Srovnání koncentrací Hg ve vybraných horninách CHKO Brdy v tepelsko-barrandienské oblasti

Contents of Hg in various rocks of the Brdy Protected Landscape Area, Teplá-Barrandian unit, Czech Republic

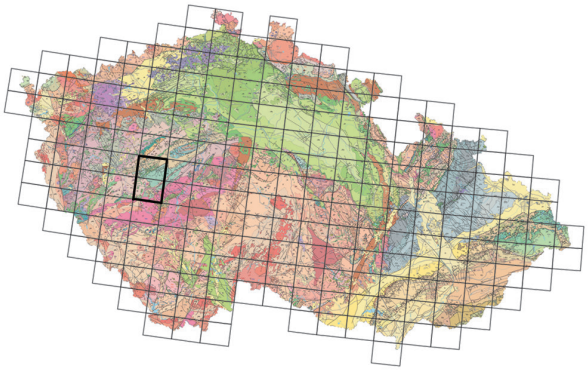
Michal Roll[1, 2] – Karel Žák[1] – Tereza Nováková[1] – Tomáš Navrátil[1]

[1] Geologický ústav AV ČR, v. v. i., Rozvojová 269, 165 00 Praha 6; roll@gli.cas.cz
[2] Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Please cite this article as: Roll, M. – Žák, K. – Nováková, T. – Navrátil, T. (2018): Contents of Hg in various rocks of the Brdy Protected Landscape Area, Teplá-Barrandian unit, Czech Republic. – Geoscience Research Reports, 51, 47–51. (in Czech)

Key words: Mercury, carbon, sulfur, concentrations, Brdy, Teplá-Barrandian unit, Neoproterozoic, Paleozoic

Summary: The Brdy Protected Landscape Area is built of geologically heterogeneous units with numerous rock types which locally show signs of hydrothermal alterations. This study was carried out as an additional investigation to the mapping of local forest humic soils contaminated by Hg. Results of the survey did not exactly correspond to the so far known history of Hg pollution in the area, and therefore a possible influence of bedrock with naturally elevated Hg contents was studied. Samples from seventeen lithological types, which are characteristic of the Brdy Protected Landscape Area, were analyzed (Table 1, Fig. 1). Both inorganic and organic carbon and sulfur were analyzed using a carbon/sulfur analyzer Eltra CS 530, whereas mercury was analyzed by means of AMA 254, a single-purpose atomic absorption spectrometer. The highest concentrations of Hg were detected in Carboniferous sedimentary rocks of the Mirošov Basin rich in organic carbon, for example a black coal from Záborčí with Hg content of 9 347 ppb or carbon-rich siltstone with concentration of 1 339 ppb Hg. Ore samples with sulfides showed also high contents of Hg such as an oolitic Fe-ore from the locality of Jedová hora contained 1 017 ppb Hg, and a lens of hydrothermal ore consisting mostly of limonite and hematite confined to quartzite (Žák et al. 2014) at Přední Záběhlá showed 757 ppb Hg. Ordovician period in the Prague Basin is characterized by higher concentrations of Hg in volcanic rocks and related volcanoclastic sediments (Sattran et al. 1978). Concentrations of Hg in diabase from Jedová hora (4 158 ppb) and quartzite from the Felbabka locality (100 ppb) obviously support data mentioned above. A conglomerate of supposedly Cambrian age found at Jezevčí skála (Havlíček et al. 1986) also revealed high content of Hg (1 540 ppb). As Cambrian conglomerates from other localities of the area do not exhibit elevated Hg contents, the origin of high Hg in the Jezevčí skála conglomerates remains unclear; it may be related to some processes taking place during the Ordovician. Unusually high is also the Hg content in a sample of schist to greywacke of Neoproterozoic age (up to 4 194 ppb) which is likely to be connected with basic volcanic material contained in the sample. Another sample with remarkably high content of Hg is a Carboniferous arkose from the Záborčí Hill at Mirošov (778 ppb) that could be explained by higher content of Hg derived from eroded underlying coal bed, or due to secondary dissemination of sulfidic mineralization in the Mirošov Basin (Pešek et al. 2001). The results of this study indicate Hg to be related to Ordovician or even Neoproterozoic basic volcanism. However, in order to prove this assumption and to come to more reliable conclusions some more sampling and more detailed investigation should be carried out in future.



