

RETROGRÁDNĚ-METAMORFNÍ A HYDROTERMÁLNÍ ALTERACE HORNIN NA URANOVÉM LOŽISKU ROŽNÁ

Retrograde-metamorphic and hydrothermal alterations at the Rožná uranium deposit

BOHDAN KŘÍBEK¹ – KAREL ŽÁK¹ – PETR SULOVSKÝ² – MARTA PUDILOVÁ³ – JIŘÍ ZIMÁK⁴ – ANTONÍN HÁJEK⁵ – DANIEL HOLECZY⁵

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

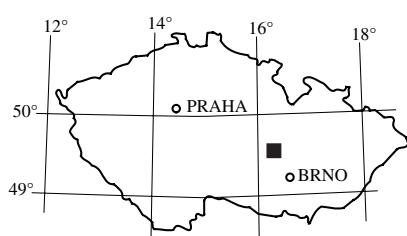
² Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno 1

³ Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Albertov 6, 128 43 Praha 2

⁴ Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, tř. Svobody 26, 771 46 Olomouc 1

⁵ Diamo, s. p., odštěpný závod GEAM, 592 51 Dolní Rožná

(24-13 Bystřice nad Pernštejnem)



Key words: Alterations, Rožná uranium deposit, K/Ar dating, H and O isotopes, Chlorite, geochemistry

Abstract: The Rožná uranium deposit is located in cataclastites that were formed during ductile to brittle, Late Variscan shearing of high-grade metamorphosed Moldanubian rocks. The shearing was associated with a widespread chloritization of biotite and formation of white mica. Chloritized zones were later intruded by saline, oxidized brines from Stephanian and Lower Permian sedimentary basins, that were capable to dissolve uranium from the host rock complex. Alteration of rocks by the oxidized brines resulted in the formation of hematite-enriched rocks. The brines were gradually reduced by Fe^{2+} -silicates (biotite, chlorite) and pyrite, producing syn-ore alteration consisting mostly of Fe^{3+} -illite and hydro-oxides of iron. During the Triassic and Jurassic periods, tectonic and thermal reactivation of the Bohemian massif resulted in the formation of post-ore sulphide-barite-fluorite mineralization, argillitization of host rocks and local remobilization of uranium.

RETROGRÁDNĚ-METAMORFNÍ PŘEMĚNY NA LOŽISKU ROŽNÁ

Retrográdně-metamorfí přeměny jsou na ložisku Rožná spjaty se vznikem střížných zón v podmírkách facie zelených břidlic. V raném stadiu se alterace projevuje vznikem novotvořené světlé slídy, sericitizací živců a slabou chloritizací biotitu. Světlá slída je spolu s alterovaným biotitem a grafitem koncentrována v plochách intenzivního střihu za současné lokální remobilizace a rekrystalizace křemene. Vznikají tak duktilně deformované zóny mylonitů, obohacené fylosilikáty a grafitem, jejichž mocnost se pohybuje od 0,1 mm do několika centimetrů.

Přechod z plastické do křehké deformace je typický vznikem koherentních i inkoharentních kataklazitů. Křehká deformace je v intenzivně přeměněných horninách do-

provázena výraznou chloritizací biotitu, vznikem chloritu, albitizací a sericitizací živců. Součástí retrográdně-metamorfí přeměn je i rozsáhlá pyritizace kataklazitů. Vznik siderit-sulfidické mineralizace, který je spojen s intenzivním prokřemeněním a sericitizací okolních hornin, lze zařadit k tomuto stadiu vývoje ložiskových struktur.

PŘEDRUDNÍ HYDROTERMÁLNÍ ALTERACE

Předrudní hydrotermální alterace zón křehkých deformací i okolních hornin je typická intenzivní hematitizací a desilicifikací. Na rozdíl od předcházející retrográdně-metamorfí alterace, při které došlo k rozsáhlé pyritizaci kataklazitů, dokládá silná hematitizace hornin ložiska oxidační charakter hydrotermálních roztoků. V tomto stadiu alterací došlo vzhledem k intenzivnímu rozpouštění křemene ke vzniku porézních, silně hematitizovaných hornin, ve kterých proběhla intenzivní albitizace metamorfických živců a došlo ke vzniku malého množství autigenického albitu a adularu. V reliktním biotitu se snižuje poměr $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (9–10) ve srovnání s biotitem chloritizovaným v předcházejícím stadiu alterací (11–13). Nízká aktivita Fe^{2+} v hydrotermálních roztocích je dokumentována vznikem autigenického Mg-chloritu, který spolu s kalcitem vyplňuje dutiny v desilicifikovaných horninách.

