

Literatura

- BĚLOHRADSKÝ, V. et al (1980): Zpráva o doplňujícím geologickém průzkumu sídlišť Liberec-Rochlice II/1, II/2 – porucha, tertiérní vulkanity. MS Stavoprojekt. Liberec.
- COUBAL, M. (1998): Geologická mapa ČSR 1 : 50 000 – list 03-32 Jablonec n/N. – ČGÚ Praha.
- GRÄNZER, J.(1929): Tertiäre vulkanische Gesteine in der Umgebung von Reichenberg in Böhmen. – Mitt. Ver. Naturfr. Reichenberg 51, 12–27. Liberec.
- CHALOUPSKÝ, J.(1988): Geologická mapa ČSR 1 : 50 000 – list 03-14 Liberec. – ČGÚ Praha.
- CHALOUPSKÝ, J.(1989): Geologická mapa ČSR 1 : 50 000 – list 03-24 Harrachov. – ČGÚ Praha.
- KACZOR, S. M. et al. (1988): Disequilibrium melting of granite at the contact with a basic plug: A geochemical and petrographic study. – Jour. Geol., 1988, vol.96, p. 61–78. Chicago.
- KLOMÍNSKÝ, J. et al. (2000): Vysvědívky k základní geologické mapě ČR 1 : 25 000 03–322 Jablonec n/N. – ČGÚ Praha.
- MRÁZOVÁ, Š. et al. (2001): Vysvědívky k základní geologické mapě ČR 1 : 25 000 03–144 Tanvald. ČGÚ Praha.
- OPELTAL, M. (1967): Nové výskytu čedičových hornin se žulovými xenolithy v železnohorském krystaliniku. – Opera Corcontica 4, 129–140.

IZOTOPOVÉ SLOŽENÍ SÍRY V SULFIDECH, UHLÍKU A KYSLÍKU V KARBONÁTECH Z MAFICKÝCH ŽILNÝCH HORNIN ČESKÉ ČÁSTI KRUŠNÝCH HOR

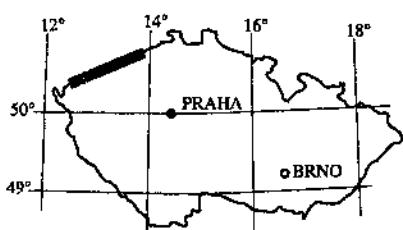
Isotope compositions of sulfur in sulfides, of carbon and oxygen in carbonates from mafic dike rocks in the Czech part of the Krušné hory/Erzgebirge area

KAREL ŽÁK¹ – MIROSLAV ŠTEMPROK² – FRANTIŠEK V. HOLUB² – IVANA JAČKOVÁ¹ – JIŘÍ K. NOVÁK³ – FRANTIŠEK VESELOVSKÝ¹

¹ Český geologický ústav, Klárov 3/131, 118 21 Praha 1

² Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³ Geologický ústav AV ČR, Rozvojová 135, 165 00 Praha 6



Key words: Lamprophyre, Krušné hory/Erzgebirge, Stable isotopes

Abstract: Carbon and sulfur contents as well as carbon and oxygen isotope composition of carbonates and sulfur isotope composition of sulfidic sulfur were determined in 8 samples of mafic dike rocks from the Krušné Hory/Erzgebirge area. The data together with the results of petrographic and mineralogical studies indicate that carbonates in all the examined rocks and sulfides in some of them were formed during hydrothermal alterations. However, subcrustal origin of sulfur in some mafic dike samples cannot be excluded.

ÚVOD A GEOLOGICKÁ POZICE STUDOVANÝCH HORNIN

V rámci projektu Grantové agentury UK 165/98 byly studovány tmavé žilné horniny (lamprofyry a porfyry), které jsou součástí bimodálního pozdně variského žilného doprovodu krušnohorského granitového batolitu. Vzorky tmavých žilných hornin byly odebrány na haldách dolů opuštěného jáchymovského rudného revíru v západních Krušných horách a krupského revíru ve východních Kruš-

ných horách. V prvém případě jsou lamprofyry a porfyry hojně doprovázeny žilnou uranovou mineralizací s karbonáty (VESELÝ 1986, ONDRUŠ et al. 1997), ve druhém se lamprofyry vyskytují společně s cíno-wolframovou mineralizací vázanou na malé granitové pně.