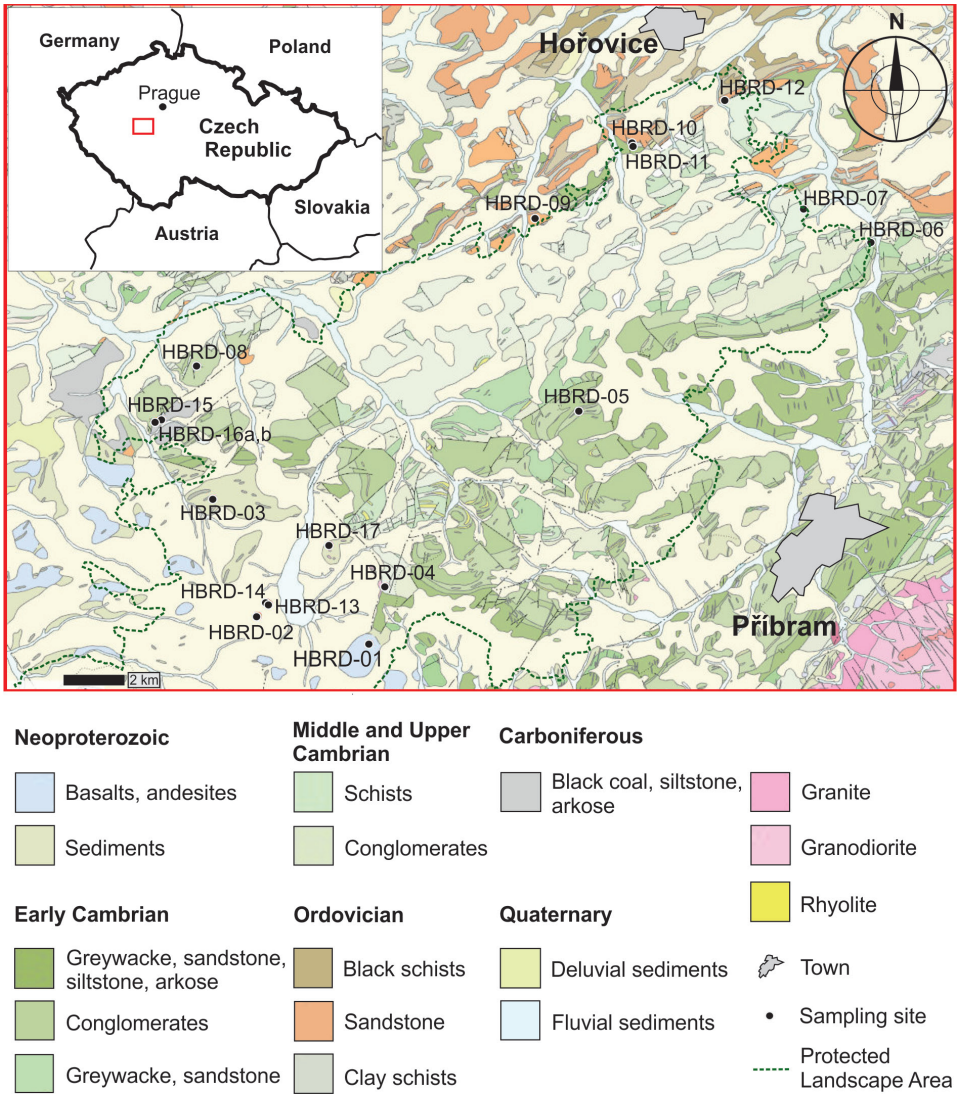
(12-34 Hořovice, 22-12 Březnice)

Tato studie byla vypracována jako doplňková informace při mapování kontaminace organických horizontů lesních půd na území CHKO Brdy rtutí. Výsledky mapování lesních půd totiž přesně neodpovídaly historii depozice rtuti v dané oblasti, a proto byl zkoumán také možný vliv podložních hornin. CHKO Brdy je z geologického hlediska poměrně pestrá oblast, řada horninových typů je zde navíc ovlivněna pozdějšími hydrotermálními procesy. Na území CHKO Brdy bylo odebráno sedmnáct litologických typů, které jsou pro tuto oblast významné či zajímavé. Studie potvrdila afinitu Hg k některým prvkům, jako např. k uhlíku (Yudovich – Ketris 2005) a síře (Beuge 1976). Práce také potvrzuje zvýšené obsahy Hg v horninách ordovického stáří, které uvádí Sattran et al. (1978).

