



Izotopy Pb a modelová stáří puklinových výplní v granitu ve vrtu PDM-1 u Rejčkova, Melechovský masív

Pb isotopes and model ages of fracture-fillings in granite of the PDM-1 borehole near Rejčkov, Melechov Massif

Václav Procházka⁽¹⁾ • Jiří Zachariáš⁽²⁾ • Ladislav Strnad⁽³⁾

Abstract: We present Pb-isotope composition of parent granite and 25 samples of low-temperature mineral assemblages filling open fractures in a granite from southern part of the Melechov Massif of the Moldanubian Batholith, sampled over the 100 m deep borehole PDM-1. The fillings have usually higher U/Pb and $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratios compared to the host granite, which mostly enables dating by one-stage model (i.e., determination of time when their isotopic composition was within the range of the host rock). The most abundant group (12 samples) yielded maximum model ages between 150 and 225 Ma, while their minimum model ages range from 0 to 145 Ma. Variscan ages of up to 300 Ma are probable in the case of 4 samples. Three samples with the highest U/Pb ratios yielded Tertiary model ages (maximum 30–60 Ma); two of them are chemically very contrasting (mainly rich in Mn oxides). It follows that joints could experience several events of uranium and/or lead redistribution throughout their late-Variscan and post-Variscan evolution, with little importance of Quaternary processes.

Keywords: fracture fillings, model ages, peraluminous granite, Pb isotopes, uranium redistribution.

Abstrakt: Ve vrtu PDM-1 v jižní části melechovského masívu moldanubického plutonu bylo porovnáno izotopové složení olova v granitu a v nízkoteplotních výplních otevřených puklin v téže hornině. Výplně mají zpravidla vyšší poměr U/Pb i $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ než hornina, což umožňuje pro většinu z nich určit jednodušňové modelové stáří jako časový interval, kdy se jejich izotopové složení shodovalo s horninou. Nejpočetnější skupina (12 vzorků) má maximální modelové stáří mezi 150 a 225 Ma, přičemž jejich minimální stáří se pohybují od 0 do 145 Ma. Variská stáří až 300 Ma jsou pravděpodobná u 4 vzorků. Tři vzorky s nejvyššími poměry U/Pb mají terciární modelová stáří (maximum 30–60 Ma); dva z nich jsou velmi chemicky kontrastní (hlavně bohaté oxidy Mn). Z výsledků vyplývá, že v puklinách mohlo dojít k několika epizodám redistribuce uranu a/nebo olova během pozdně variského a povariského vývoje, přičemž geologické procesy v kvartéru již neměly velký vliv na Pb-izotopové složení studovaných výplní.

Klíčová slova: izotopy Pb, modelová stáří, peraluminický granit, pukliny, redistribuce uranu, výplně.

Úvod

V rámci mezinárodního projektu PADAMOT (Palaeohydrogeological Data Analysis and Model Testing), zaměřeného na paleohydrogeologii horninových masívů (Milodowski et al. 2005), byly ve vrtu PDM-1 lokalizovaném v Melechovském granitovém masívu (současně s několika lokalitami v zahraničí) zkoumány nízkoteplotní výplně otevřených puklin (Zachariáš et al. 2005).

¹⁾ Česká geologie, Pštrossova 16, CZ – 110 00 Praha 1, e-mail: vprochaska@seznam.cz

²⁾ Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Albertov 6, CZ – 128 43 Praha 2, e-mail: jiri.zacharias@natur.cuni.cz

³⁾ Laboratoře geologických ústavů, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Albertov 6, CZ – 128 43 Praha 2, e-mail: lada@natur.cuni.cz

Vrt PDM-1 je umístěn 1 km jz. od obce Rejčkov (11 km jz. od Světlé nad Sázavou), u cesty směrem Podivice. Podle geologických map (Mlčoch et al. 1995) zde vystupuje lipnický typ granitu, avšak velmi blízko se již nachází koutský a dále i melechovský typ. Necelý kilometr je vzdálen i kontakt s moldanubickými pararulami a migmatity. Jde tedy o geologicky značně pestré území, k čemuž přispívají i žilné horniny (Breiter 2006).

Vrt PDM-1 dosáhl svislé hloubky 100 m, většina z celkové délky připadá na granit, lokálně jsou přítomny xenolity pararul nebo migmatitů (největší z nich zabírá téměř celý úsek od 83 do 86 m). Zvětralý granit zasahuje od povrchu do hloubky přibližně 9 m, níže pak leží čerstvý granit s výjimkou intenzivně limonitizovaného úseku 34–41 m. Vrt je prostoupen hustou sítí puklin a drobných zlomů, jejichž sklon je nejčastěji v rozmezí 30–60°. Většina z nich je vyplněna jílovitou hmotou s reliktů více, či méně alterovaných/zvětralých primárních minerálů matečného granitu. Mocnost otevřených puklin je v rozmezí od <1 do ~15 mm.

Základní charakteristika granitu z vrtu PDM-1

Jde o středně zrnitý až drobnozrnitý granit, který byl vzorkován pouze ve vrtu PDM-1 a není zanesen v geologických mapách. Většinu petrografických i chemických charakteristik má přechodných mezi méně kyselým lipnickým a kyselejším koutským granitem. Částečně se hornina podobá světlejší varietě lipnického typu, dokumentované v nedalekém vrtu Mel-3 (Breiter 2006). Přechodný charakter horniny je nejjednodušším vysvětlením pro její výskyt jen v malém prostoru.

