

## Teploty vzniku hydrotermálních křemenců a silkret ve výplni oháreckého riftu: interpretace SIMS dat

J. Zachariáš<sup>1</sup>, M.J. Whitehouse<sup>2</sup>, J. Adamovič<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Univerzita Karlova v Praze, zachar@natur.cuni.cz

<sup>2</sup>Swedish Museum of Natural History, Stockholm, martin.whitehouse@nrm.se

<sup>3</sup>Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha, adamovic@gli.cas.cz

**R**edistribuce oxidu křemičitého je běžná v riftových pánvích se siliciklastickou sedimentární výplní. Při transportu fluidy, jejichž teplota je zvýšená blízkými proniky magmatu nebo hlubokým oběhem podzemních vod po zlomových strukturách, se novotvořený SiO<sub>2</sub> soustřeďuje do převážně strmých těles sledujících výstupové dráhy. Pískovce v pánevní výplni mohou být druhotně silicifikovány také v souvislosti s klimatickými procesy na zemském povrchu, ať již jde o horizontální deskovitá tělesa na bázi půdních profilů (pedogenní silkrety) nebo na úrovni tehdejší hladiny podzemních vod ("groundwater silcrete"). V mnoha případech lze jen na základě geologické situace a minerálního složení genezi novotvořeného křemitého tmelu obtížně stanovit: všechny typy mohou obsahovat celou škálu fází od křemene po opál a tělesa křemenců mohou vykazovat poměrně složité geometrie.

V oblasti příkopu oháreckého riftu (oligocén-pleistocén) v severozápadní části Českého masivu byly vhodné podmínky pro vznik všech typů silicifikace: přítomnost křemenných pískovců v pánevní výplni (střední až svrchní eocén, spodní miocén) i v jejím podloží (křída), zvýšený tepelný tok a vulkanická činnost (oligocén až miocén) s výrazným zlomovým a puklinovým porušením a příznivé, tropické až subtropické klimatické podmínky pro mobilizaci SiO<sub>2</sub> (např. oligocén). Subsidence pánevního dna probíhala rostoucí měrou od eocénu do středního miocénu (mocnosti výplně až 500 m), převážně pod vlivem tahového napětí SZ-JV (Adamovič a Coubal 1999), následovaná topograficky výrazným výzdvihem severního okraje pánve na krušnohorském zlomu v pliocénu až pleistocénu.

Mladé pohyby na krušnohorském zlomu na Teplicku otevřely dráhy pro oběh teplých podzem

ních vod, spojený s masivní silicifikací (Čadek a Malkovský 1968). Z výskytů křemenců v této oblasti jsme studovali silicifikované spodnomiocenní písky na Salesiově výšině u Oseka a křídové křemenné pískovce v Jeníkově u Teplíc. Silicifikace na obou těchto lokalitách je kladena do pleistocénu (Čadek a Malkovský 1968, Zachariáš a kol. 2008).

Další studované výskyty křemenců leží při jihovýchodním okraji pánve v oháreckém zlomovém poli a jsou tradičně považovány za projev silkretizace (Vachtl 1952, Váně 1999): silicifikované písky eocenního starosedelského souvrství ve Stráncích u Mostu a pravděpodobně spodnomiocenní písky na Písečném vrchu u Loun. Křemence starosedelského souvrství ve Skalici u Litoměřic byly interpretovány jako specifický typ silkrety na hladině podzemní vody teplotně ovlivněný oligocenní depozicí horkého pyroklastického proudu v jejím nadloží (Malý et al. 2006).

Ve vzorcích bylo pomocí optické a elektronové mikroskopie, včetně katodové luminiscence (SEM-CL), identifikováno až 5 generací SiO<sub>2</sub> fází, značených jako Q<sub>1</sub> až Q<sub>5</sub>. Ve většině případů se jedná o alfa-křemen, výjimečně byly identifikovány chalcedon a moganit. Izotopové složení kyslíku ( $\delta^{18}\text{O}_q$  v ‰ SMOW) alfa-křemene a chalcedonu bylo dále studováno pomocí Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS) v bodových profilech od klastického zrna, přes jednotlivé růstové zóny syntaxiálního křemene až po nejmladší výplně pórů. Izotopové složení kyslíku vody ( $\delta^{18}\text{O}_w$  v ‰ SMOW), z níž křemen vznikal, odvozujeme z korelace mezi složením srážek a průměrnou roční teplotou v době silicifikace. Pro výpočet teplot vzniku byla použita frakcionační rovnice podle Knaut a Epstein (1979).

**Jeníkov u Teplíc:** z přítomných 5 generací křemene byly studovány pouze lemy ("overgrowths"  $Q_1$  a  $Q_3$ ) klastických zrn. Hodnoty  $\delta^{18}O_q$  se liší pro  $Q_1$  (+23,0 ‰) a pro  $Q_3$  (+19 až +17 ‰). Při hodnotách roztoku  $\delta^{18}O_w = -10$  ‰ by teplota vzniku lemu  $Q_1$  byla asi 20 °C a hlavní fáze silicifikace ( $Q_3$ ) by probíhala za teplot cca 40 až 50 °C (tj. jen o málo vyšších než současné teplotické termy).