Geologie oblasti

CHKO Brdy a její okolí tvoří převážně neoproterozoické a spodněpaleozoické jednotky, náležející z regionálně

DOI 10.3140/zpravy.geol.2018.01



Obr. 1. Mapka odběrových míst. Podkladová geologická mapa podle Havlíčka et al. (1986).
Fig. 1. Sampling sites plotted on geological map compiled by Havlíček et al. (1986).

geologického hlediska k bohemiku (tepelsko-barrandienské oblasti). V neoproterozoiku jsou to především prachovce a droby s častými polohami silicitů, bazaltů a dalších typů převážně submarinních vulkanitů. Na nich diskordantně spočívají kambrické uloženiny příbramsko-jinecké pánve, tvořené zejména slepenci, drobami a pískovci, s ojedinělými vložkami prachovců a břidlic, na kterých spočívají pestré prachovce jineckého souvrství, řazené ke střednímu kambriu. Svrchní kambrium je zastoupeno především intermediálními vulkanity tzv. strašického komplexu (Chlupáč et al. 2011). Ordovické sedimenty zachované při severozápadní hranici CHKO Brdy tvoří neúplný vrstevní sled drob, jílovitých břidlic, prachovců a slepenců, počínaje třenickým souvrstvím (tremadoc) až po vinické souvrství (nižší svrchní ordovik), který Chlupáč et al. (2011) popsali jako typický příklad okrajového moře s transgresně-regresními cykly. Ordovického stáří je též komárovský vulkanický komplex, tvořený bazickými, hlavně submarinními vulkanity s výraznou převahou pyroklastik. S ním souvisí sedimentární ložiska oolitických Fe-rud, na které je v širším okolí Berouna a Komárova vázána Hg-mineralizace (Sattran et al. 1978). Do území CHKO Brdy také zasahuje okraj mirošovské pánve karbonského stáří. Zdejší hrubě klastické sedimenty (slepence, arkózy) radnických a nýřanských vrstev se zjemňují směrem do nadloží (prachovce, jílovce, kořenové půdy, uhelné sloje).

Na studovaném území intrudovalo v období spodního karbonu také několik menších těles granitoidů, z nichž plošně největší je padrťské těleso (Žák et al. 2014). Tělesa těchto granitoidů způsobila kontaktní metamorfózu okolních neoproterozoických a kambrických hornin, místy s projevy hydrotermální mineralizace.

Popis vzorků

Vzorkování se zaměřilo na část CHKO, která byla dříve součástí vojenského újezdu. Lokality, ze kterých byly jednotlivé vzorky odebrány, jsou vyznačeny na obr. 1. Komplexní posouzení problematiky obsahů Hg v horninách celé oblasti CHKO Brdy by vyžadovalo vyšší počty vzorků, než mohly být zpracovány v této doplňkové studii. Vzhledem k jejich omezenému počtu byly ovzorkovány i některé plošně málo významné typy hornin, u nichž

lze očekávat zvýšené obsahy Hg. Celkem bylo ve studované oblasti odebráno sedmnáct vzorků hornin (tab. 1): tři z blovického souvrství neoproterozoického stáří (HBRD-1–3), šest vzorků hornin kambria (HBRD-4–9), tři vzorky hornin ordovického stáří (HBRD-10–12), dva vzorky variských granitoidů (HBRD-13,14), dva vzorky karbonských sedimentů mirošovské pánve (HBRD-15,16) a vzorek Fe-minerálů hydrotermální mineralizace karbonského stáří (HBRD-17). Vzorky z neoproterozoika jsou: tmavý, místy páskovaný silicit s texturou připomínající stromatolity (HBRD-1), submarinní metabazalt (spilit, HBRD-2) a mírně navětralá břidlice až droba s alteracemi na puklinách. Šest vzorků hornin kambria představuje téměř celý vrstevní sled příbramsko-jinecké pánve:

– hematitizovaný červený pískovec až droba sádeckého souvrství v blízkosti exokontaktu padrťského tělesa (HBRD-4);
– světlý hořický pískovec holšinsko-hořického souvrství (HBRD-5);
– vzorek slepence slonovecké facie kloučecko-čenkovského souvrství s částečně železitým tmelem (HBRD-6);
– šedozelený prachovec jineckého souvrství s patrnými sekundárními minerály Fe a Mn (HBRD-7);
– petromiktní slepenec zřejmě z ohrazenického souvrství s převahou křemenných a silicitových valounů do 2 cm (HBRD-8);
– andezit až andezitobazalt strašického vulkanického komplexu (HBRD-9).