RUDNÍ HYDROTERMÁLNÍ ALTERACE

Vznik uranového zrudnění je doprovázen silnou limonitzací a argilitizací hornin přeměněných v předcházejících stadiích alterací. Při nižší intenzitě alterace vzniká z biotitu a předrudního chloritu Fe-chlorit, při vyšším stupni alterace jsou jak biotit, tak chlorit zcela rozloženy za vzniku Fe-illitu a hydratovaných oxidů železa. Fe-illit a hydroxidy železa jsou doprovázeny anhydritem, dochází rovněž k intenzivní oxidaci pyritu. V závěru této etapy vznikají autigenické Mg-Fe-chlority a malé množství pyritu, což dokládá postupný pokles $p\text{O}_2$ hydrotermálních fluidů.

PORUDNÍ HYDROTERMÁLNÍ ALTERACE

Tato alterace se projevuje argilitizací hornin, pyritizací a prokřemeněním hornin v okolí pouranové, sulfid-baryt-

-fluoritové mineralizace. V argilitizovaných horninách illit silně převládá nad kaolinitem, smíšené struktury a minerály skupiny smektitu nebyly identifikovány. V horninách vzniká malé množství autigenního Mg-Fe-chloritu.

GEOCHEMIE CHLORITŮ A CHLORITOVÉ TERMOMETRY

Chloritizace je nejrozšířenějším typem alterace hornin na ložisku Rožná. Mikroskopicky lze rozlišit chlority, které vznikají transformací biotitu a chlority novotvořené (obr. 1). Chemické složení chloritů, které vznikají transformací biotitu, se při rostoucí intenzitě přeměny postupně vyvíjí. Postupně klesá množství draslíku a roste množství železa. Množství K_2O v slabě alterovaném původním biotitu (7–8,9 %) se postupně snižuje na 5,5–0,3 % v protochloritech a klesá pod 0,3 % ve „zděděných“ chloritech. Při nízké intenzitě deformace zachovávají vznikající chlority původní tvar biotitu, při vyšší intenzitě deformace tvoří fluidální agregáty v plochách intenzivního střihu. Chloritizace biotitu probíhá ve všech stadiích alterací: při retrográdně-metamorfických přeměnách i v jednotlivých etapách hydrotermálních alterací. Výrazným rysem alterací v těsném okolí uranové mineralizace je výskyt chloritu s vysokým obsahem FeO (23,7–34,7 %).

Autogenní chlority vznikají výhradně v hydrotermálních stadiích alterace. Chlority předrudního stadia jsou typické vysokým poměrem Mg/Fe, což svědčí o malé mobilitě železa a vyšší teplotě v předrudním stadiu alterací ve srovnání s rudními alteracemi. Autogenní chlority rudního a porudního stadia jsou Mg-Fe-chlority.

Pro výpočet paleoteplot byly použity autogenní chlority předrudního, rudního i porudního stadia mineralizace. Pro výpočet byla použita řada geotermometrů (CATHELINEAU 1988, CATHELINEAU – NIEVA 1985, JOWET 1991, ZANG – FYFE 1995). Vypočtené teploty pro předrudní hydrotermální mi-

neralizaci se pohybují v rozmezí 287–311 °C, v závislosti na použitém termometru, a odpovídají teplotám stanoveným na základě frakcionace mezi kyslíkem křemene a albitu ve stejných horninách (< 300 °C, ŽÁK et al. 2001).

