JT (ed.): *Microbeam Analysis*: 104-106. San Francisco Press, San Francisco
- PRŮCHOVÁ K (2016) Mineralogie a podmínky vzniku vybraných typů hydrotermální mineralizace boskovické brázdy. MS, diplomová práce, PŘF UP Olomouc
- ROEDDER E (1984) Fluid inclusions. *Rev Mineral* 12: 1-644
- SHEPHERD TJ, RANKIN AH, ALDERTON DHM (1985) A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow and London
- ULRICH MR, BODNAR RJ (1988) Systematics of stretching of fluid inclusions. II. Barite at one atmosphere confining pressure. *Econ Geol* 83: 1037-1046
- VAVŘÍN I, FRÝDA J (1996) Mineralizace Cu-Ag-V-Hg v mela-fyru ze Studence u Jilemnice (Podkrkonoší). *J Czech geol Soc* 41: 33-41
- VEJLUPEK M (1990) Geologická mapa ČR, 1 : 50 000, list 04-33 Náchod. Ústřední ústav geologický, Praha
- VYTOPILOVÁ H (2011) Mineralogie hydrotermálních výskytů s Cu-zrudením v paleovulkanitech Podkrkonoší. MS, diplomová práce, PŘF UP Olomouc
- ŽÁK K, ČADEK J, DOBEŠ P, ŠMEJKAL V, REICHMANN F, VOKURKA K, SANDSTAT JS (1990) Vein barite mineralization of the Bohemian Massif: Sulfur, oxygen and strontium isotopes and fluid inclusion characteristics and their genetic implications. In POOLE FG, DOBEŠ P (eds): *Proceedings of the Symposium on Barite and Barite Deposits*: 35-49 Geological Survey Prague