Vzorky ordovického stáří tvoří chudá oolitická Fe-ruda bez viditelných krystalů cinabaritu z hlavního odvalu jámy Barbora na Jedové hoře u Neřežína, která náleží šáreckému či klabavskému souvrství (HBRD-10), dále pak silně zvětralý a karbonatizovaný diabas, také bez viditelného zrudnění, náležející komárovskému vulkanickému komplexu (HBRD-11) a vzorek světlého skaleckého křemence s četnými povlaky Fe-minerálů, který patří do dobrotivského souvrství (HBRD-12). Dalšími studovanými vzorky jsou granitoidy padrťského tělesa: granodiorit nově datovaný Žákem et al. (2014) na 342,8 ± 1,1 Ma, který reprezentuje základní horninový typ (HBRD-13), a tzv. teslínský leukogranit, který tvoří okrajovou facii tohoto tělesa (HBRD-14). Karbon je zastoupen lehce nafialovělou arkózou (HBRD-15) a vzorkem uhelné sloje, tvořené černým páskovaným uhlím s polohami uhelných prachovců (HBRD-16a,b). Poslední je vzorek obsahující především limonit a hematit (HBRD-17), odebraný z drobné hydrotermální mineralizace, pravděpodobně karbonského stáří (Žák et al. 2014), která údajně obsahovala také antimonit (Ambrož 1865); nově však na dvou známých výchozech Žák et al. (2014) prokázali pouze jehlicovitý arzenopyrit a v jednom případě také molybdenit. Hostitelskou horninou hydrotermální mineralizace jsou kvarcitové čočky, které vystupují v těsném exokontaktu padrťského tělesa.

Metodika

Vzorky byly odebírány tak, aby reprezentovaly určitý průměr daného horninového typu. Z každé lokality byly odebrány menší úlomky horniny z několika míst tak, aby v materiálu byly kromě typických hornin i nejrůznější alterace. U jemnozrnných sedimentů, vulkanitů a granitoidů byla počáteční hmotnost vzorku 1–2 kg, u hrubozrnných hornin (slepenců) byly odebrány vzorky o hmotnosti cca 10 kg. Většina laboratorních prací, pokud není uvedeno jinak, pochází z laboratoří Geologického ústavu AV ČR, v. v. i., v Praze.

Vzorky byly nejprve drceny na hrubou frakci pomocí čelisťového drtiče Fritsch (s velikostí zrna na výstupu cca 2–3 mm), poté na jemnější frakci pomocí válcového mlýna (výrobce Železnorudné baně Spišská Nová Ves) a následně pulverizovány v prstencovém achátovém mlýnu firmy Siebtechnik na analytickou jemnost (doba mletí cca 35 minut). V takto připravených vzorcích byl následně měřen obsah Hg pomocí přístroje AMA 254 metodou generace studených par se spektroskopickou detekcí (CV-AAS). Každý vzorek byl měřen ve třech různých navážkách a výsledné hodnoty, uvedené v tab. 1, jsou aritmetickým průměrem daných měření. Analýza vzorku byla akceptována, pokud relativní standardní odchylka tří měření byla < 5 %. Pro zajištění kvality měření byl použit referenční materiál „Metranal 32 – lehká písčitá půda“ s deklarovaným obsahem Hg 90 ± 12 ppb, přičemž stanovené koncentrace Hg dosahovaly 100 ± 0,8 ppb při počtu stanovení $n = 3$. Obsahy organického a anorganického uhlíku a síry byly ve vzorcích změřeny na pracovišti Laboratoří geologických ústavů PřF UK v Praze pomocí přístroje Eltra CS 530, před měřením byl použit certifikovaný referenční materiál „JSO-1 Soil“ a standardní referenční materiál „SRM 1646a – Estuarine Sediment“.