**Salesiova výšina u Oseka:** v rámci až 500  $\mu\text{m}$  mocných lemu ( $Q_3$ ) byly zjištěny systematické variace ve složení v rozsahu od +12,6 do +10,6 ‰. V několika případech byly identifikovány exkurze z tohoto trendu až na hodnoty +8 až +7,5 ‰. Průměrnou teplotu fluid ( $\delta^{18}O_w = -10$  ‰) odhadujeme na cca 80 °C. Variace v teplotě fluid jsou však značné (70–115 °C).

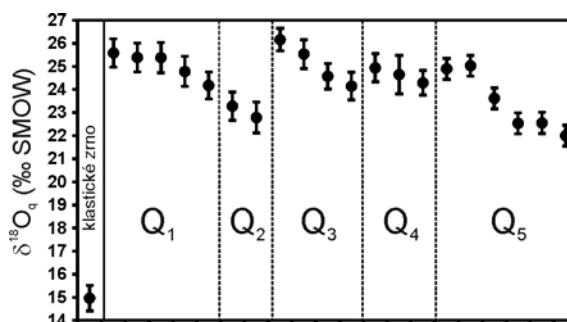
**Skalice:** hodnoty  $\delta^{18}O_q$  stoupají od nejstarších přírůstkových zón ( $Q_1$ : +12,6 ‰) k mladším zónám ( $Q_2$ : +27,1 ‰). Při vzniku z vod o  $\delta^{18}O_w = -6,5$  ‰ teplota vzniku lemu odráží nelineární pokles z cca 100 °C až na 17–20 °C. Tento trend je zcela ve shodě se geologickým modelem (Malý et al. 2006; kombinovaný efekt tepla a rozpouštění v podloží pyroklastického proudu).

**Stránce:** hodnoty  $\delta^{18}O_{\text{křemene}}$  klesají od  $Q_3$  (+21,6 ‰) ke  $Q_{4-5}$  (+18,5 ± 0,3 ‰). Při vzniku z vod o  $\delta^{18}O_w = -6,5$  ‰ variace ve složení odpovídají nárůstu teploty z cca 40 °C (hlavní fáze silicifikace) na cca 60 °C (objemově nevýznamné pozdní stádium).

**Písečný vrch:** hodnoty  $\delta^{18}O_q$  kolísají od +26,2 do +22,0 ‰ (průměr 24,3 ‰) téměř v rámci každé generace ( $Q_1$  až  $Q_5$ ). Při  $\delta^{18}O_{\text{fluid}} = -6,5$  ‰ průměrná teplota vzniku křemene je cca 30 °C, možné variace činí ± 10 °C.

## Literatura:

- Adamovič, J. & Coubal, M. 1999. *Geolines*, 9, 5-14.  
 Čadek, J. & Malkovský, M. 1968. *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 14, 71-87.  
 Knaut, L.P. & Epstein, S. 1976. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40, 1095-1108  
 Malý, K.D., Cajz, V., Adamovič, J., & Zachariáš, J. 2006. *Geologica Carpathica*, 57, 461-472.  
 Vachtl, J. 1952. *Sbor. ÚÚG*, 19, Praha, 213-271.  
 Váně, M. 1999. *Geologie Lounska pro třetí tisíciletí*. VI. nákl., 471 str.  
 Zachariáš, J., Adamovič, J. & Konečný, P. 2008. *Canadian Mineralogist*, 46, 1435-1448.



**Obr. 1:** Variace v izotopovém složení kyslíku křemene a chalcedonu ( $Q_4$ ) na lokalitě Písečný vrch. Chybové úsečky odpovídají 1 sigma.

**Shrnutí:** Teploty vzniku silicifikace na lokalitách Jeníkov (40–50 °C) a Salesiova výšina (80–90 °C) korelují s modelem vzniku současných teplotických term, jen jsou vyšší. Výrazné variace v teplotách roztoků (Salesiova výšina) lze vysvětlit jejich ochlazováním v blízkosti místa vývěru, ať už vlivem topografického překládání výstupových drah terem, či mísením s povrchovými vodami.

Teploty odhadnuté pro lokality Stránce a Písečný vrch jsou vyšší než teploty očekávané pro "groundwater" silikrety (s.s.; 5–25 °C). Možné vysvětlení nabízí kombinace mísení chladných podzemních vod s termami hlubšího oběhu, či snížení hodnot  $\delta^{18}O_w$  roztoků vlivem proniku většího množství  $CO_2$  podzemními vodami. V prostředí oháreckého riftu jsou obě hypotézy stejně pravděpodobné.

## Poděkování:

Výzkum byl spolufinancován grantovými projekty: GA AV A3013302 a SYNTHESYS SE-TAF-1495 a výzkumnými záměry MSM0021620855 a AV0Z30130516