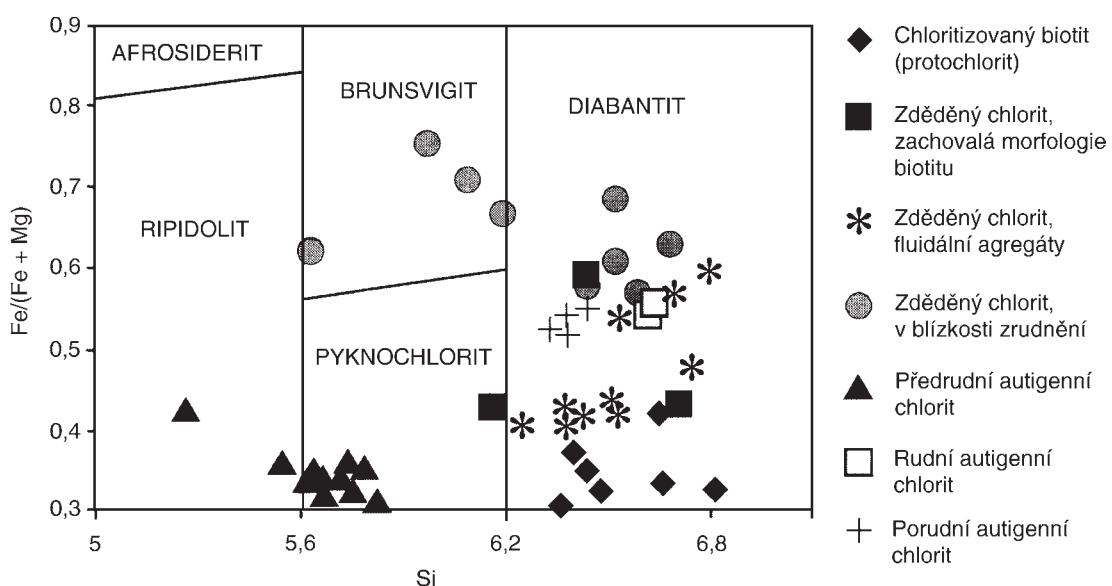
Vypočtené teploty rudního stadia se pohybují v intervalu 145–164 °C. Tyto teploty odpovídají teplotám stanoveným na základě studia fluidních inkluze VOSTEENEM (1997, $T_h = 149\text{--}190$ °C), jsou však vyšší nežli teploty udávané pro sekundární inkluze v rudních karbonátech DOBEŠEM (2001, $T_h = 90\text{--}120$ °C).

Vypočtené teploty porudního sulfidického stadia (165–190 °C) odpovídají teplotám získaným při použití sulfidických izotopových termometrů (100–200 °C, ŽÁK et al. 2001).

IZOTOPOVÉ SLOŽENÍ KYSLÍKU A VODÍKU RETROGRÁDNĚ-METAMORFICKÝCH A HYDROTERMÁLNÍCH FLUIDŮ

Izotopové složení kyslíku a vodíku bylo studováno na separovaných vzorcích biotitu, alterovaného biotitu, světlé slidy a chloritů jednotlivých stadií alterací. Izotopové složení vody bylo počítáno na základě hodnot frakcionace v párech biotit-voda, muskovit-voda a chlorit-voda pro teploty, získané sulfidickými izotopovými termometry a chloritovými termometry, a na základě studia fluidních inkluze.

Ve srovnání s metamorfními fluidy amfibolitové facie ($D = -45\text{--}55\text{‰}$, $^{18}\text{O} = 9,1\text{--}12,4\text{‰}$, SMOW) se složení retrográdně metamorfických fluidů mírně posunuje k vyšším hodnotám D (retrográdní světlá slida, $D = -27\text{‰}$). Hodnoty izotopového složení rudnosných vod se od metamorfních vod výrazně liší posunem k nižším hodnotám D (0–25 ‰), hodnoty ^{18}O se mění méně (6–9 ‰). Výrazná změna hodnot D a malý posun hodnot ^{18}O zřejmě indikuje infiltraci permských solanek do zón pozdně variské křehké deformace při nízkém poměru voda/hornina.



1. Poměr $Fe/(Fe + Mg)$ vs. Si v protochloritech a chloritech uranového ložiska Rožná.

DATOVÁNÍ ALTERACÍ

Radiometrické stáří (K/Ar) bylo stanoveno v laboratoři Actlabs, Kanada, metodou jednostupňového tavení třinácti vzorků muskovitu, světlé slídy, K-živce a illitu z jednotlivých stadií alterací. Radiometrické stáří světlé slídy v retrográdně-metamorfovaných horninách a světlé slídy v alteracích v okolí předuranové siderit-sulfidické mineralizace se pohybuje od 304,2 do 307,6 Ma a odpovídá zřejmě etapě rychlé exhumace variské kůry a vzniku křehce duktilních střížných zón poklesového charakteru v moldanubiku. K/Ar stáří K-živce (adularu) z předrudních hematitizovaných hornin se pohybuje v intervalu 281,6–293,3 Ma, tj. v období pozdně variské transpresivní křehké tektoniky a založení svrchnokarbonských a permických sedimentačních pánví. Radiometrické stáří těsně předrudních a těsně porudních illitů se pohybuje v intervalu 264,1 až 277,2 Ma (v závislosti na granulometrii jednotlivých frakcí) a shoduje se s výsledky U/Pb datování uraninitu (260–280 Ma, ANDERSON et al. 1988). Toto časové období odpovídá intervalu vyplňování svrchnokarbonických a spodnopermských sedimentačních pánví a vzniku pánevních solanek. Radiometrické stáří jednotlivých granulometrických frakcí illitů, které doprovázejí pouranovou sulfidickou mineralizaci (227,5–233,7 Ma) zřejmě odpovídá raně mezozoické, předkřídové etapě tektonické a termální reaktivace Českého masivu.