V jáchymovském rudním revíru vystupuje metamorfovaný sedimentární komplex kambrického až ordovického stáří tvořený převážně dvojsídlennými svory až svorovými rulami s vložkami kvarcitů, amfibolitů a ortorul, v podloží s granity krušnohorského batolitu. Mezi granity dominují horniny staršího, převážně monzogranitického intruzivního komplexu (OIC) nad horninami mladšího syenogranitického komplexu (YIC). Ze žilných hornin se vyskytují pegmatity, aplity, mikrogranity a granitové porfyry, dále tmavé dioritové porfyry a hojně lamprofyry. Vlastní hydrotermální žilné zrudnění s řadou mineralizačních stadií (cín-wolframové, křemen-sulfidické, karbonát-smolincové, karbonát-arsenidové a sulfoarsenidové stadium, ONDRUŠ et al. 1997) je vázáno zejména na s.-j. a v.-z. poruchy.

Krupská ložisková oblast leží ve východní kontaktní zóně teplického ryolitu a krystalinika, budovaného tzv. šedými freiberskými rulami (převážně ortorulami a migmatity, které v jižní části revíru obsahují pararulové polohy). Představitelem žilníkového typu greisenových ložisek je rudní těleso na Preiselberku vázané na malý granitový peň. V podobné geologické pozici se vyskytují křemenné žily a greiseny na Knötlu ve východní části krupského revíru v nadloží lithného albitického granitu. Žilný doprovod granitů tvoří pegmatity, mikrogranity, lamprofyry a porfyry, z nichž některé jsou greisenizovány.

Tmavé žilné horniny jsou v obou oblastech zastoupeny řadou typů – dioritovými až kvardioritovými porfyry,

spessartity (s primárním hnědým amfibolem), kersantity a minetami (ŠTEMPROK et al. 2000). V lamprofyrech jsou běžné pilitické pseudomorfózy po vyrostlicích olivínu a uralitické pseudomorfózy po klinopyroxenu, tvořené Mg-bohatým aktinolitickým amfibolem. Mezi některými kersantity a spessartity a některými porfyrity existují vzájemné přechody, dané jednak částečným nahrazováním primárního amfibolu biotitem a jednak vývojem drobných vyrostlic plagioklasu. V mnoha případech je detailní určení původního složení tmavých žilných hornin ztíženo jejich náchylností k různým typům alterací jakými jsou chloritzace, biotitizace, greisenizace nebo lokální karbonatizace.

STUDOVANÉ VZORKY, ANALYTICKÉ METODY A VÝSLEDKY

Ve vzorcích mafických žilných hornin byl nejprve stanoven obsah karbonátového a celkového uhlíku a celkové síry. Plyn CO_2 pro měření izotopového složení uhlíku a kyslíku karbonátů byl připraven běžnou reakcí se 100 % H_3PO_4 ve vakuu. Sulfidická síra byla pro izotopové stanovení separována chemicky, metodikou podobnou postupu NEWTONA et al. (1995). Měření byla provedena na hmotnostním spektrometru Finnigan MAT 251. Celková chyba stanovení hodnot $\delta^{13}\text{C}$ a $\delta^{18}\text{O}$ karbonátů činila $\pm 0,1 \text{ ‰}$, chyba stanovení $\delta^{34}\text{S}$ sulfidické síry byla $\pm 0,2 \text{ ‰}$. Lokalizace a petrografický název studovaných vzorků žilných

hornin a jejich přeměn a výsledky analýz jsou shrnutы v tabulce 1.

Mikrosondovými analýzami byla potvrzena ve vzorku LA 109 přítomnost pyrhotinu s příměsí Ni (0,49–0,64 %) a Co (0,17–0,25 %), v LA 140 pyritu a pyrhotinu, ve vzorku LA 108 navíc také arsenopyritu (popřípadě löllingitu) s výrazně zvýšenými obsahy Ni (do 6,38 %) a Co (do 4,53 %).