Výsledky

Rozmezí hodnot koncentrace Hg ve studovaných vzorcích se pohybuje od jednotek až po několik tisíc ppb, jak je vidět v tab. 1. Nejnižších hodnot dosahují kyselé magmatity a vzorek metabazaltu (spilitu), většina siliciklasitických hornin vykazuje hodnoty odpovídající obvyklým průměrným koncentracím, zbylé vzorky mají mnohonásobně vyšší koncentrace Hg, než je pro dané horniny běžné. U těchto vzorků je zřejmá časová i genetická závislost, která je blíže probrána v diskusi.

Diskuse

Klarková hodnota rtuti v zemské kůře se pohybuje pouze v prvních desítkách ppb a např. Beuge (1976) uvádí hodnotu 53 ppb. V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné obsahy Hg v horninách podle Sattrana et al. (1978). Řada hornin analyzovaných v této studii odpovídá svými obsahy Hg běžným hodnotám, především siliciklastika 18–49 ppb, tedy horniny tvořené z větší části křemenem; průměrná hodnota Hg v křemeni je 13 ppb (Beuge 1976). Nižší obsahy Hg, 7–13 ppb, mají vzorky kyselých magmatitů (HBRD-9, 13, 14) a vzorek metabazaltu (spilitu) (HBRD-2) 21 ppb.

Tabulka 1. Koncentrace rtuti, anorganického a organického uhlíku a síry ve studovaných vzorcích z oblasti CHKO Brdy
Table 1. Concentrations of mercury, inorganic and organic carbon and sulfur in studied samples from the Brdy Protected Landscape Area

sample	rock	locality	lithostratigraphy	Hg (ppb)	inorg. C (wt.%)	org. C (wt.%)	tot. S (wt.%)
HBRD-1	silicite	Jahodová hora	Blovice Formation, Np	19	< 0.01	0.75	< 0.01
HBRD-2	metabasalt (spilite)	Břízkovec	Blovice Formation, Np	21	< 0.01	0.05	< 0.01
HBRD-3	schist to greywacke	Kolvín quarry	Blovice Formation, Np	4 194	< 0.01	0.40	< 0.01
HBRD-4	sandstone to greywacke	Červený vrch quarry	Sádek Formation, ϵ	44	< 0.01	0.02	< 0.01
HBRD-5	sandstone	Tok	Holšiny-Hořice Formation, ϵ	49	< 0.01	0.02	< 0.01
HBRD-6	conglomerate	Klouček (Slonovec)	Klouček-Čenkov Formation, ϵ	18	< 0.01	0.03	< 0.01
HBRD-7	siltstone	Vystrkov	Jínce Formation, ϵ	39	< 0.01	0.13	< 0.01
HBRD-8	conglomerate	Jezevčí skála at Převážení	Ohrazenice Formation, ϵ	1 540	< 0.01	0.02	< 0.01
HBRD-9	andesite	Dolní Kvaň quarry	Strašice Vulcanic Complex, ϵ	13	0.34	0.53	< 0.01
HBRD-10	oolitic Fe-ore	Jedová hora at Neřežín	Šárka and Klabava formations, O	1 076	0.61	2.70	< 0.01
HBRD-11	diabase	Jedová hora at Neřežín	Komárov Volcanic Complex, O	4 158	< 0.01	0.084	0,.42
HBRD-12	quartzite	Felbabka	Dobrotiv Formation, O	100	< 0.01	0.025	< 0.01
HBRD-13	granodiorite	Teslíny	Padrť Stock, C	7	< 0.01	0.012	< 0.01
HBRD-14	granite	Teslíny	Padrť Stock, C	7	< 0.01	0.042	< 0.01
HBRD-15	arkose	Záborčí at Mirošov	Kladno Formation, C	778	< 0.01	0.87	0.22
HBRD-16a	carbon-rich siltstone	Záborčí at Mirošov	Kladno Formation, C	1 339	< 0.01	16.40	0.29
HBRD-16b	black coal	Záborčí at Mirošov	Kladno Formation, C	9 347	< 0.01	55.70	1.40
HBRD-17	quarzite with Fe-mineralization	Přední Záběhlá	Blovice Formation?	757	< 0.01	0.14	0.04