ZÁVĚR

Uvedené výsledky naznačují, že vývoj mineralizace a souvisejících alterací na ložisku Rožná probíhal v řadě časově i místně se překrývajících fází. Založení pozdně variských zón plasticko-křehké deformace bylo v období rychlé exhumace variské kůry (305–312 Ma) doprovázeno intenzivní chloritzací hornin, vznikem světlých slíd a pyritizací. S tímto stadiem souvisí vznik předuranové, siderit-sulfidické mineralizace.

Pozdější, předrudní alteraci, typickou výraznou hematitizací hornin, rozpouštěním křemene a albitezací plagioklasu, lze spojovat s infiltrací oxidačních pánevních solanek v období 295–305 Ma. Zdrojem solanek byly zřejmě svrchnokarbonické sedimentační bazény, založené podle křehkých transpresních struktur Českého masivu ve svrchném

ním stephanu. Oxidační vody extrahovaly uran z hornin moldanubika a byly postupně redukovány Fe^{+2} -silikáty (biotitem, alterovaným biotitem, chloritem) a pyritem za současného vysrážení uraninitu, coffinitu a U-Ti-oxidů v období 260–280 Ma. Snížení oxidačně-redukčního potenciálu hydrotermálních fluidů se v závěru uranové mineralizace projevilo vznikem malého množství pyritu a selenitové mineralizace. Pouranovou sulfid-baryt-fluoritovou mineralizaci doprovázenou argilitizací a prokřemeněním hornin lze spojovat s předkřídovou, raně mezozoickou termální a tektonickou reaktivací Českého masivu v triasu a začátkem jury.

Práce vznikla v rámci grantového projektu číslo 205/00/0212, Model uranové mineralizace na ložisku Rožná, Grantové agentury České republiky.

Literatura

- ANDERSON, E. B. – IVANOV, P. A. – KOMÍNEK, J. (1988): Rudní metasomatiza na uranových žilách ložiska Rožná. – Geol. Hydrometallurg. Uranu, 12, 70–88.
- CATHELINEAU, M. (1988): Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature. – Clay Miner., 23, 471–485.
- CATHELINEAU, M. – NIEVA, D. (1985): A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Mexico) geothermal system. – Contrib. Mineral. Petrology, 91, 235–244.
- DOBEŠ, P. – ŽÁK, K. – KRÍBEK, B. (2001): Fluid inclusion and stable isotope study at the Rožná uranium deposit, Czech Republic. In: NORONHA, F. – DORIA, A. – GUEDES, A. (eds.): ECROFI XVI Abstract Volume, Faculdade de Ciencias do Porto, Departamento de Geologia, Memoria, 7, pp. 115–117. Porto.
- HÁJEK, A. – UHLÍK, Z. – BAJER, B. – ROZHOŇ, V. – VOKOUN, J. (1984): Závěrečná zpráva k výpočtu zásob na ložisku Rožná. – MS ČSUP. Dolní Rožinka.
- JOWETT, E. C. (1991): Fitting iron and magnesium into hydrothermal chlorite geothermometer. – GAC/MAC/SEG Joint Annual Meeting. Program with Abstracts, A62, pp. 16.. Toronto.
- VOSTEEN, H. D. – WEINOLD, M. (1997): Flüssigkeitseinschlisspetrographie des Uranlagerstätte Rožná/Tschechisch Republik. Diplomová práce. – MS Technická univerzita v Clausthalu.
- ZANG, W. – FYFE, W. S. (1995): Chloritization of the hydrothermally altered bedrocks at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajás, Brasil. – Mineralium Depos., 30, 30–38.
- ŽÁK, K. – DOBEŠ, P. – KRÍBEK, B. – PUDILOVÁ, M. – HÁJEK, A. – HOLEČKY, D. (2001): Evolution of fluid types at the Rožná uranium deposit, Czech Republic: Stable isotope and fluid inclusion study. In: PIESTRZYNSKI, A. (ed.): Mineral deposits at the beginning of the 21st century. – Proc. 6th SGA-SEG Meeting, Krakow, pp. 109–113. Balkema Publishers. Lisse–Abingdon–Exton.