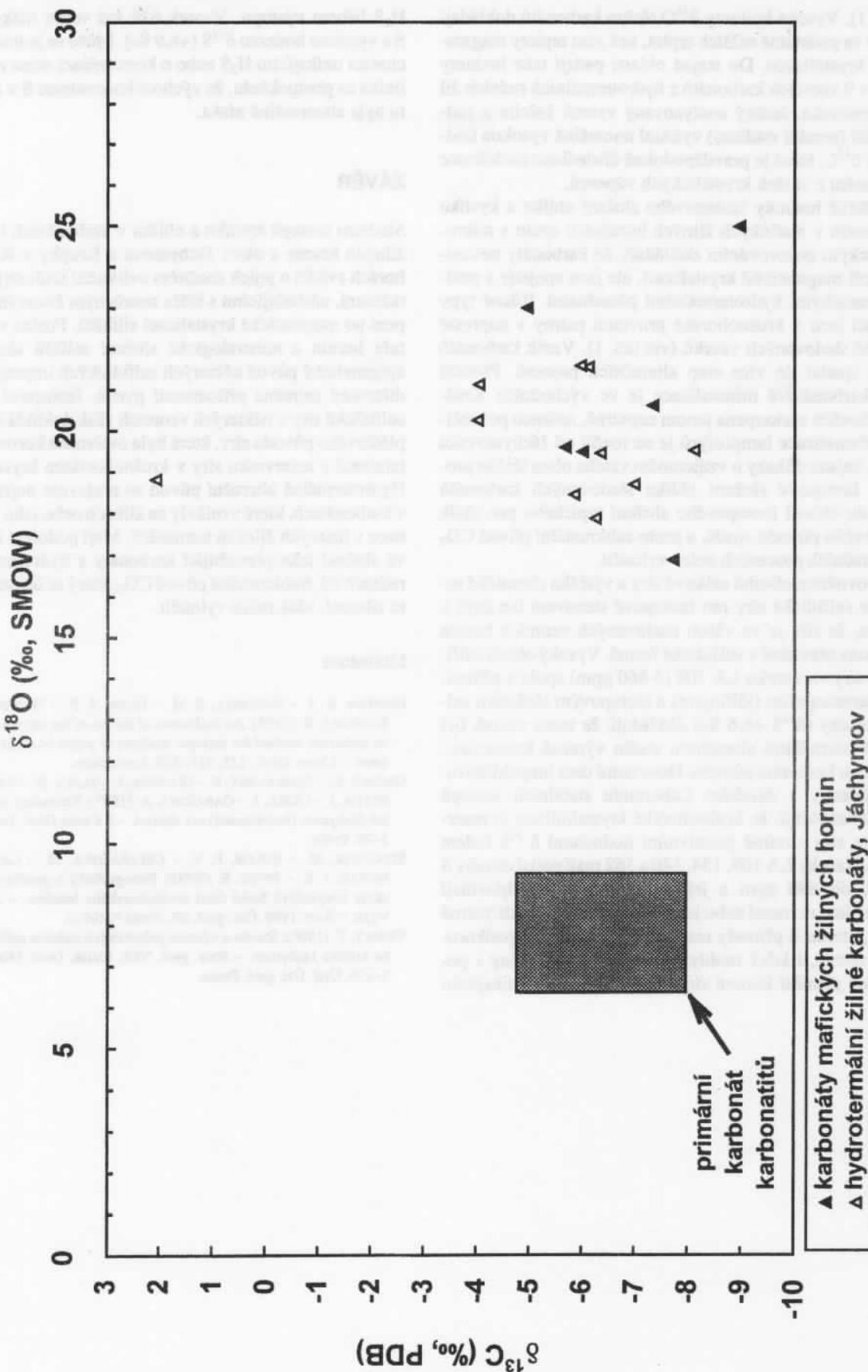
V řadě vzorků lamprofyrů a porfyritů z východních Krušných hor je běžný kalcit tvořící drobné žilky. Karbonáty také často zatlačují uralitické amfiboly. Naproti tomu na Jáchymovsku jsou karbonáty v tmavých žilných horninách mnohem vzácnější, přestože se lamprofyry a porfyrity nacházejí v haldovém materiálu společně s úlomky žilných hydrotermálních karbonátů převážně dolomiticko-ankeritického složení. Pro porovnání bylo proto na Jáchymovsku stanoveno i izotopové složení uhlíku a kyslíku devíti vzorků hydrotermálních karbonátů, představovaných hlavně dolomit-ankeritickým karbonátem arsenidového a sulfoarsenidového stadia hydrotermálních rudních žil. Jejich izotopová data jsou znázorněna spolu s daty karbonátů z hornin v obr. 1.