Np – Neoproterozoic, ϵ – Cambrian, O – Ordovician, C – Carboniferous

Řada autorů, mezi nimi například Yudovich a Ketris (2005), zkoumala vazbu Hg na organickou hmotu, či organickou hmotou bohaté sedimenty. Vysoké obsahy Hg u vzorků HBRD-16a a HBRD-16b z prostředí uhlonosného karbonu tedy nejsou překvapením (původně jeden terénní vzorek byl rozdělen na vzorek černého uhlí a vzorek uhelného prachovce). Vysoký obsah organického C v obou vzorcích je hlavním důvodem vysokých koncentrací Hg v těchto horninách. Dalším prvkem, ke kterému Hg vykazuje značnou afinitu, je síra, a proto se Hg výrazně koncentruje v sulfidech, například v pyritu, pyrhotinu, sfaleritu (Beuge 1976) či tetraedritu (Velebil 2014). Vzorky analyzovaných železných rud (HBRD-10, 17) obsahovaly také významný podíl sulfidů a to je hlavním důvodem zvýšených koncentrací Hg. Významný je obsah Hg ve vzorku diabasu (HBRD-11), který bývá často průvodní horninou cinabaritového zrudnění v ordovických horninách. Vztah mezi mineralizací Hg-Sb-W (± Mo, Bi) a diabasovým až porfyrovým vulkanismem studoval např. Maucher (1965). Slepenec (HBRD-8) z Jezevčí skály u obce Dobřív, který je podle geologické mapy Havlíčka (1986) kladen do ohrazenického souvrství (kambrium), svým vysokým obsahem Hg tomuto horninovému prostředí neodpovídá. Buď jde o slepenec spodního ordoviku, nebo o kambrický slepenec, druhotně obohacený rtutí během sedimentace nedalekého

Tabulka 2. Průměrné obsahy rtuti v horninách (podle Sattrana et al. 1978)
Table 2. Average contents of mercury in rocks (according to Sattran et al. 1978)

rock	Hg (ppb)	rock	Hg (ppb)
sandstone	31	ultrabasic rock	27
claystone, schist	270	rhyolite	30
carbonate	50	nepheline syenite	350
sulfide-rich schist	2 200	basalt	20
granite and granodiorite	40	phyllite	9
diabase	60–165	gneiss	45
metabasalt (spilite)	50–190	eclogite	290

nadložního ordoviku. V ordovických sedimentech je regionální přítomnost zvýšených obsahů rtuti doložena studií Sattrana et al. (1978) a v případě ohrazenického slepence by mohla být obsažena v jeho tmelu. Ostatní kambrické sedimenty (pískovce, prachovce), včetně vzorku slepence náležícího do kloučecko-čenkovského souvrství (HBRD-6), tak vysoké obsahy Hg nevykazují. To platí i u andezitu strašického pásma kambrického stáří (HBRD-9), který má velmi nízký obsah Hg.

Dalším z možných vysvětlení vysokého obsahu Hg je původ materiálu ohrazenického slepence. Ten sice z větší části tvoří klasty silicitů a jiný křemenný materiál, nicméně část klastů může být tvořena bazickými vulkanity neoproterozoického stáří (Cháb 1993 je řadí k ostrovním obloukům) a spolu s nimi se vyskytujícími černými břidlicemi se zvýšeným obsahem pyritu, které popisují Chlupáč et al. (2011). Vyšší obsahy Hg v některých horninách neoproterozoika potvrzuje i vzorek břidlice až droby (HBRD-3). Mírně zvýšený obsah Hg byl zjištěn i ve vzorku křemence (HBRD-12) ordovického stáří. I když jde o horninu tvořenou především křemenem, zvýšenou koncentraci rtuti lze v tomto případě vysvětlit lokální alterací, zejména ve formě druhotných povlaků Fe-minerálů (odběrové místo se nachází v blízkosti bývalého železnorudného dolu). Dalším analyzovaným vzorkem je břidlice až droba neoproterozoického stáří (HBRD-3), u níž opět přichází v úvahu spojitost s neoproterozoickým vulkanismem, který podrobně popisuje např. Waldhausrová (1997).

Posledním vzorkem je arkóza karbonského stáří (HBRD-15). Studovaný vzorek je součástí tzv. mirošovského obzoru nýřanských vrstev (Michlová 2016), které sedimentují na lubenské souslojí radnických vrstev. Je tedy možné, že rtuť ve studovaném vzorku arkózy pochází ze zmíněných podložních slojí, případně z druhotné mineralizace. Pešek et al. (2001) uvádějí zvýšené obsahy pyritu v celé plzeňské pánvi, a to jak v uhelných slojích, tak v ostatních sedimentech.

