

Charakteristika a vlastnosti fluíd Au-porfýrového ložiska Biely vrch (stratovulkán Javorie)

P. Koděra¹, J. Lexa², A.E. Fallick³, F. Bakos⁴

¹Katedra ložiskovej geológie, Prírodovedecká fakulta UK, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava, kodera@fns.uniba.sk

²Geologický ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 05 Bratislava, jaroslav.lexa@savba.sk

³Scottish Universities Environmental Research Centre, East Kilbride, Glasgow, UK, t.fallick@suerc.gla.ac.uk

⁴Eastern Mediterranean Resources - Slovakia, s. r. o., A. Kmeta 8, 969 01 Banská Štiavnica, fbakoss@yahoo.com

Ložisko Biely vrch sa nachádza v centrálnej zóne Neogénneho stratovulkánu Javorie. Prítomnosť hydrotermálnych systémov v tejto oblasti bola známa už dávno, avšak mineralizácia Au-porfýrového typu tu bola zistená len v posledných rokoch. Firma EMED Mining sa tu doteraz podarilo overiť 3 hydrotermálne centrá (Biely vrch, Slatinské Lazy, Kráľová), tvoriace novú oblasť výskytu Au-porfýrov unikátnu pre Západné Karpaty. Tento typ mineralizácie má vlastnosti, ktoré sú veľmi podobné Au-porfýrovým systémom v oblasti Maricunga v Čile, a to najmä najnižší pomer Cu/Au spomedzi všetkých typov porfýrových ložísk (<0,04 % Cu/ppm Au), asociácia s dioritovými porfýrmi a prítomnosť páskovaných kremenných žiliek (Muntean a Einaudi, 2001). Ložisko Biely vrch je najväčšie z hydrotermálnych centier s ekonomicky využiteľnou mineralizáciou, ktorá zasahuje do hĺbky minimálne 450 m, pričom tu bolo vypočítaných 42 mil. ton rudy s 0,8 g/t Au (www.emed-mining.com). Toto ložisko, ako aj ostatné výskytu Au-porfýrových systémov sú viazané na intrúzie dioritových až andezitových porfýrov, umiestnených do andezitového komplexu Starej huty, v podloží s hercýnskymi granodioritmi a tonalitmi. Pomineralizačné andezity a vulkanoklastiká formácie Javorie sa vyskytujú J a V od ložiska Biely vrch.

Intrúzia aj okolné andezity sú intenzívne postihnuté premenami (Koděra et al., 2008), z ktorých dominuje premena typu strednej argilizácie, reprezentovaná I-S, illitom, chloritom a pyritom. S rôznou intenzitou zatláča staršiu vyššieteplošnú K-silikátovú premenu (K-živcov, biotit, magnetit/pyrotit) a v hlbších častiach systému Ca-Na silikátovú premenu (intermediárny až bázičný plagioklas, aktino-

lit). Propylitická/chloritická premena (smektit, CS/corrensit, chlorit, kremeň, pyrit) reprezentuje vonkajšiu zónu systému. Zóny pokročilej argilizácie (pyrofylit, dickit, kaolinit, porézny kremeň ± pyrit, alunít) patria do najmladšieho štádia premien. Na ložisku sa zistilo viacero generácií žiliek, z ktorých najbežnejšie sú kremenné žilky viacerých generácií. Niektoré z nich majú páskovanú štruktúru ako dôsledok vysokého obsahu plynných fluidných inklúzií a drobných zrn magnetitu (rádovo mikrometre). Ľadvinovité štruktúry kontinuálne prechádzajú cez zrná kremeňa, čo indikuje rekryštalizáciu z gelovitej SiO₂ hmoty ako dôsledok extrémneho presýtenia fluida SiO₂. Centrálna časť niektorých žiliek je vyplnená pyritom a chalkopyritom, zriedkavejšie aj magnetitom, markazitom, galenitom a sfaleritom. Zlato sa obvykle vyskytuje v okolí kremenných žiliek v alterovanej hornine s ílovými minerálmi (illit, I-S), chloritom a K-živcom.

Štúdiom fluidných inklúzií (FI) sa zistilo, že v kremeni žiliek dominujú monofázové plynné inklúzie (±CO₂), ktoré vo väčšine vzoriek reprezentovali >95% všetkých FI. Väčšina FI bola primárna, ale absencia viditeľnej kvapalnej fázy znemožnila mikrotermometrické štúdium. V páskovanom kremeni plynné FI boli často husto usporiadané v úzkych pásoch paralelných so žilkami, alebo v pretiahnutých kremenných zrnách. Takéto usporiadanie je dôsledok zachytenia FI v hustej gelovitej SiO₂ hmote so zachytenými bublinkami nízkej hustoty, ktoré pravdepodobne neboli podstatne ovplyvnené neskoršou rekryštalizáciou na kremeň. Veľmi zriedkavo boli pozorované aj plynno-kvapalné FI asociujúce s plynnými FI, pričom väčšina z nich bola sekundárna. Tieto FI dosahovali homogenizačné

teploty (Th) od 191 do 269°C (väčšina 220-260°C) a salinitu 0,5 – 30,4 hm% NaCl ekv. Eutektické teploty (-42 až -30°C) pravdepodobne indikujú systém NaCl-FeCl₂-H₂O. Nízkosalinné FI reprezentujú fluidá mladšie ako väčšina kremenných žiliek, pravdepodobne asociujúce s premenou typu strednej argilizácie, zatiaľ čo FI s vysokými salinitami interpretujeme ako dôsledok kondenzácie fluida nízkej hustoty.