INTERPRETACE VÝSLEDKŮ A DISKUSE

V diagramu $\delta^{13}\text{C}$ vs. $\delta^{18}\text{O}$ leží projekce karbonátů studovaných mafických žilných hornin výrazně mimo oblasti izotopového složení primárních magmatických karbonátů

Tab. 1. Studované vzorky žilných hornin s uvedením jejich přeměn a výsledků analýz. Stanovení CO_2 coulometricky (Coulomat 7 012), stanovení celkového uhlíku a síry (C_{tot} a S_{tot}) C/S analyzátorem ELTRA CS 500. Karbonátový uhlík (C_{karb}) určen přepočtem ze stanovení CO_2 . Metodika a chyby izotopových stanovení jsou uvedeny v textu. Nest. – nebylo stanoveno pro nízký obsah zkoumané složky.

č. vz.	hornina	přeměny	lokalizace	CO_2 %	C_{karb} %	C_{tot} %	S_{tot} %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{karb}}$ ‰, PDB	$\delta^{18}\text{O}_{\text{karb}}$ ‰, SMOW	$\delta^{34}\text{S}_{\text{sulfid}}$ ‰, CDT
LA 108	meladioritový porfyrit blízký kersantitu	uralitizace klinopyroxenu	lom u jámy Tomáš, Jáchymov	0,02	0,005	0,02	0,586	nest.	nest.	6,6
LA 109	kvarcdioritový porfyrit	biotitizace	lom u jámy Tomáš, Jáchymov	0,41	0,112	0,14	0,027	-5,7	19,6	3,2
LA 130	mineta	uralitizace klinopyroxenu	Hluboký u Jáchymova	0,03	0,008	0,03	< 0,005	nest.	nest.	nest.
LA 134	kvarcdioritový porfyrit	uralitizace, biotitizace, chloritzace, karbonitizace	halda jámy Panorama, Jáchymov	0,26	0,071	0,08	0,089	-7,3	20,6	2,0
LA 140	kersantit	pilitizace, uralitizace	halda jámy Eva, Jáchymov	0,09	0,025	0,05	0,087	-9,0	25,0	0,5
LA 162	spessartit	pilitizace, uralitizace	halda štoly Več. hvězda, Krupka	0,07	0,019	0,03	0,007	-5,0	23,0	1,5
618	dioritový porfyrit, silně přeměněný	chloritzace, karbonatizace	vrt E-5, vzorek č. 57, Krupka	0,87	0,237	0,29	< 0,005	-7,7	16,9	nest.
626	mineta	uralitizace, karbonatizace	halda štoly S. května, Krupka-Vrchoslav	2,61	0,712	0,78	0,006	-6,0	19,5	6,9



Obr. 1. Izotopové složení uhlíku a kyslíku karbonátů z tmavých žilných hornin české části Krušných hor a z hydrotermálních rudních žil Jáchymovská.

(obr. 1). Vysoké hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ této karbonátů dokládají vznik za podstatně nižších teplot, než jsou teploty magmatické krystalizace. Do stejné oblasti padají také hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ v 9 vzorcích karbonátů z hydrotermálních rudních žil Jáchymovska. Jediný analyzovaný vzorek kalcitu z rudních žil (pozdní stadium) vykázal anomálně vysokou hodnotou $\delta^{13}\text{C}$, která je pravděpodobně důsledkem mobilizace karbonátu z vložek krystalických vápenců.

Zjištěné hodnoty izotopového složení uhlíku a kyslíku karbonátů v mafických žilných horninách spolu s mikroskopickým pozorováním dokládají, že karbonáty nevznikaly při magmatické krystalizaci, ale jsou spojeny s postmagmatickými hydrotermálními přeměnami. Různé typy alterací jsou v krušnohorské provincii patrný v naprosté většině sledovaných vzorků (viz tab. 1). Vznik karbonátů může spadat do více etap alteračních procesů. Protože uran-karbonátová mineralizace je ve východních Krušných horách zastoupena jenom nepatrně, zatímco pokročilá karbonatizace lamprofyrů je na rozdíl od Jáchymovská častá, nejsou důkazy o vzájemném vztahu obou těchto procesů. Izotopové složení uhlíku studovaných karbonátů však do oblasti izotopového složení typického pro uhlík plášťového původu spadá, a proto subkrustální původ CO_2 v alteračních procesech nelze vyloučit.