Závěr

Výsledky této práce svědčí pro vazbu rtuti na ordovický bazický vulkanismus, možná analogicky (nutno ověřit na více vzorcích) i na bazický vulkanismus v neoproterozoiku. Vysoké obsahy Hg také ukazují na spojitost s ordovickou sulfidickou mineralizací. Další významná korelace je mezi obsahem rtuti a uhlíku v horninách, kterou dokládají vysoké obsahy Hg v karbonských uhlonosných sedimentech mirošovské pánve. Anomální obsahy Hg byly zjištěny také u vzorků karbonské arkózy (HBRD-15) a neoproterozoické břidlice až droby (HBRD-3); i přes uvedené možnosti však není původ rtuti v těchto horninách zcela jasný. Pro jednoznačné určení původu rtuti bude nezbytný podrobnější výzkum.

Poděkování. Tato práce vznikla v rámci studie Kontaminace lesních a vodních ekosystémů CHKO Brdy rtutí a speciace hliníku v povrchových vodách, financované Agenturou ochrany přírody a krajiny ČR. Další podpora pocházela z institucionálních zdrojů GLÚ AV ČR, v. v. i., (RVO67985831). Autoři článku děkují recenzentům M. Stárkové a T. Vorlovi a editorovi V. Žáčkovi za věcné připomínky, které zlepšily kvalitu rukopisu.

Literatura

Ambrož, F. (1865): Geologische Studien aus der Gegend von Padrť. – Jb. K.-Kön. geol. Reichsanst. 15, 215–228.

Beuge, P. (1976): Zur Geochemie des Quecksilbers in Magmatiten und Einzelmineralen. – Freiberg Forsch.-H. 313, 1–62.

Havlíček, V., red. (1986): Geologická mapa České republiky 1 : 50 000 s Vysvětlivkami, list 12-34 Hořovice. – Čes. geol. služba. Praha.

Cháb, J. (1993): General problems of the TB (Teplá-Barrandian) Precambrian, Bohemian Massif, the Czech Republic. – Věst. Čes. geol. Úst. 68, 1–6.

Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. (2011): Geologická minulost České republiky. – 436 str. Academia. Praha.

Maucher, A. (1965): Die Antimon-Wolfram-Quecksilber formation und ihre beziehungen zu magmatismus und geotektonik. – Freiberg Forsch.-H. 186, 173–188.

Michlová, N. (2016): Tektono-sedimentární vývoj plzeňské pánve a její ložiskově-geologická charakteristika. Bakalář. práce, 33 str., 4 příl. – MS Úst. geol. paleont. Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.

Pešek, J. – Holub, V. – Jaroš, J. – Malý, L. – Martínek, K. – Prouza, V. – Spudil, J. – Tásler, R. (2001): Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických pánví České republiky. – 243 str. Čes. geol. úst. Praha.

Sattran, V. – Maňour, J. – Odehnal, L. – Pták, J. – Zima, L. (1978): Regionální prognózy Hg-zrudnění v Českém masívu. – 137 str. Ústř. úst. geol. Praha.

Velebil, D. (2014): Příspěvek k poznání chemismu rtuťových tetraedritů: lokality Jedová hora (Česko), Rudňany, Rožňava, Nižná Slaná, Slovinky (Slovensko), Maškara (Bosna a Hercegovina). – Bull. mineral.-petrol. Odd. Nár. Muz. 22/1, 131–143.

Waldhausrová, J. (1997): Proterozoic volcanic geochemistry and mineral chemistry: A contribution to the Barrandian Upper Proterozoic stratigraphy (Bohemian Massif, Czech Republic. – Krystalinikum 23, 151–180.

Yudovich, Y. E. – Ketris, M. P. (2005): Mercury in coal: a review Part 1 Geochemistry. – Int. J. Coal Geol. 62, 107–134.

Žák, K. – Svojtka, M. – Breiter, K. – Ackerman, L. – Zachariáš, J. – Pašava, J. – Veselovský, F. – Litochleb, J. – Ďurišová, J. – Haluzová, E. (2014): Padrť Stock (Teplá-Barrandian Unit, Bohemian Massif): petrology, geochemistry, U-Pb zircon dating of granodiorite, and Re-Os age and origin of related molybdenite mineralization. – J. Geosci. 59, 351–366.