Štúdium stabilných izotopov kyslíka kremeňa žiliek zistilo len malú variabilitu. Hlbšie vzorky (417-529 m) ukázali mierne ľahšie hodnoty (9,2 až 9,4 ‰) ako plytšie (71-140 m; 9,7 až 10,1 ‰), čo interpretujeme ako dôsledok nárastu teploty s hĺbkou. Rovnovážne hodnoty $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ boli vypočítané pri strednej hodnote Th (~240°C; 0,5 až 1,4 ‰) a indikujú prítomnosť menšieho množstva fluid meteorického pôvodu primiešaného v prevažne magmatických fluidách. Oprava Th na tlak by však mohla indikovať ešte zjavnejší magmatický pôvod (= vyššie teploty). Fluidá v rovnováhe s illit-smektitom (-0,5 až -0,1 ‰ $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$, -87 až -76 ‰ $\delta\text{D}_{\text{fluid}}$) obsahovali viac meteorickej zložky, alebo reprezentujú len meteorické fluidum za predpokladu rozsiahlej výmeny izotopov kyslíka s okolnými horninami. Izotopové zloženie fluid v rovnováhe s kaolinitom a pyrofyliitom z premeny typu pokročilá argilizácia (2,1 až 5,2 ‰ $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$, -45 až -71 ‰ $\delta\text{D}_{\text{fluid}}$) indikuje výraznejší magmatický pôvod zdrojových fluid. Teplota kryštalizácie hrubozrnného alunitu 294°C bola vypočítaná z izotopovej frakcionácie medzi SO₄ a OH skupinami v alunite. Vysoko pozitívne izotopové hodnoty síry alunitu (10,6 a 15,6 ‰ $\delta^{34}\text{S}$) sú v súlade s predpokladaným magmaticko-hydrotermálnym pôvodom.

Mineralogický výskum ukázal úzky priestorový vzťah zlata a kremenných žiliek. Kombináciou údajov zo stabilných izotopov a fluidných inklúzií sa zistilo, že teplota vzniku žiliek nemohla byť vyššia ako ~450°C (na základe najťažšej možnej hodnoty $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluid}}$ 8 ‰) ale ani nižšia ako ~240°C (stredná Th z asociujúcich plynno-kvapalných FI). Doprevádzajúci

typ premien (illit+chlorit) a neprítomnosť kvapalnej fázy v plyných FI nasvedčuje skôr spodnej časti teplotného rozsahu. Para je dôsledkom fyzického oddelenia fluidných fáz pri vzniku nemiešateľnosti fluida hlbšie v systéme, pričom Au má tendenciu prednostne sa frakcionovať do plynnej fázy (Williams-Jones a Heinrich, 2005). Kryštalizácia kremenných žiliek z SiO₂ gelu bola pravdepodobne vyvolaná rýchlou dekompresiou fluida. Táto mohla byť dôsledkom prechodu z duktilného do krehkého režimu súvisiaceho so zmenou tlaku fluid z litostatického na hydrostatický, ktorá sa objavuje pri 370-400°C. Alternatívne, ich vznik môže byť dôsledkom dynamického zníženia paleopovrchu s možným katastrofickým kolapsom časti vulkánu. Tejto interpretácii by nasvedčoval aj zistený vysoký stupeň teleskopingu mladších premien (vrátane žiliek kremeňa) na staršie a to až na úroveň K-silikátovej a Ca-Na-silikátovej premeny. Nízka hustota a salinita fluid indikuje transport zlata v bisulfidových komplexoch. Ich účinná destabilizácia (spôsobujúca precipitáciu Au) bola pravdepodobne vyvolaná sústredením zlatonosných fluid do vhodne premenných hornín (K-silikátová premena) s dostatkom živcov na účinnú neutralizáciu H⁺ a dostatkom Fe-oxidov na účinné odsírenie fluida železom v okolnej hornine (magnetit). Neskoré zóny pokročilej argilizácie sú dôsledkom kondenzácie magmatickej pary obohatenej o kyslé plyny. Tieto fluidá pravdepodobne súvisia s novou porciou magmy umiestnenej v hlbších častiach systému, pričom ich výstup bol už výrazne viazaný na zlomové štruktúry pri vyššom pomere fluidum/hornina. Rýchlo vystupujúce fluidá po zlomoch v alterovaných horninách boli počas výstupu už ochránené pred neutralizáciou a preto nemohli byť schopné prinášať zlato do epitermálnej úrovne premien typu pokročilej argilizácie.

Podakovanie:

Práca vznikla za podpory firmy EMED Mining Slovakia a VEGA grantu č. 1/0311/08.

Literatúra:

- Koděra, P., Lexa, J., Biroň, A., Bakos, F. 2008. Mineralogy and alteration pattern of the Biely Vrch Au-porphyry deposit, Slovakia. Abstracts of the 2nd CEM Conference. Mineralogia – Spec. Papers, 32, 94-95.
- Muntean J. L. & Einaudi M. T. 2001. Porphyry–epithermal transition: Maricunga belt, northern Chile. *Economic Geology* 96, 743–772.
- Williams-Jones, A. E. & Heinrich, C. A. 2005. Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits. *Economic Geology* 100, 1287-1312.