Porovnáním obsahů celkové síry a výtěžku chemické separace sulfidické síry pro izotopové stanovení lze dojít k závěru, že síra je ve všech studovaných vzorcích hornin přítomna převážně v sulfidické formě. Vysoký obsah sulfidické síry ve vzorku LA 108 (5 860 ppm) spolu s přítomností arsenopyritu (Jöllingitu) a izotopovým složením sulfidické síry ($\delta^{34}\text{S} +6,6\text{ ‰}$) dokládají, že tento vzorek byl v hydrotermálním alteračním stadiu výrazně kontaminován sírou korového původu. Dosavadní data (nepublikované výsledky z databáze Laboratoře stabilních izotopů ČGÚ) naznačují, že krušnohorské krystalinikum je rezervoárem síry s mírně pozitivními hodnotami $\delta^{34}\text{S}$ kolem $+5\text{ ‰}$. Vzorky LA 109, 134, 140 a 162 mají nízké obsahy S od 70 do 890 ppm a jejich hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ odpovídají plášťovému rozmezí nebo jsou jen o málo vyšší. Ide patrně o síru, kterou si přinesly mafické žilné horniny z podkorového zdroje, i když mohly být částečně ovlivněny i po-družnou příměsí korové síry nebo frakcionací unikajícím

H_2S během výstupu. Vzorek 626 má velmi nízký obsah S a vysokou hodnotu $\delta^{34}\text{S} (+6,9\text{ ‰})$. Může se jednat o frakcionaci unikajícího H_2S nebo o kontaminaci sírou z krystalinika za předpokladu, že výchozí koncentrace S v magma-tu byla abnormálně nízká.

ZÁVĚR

Studium izotopů kyslíku a uhlíku v karbonátech tmavých žilných hornin z okolí Jáchymova a Krupky v Krušných horách svědčí o jejich značném ovlivnění druhotními přeměnami, následujícími s blíže neurčeným časovým odstupem po magmatické krystalizaci silikátů. Pozice ve struktuře hornin a mineralogické složení sulfidů ukazují na epigenetický původ některých sulfidických impregnací indikovaný zejména přítomností pyritu. Izotopové složení sulfidické síry v některých vzorcích však dokládá možnost plášťového původu síry, která byla ovlivněna korovou kontaminací z rezervoáru síry v krušnohorském krystaliniku. Hydrotermálně alterační původ se projevuje nejzřetelněji v karbonátech, které vznikaly na žilkách nebo jako impregnace v tmavých žilných horninách. Mají podobné izotopové složení jako převažující karbonáty z hydrotermálních rudních žil. Subkrustální původ CO_2 , který se účastnil těch-to alterací, však nelze vyloučit.

Literatura

- NEWTON, R. J. – BOTTRELL, S. H. – DEAN, S. P. – HATFIELD, D. – RAISWELL, R. (1995): An evaluation of the use of the chromous chloride reduction method for isotopic analysis of pyrite in rocks and sediment. – Chem. Geol., 125, 317–320. Amsterdam.
- ONDŘUŠ, P. – VESELOVSKÝ, F. – HLUŠEK, J. – SKÁLA, R. – VAVŘÍN, I. – FRÝDA, J. – ČEJKA, J. – GABAŠOVÁ, A. (1997): Secondary minerals of the Jáchymov (Joachimsthal) ore district. – J. Czech Geol. Soc., 42 (4), 3–76. Praha.
- ŠTEMPROK, M. – HOLUB, F. V. – CHLUPÁČOVÁ, M. – LANG, M. – NOVÁK, J. K. – PIVEC, E. (2000): Petrografický a geochemický výzkum lamprofyrů české části krušnohorského batolitu. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1999. Čes. geol. úst. Praha (v tisku).
- VESELY, T. (1986): Stavba a význam jednotlivých rudních uzlů uranového ložiska Jáchymov. – Sbor. geol. Věd., ložisk. Geol. Mineral., 27, 7–109. Ústř. Úst. geol. Praha.