Hlavními minerály jsou křemen, plagioklas, K-živec a slídy. Plagioklas je většinou kyselý oligoklas, občas postižený albitizací, často sericitizací. Poněkud méně než plagioklas je zastoupen K-živec (byly určeny mikroklin i ortoklas). V biotitu celkově mírně převažuje Fe nad Mg ($Fe/(Fe+Mg) = 0,45–0,63$; Zachariáš et al. 2005). Objem biotitu je menší než muskovitu, což je však způsobeno hlavně alteracemi (chloritizace, baueritizace). Muskovit někdy obsahuje reliktů sillimanitu. Akcesorie zahrnují apatit, zirkon, monazit, ilmenit, nepravidelně rutil (hlavně v chloritizovaném biotitu, nebo restit; možný je i výskyt jiných modifikací TiO_2), někdy hojně jehlicovité uzavřeniny v křemeni, pravděpodobně postmagmatický sillimanit.

Chemicky hornina odpovídá nepříliš diferencovaným peraluminickým granitům. Silikátové analýzy a průměrné složení včetně stopových prvků jsou v tabulce 1 (Pb, Th a U v tab. 2). Pro srovnání je uvedeno průměrné složení lipnického granitu (a jeho světlejší variety) z blízkých vrtů Mel-3 a Mel-4, a rovněž koutského granitu z vrtu Mel-6 (ten je již od vrtu PDM podstatně vzdálenější, z blízkého okolí však není k dispozici analýza této horniny ani z povrchu).

Tab. 1 – Hlavní a vybrané stopové prvky v granitu z vrtu PDM-1 (Zachariáš et al. 2005) a srovnání s průměrnými hodnotami podobných typů granitů ve vrtech (podle dat v práci Breiter 2006; značené „Mel“); tučně – průměr z vrtu PDM-1 a jemu nejbližší hodnoty z průměrů dalších typů granitů.

Tab. 1 – Major and selected trace elements in granite of the borehole PDM-1 (Zachariáš et al. 2005), for comparison mean values of similar granites in boreholes (after Breiter 2006; labeled „Mel“); in bold are mean values of PDM-1 and the most similar mean values of other granites.

metráž	vrt PDM-1, granit						kout- ský granit	lip- nický granit	světlý lip- nický granit
	6,4 m	22,5 m	48 m	77 m	98,8 m	průměr	Mel-6	Mel-4	Mel-3
SiO ₂	74,14	74,12	73,49	72,28	71,96	73,20	72,26	69,61	71,78
TiO ₂	0,24	0,21	0,23	0,29	0,31	0,26	0,25	0,50	0,29
Al ₂ O ₃	13,36	13,89	13,97	14,58	14,28	14,02	14,61	14,98	14,69
Fe ₂ O ₃	1,39	0,84	0,66	0,71	0,43	0,81	0,40	0,65	0,53

metráž	vrt PDM-1, granit						kout- ský granit	lip- nický granit	světlý lip- nický granit
	6,4m	22,5 m	48 m	77 m	98,8m	průměr	Mel-6	Mel-4	Mel-3
FeO	0,26	0,3	0,76	0,99	1,3	0,72	0,96	1,74	1,04
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,028
MgO	0,52	0,39	0,46	0,62	0,62	0,52	0,33	0,85	0,46
CaO	0,46	0,46	0,52	0,45	0,73	0,52	0,59	1,13	0,68
Na ₂ O	1,58	2,63	2,73	2,42	3,12	2,50	3,06	2,95	2,89
K ₂ O	5,53	5,42	5,42	5,49	5,72	5,52	5,30	5,48	5,97
P ₂ O ₅	0,23	0,29	0,27	0,27	0,23	0,26	0,28	0,26	0,24
H ₂ O+	1,38	0,86	0,84	1,21	0,73	1,00	-	-	-
H ₂ O-	0,26	0,2	0,12	0,2	0,08	0,17	-	-	-
CO ₂	0,07	0,09	0,12	0,07	0,07	0,08	-	-	-
suma	99,44	99,72	99,61	99,6	99,61	99,60	98,08	98,19	98,60
Rb	473	386	307	324	330	364,0	315,8	312,1	316,3
Sr	38	53	64	67	87	61,8	70	109,7	68,3
Ba	244	230	251	294	346	273	301	521	263
Zr	102	101	110	136	143	118,4	97,3	211,7	106
Ce	69,9	60,6	74,4	93,5	88,4	77,4	63	135,1	98,4

Výsledky

Základní charakteristika minerálních výplní otevřených trhlin a puklin

Většina studovaných otevřených puklin z vrtu PDM-1 je pokryta povlakem/výplní jílovité konsistence, jejíž barva kolísá od bělavé, přes okrovou a cihlově hnědou až po černou, v závislosti na množství přítomných oxidů/hydroxidů Fe nebo Mn. Minerály z výplně puklin byly semikvantitativně identifikovány práškovou RTG difrakcí, v elektronovém mikroskopu a infračervenou spektroskopií (FTIR). Dle hojnosti přítomných fází lze výplně rozdělit na: i) s výraznou převahou jílových minerálů; a ii) s převahou jílových minerálů a variabilním zastoupením Fe a Mn oxidů/hydroxidů. Vedle zbytků primárních minerálů mateřského granitu (křemen, živce, slídy, akcesorie; reprezentují produkt fyzikálního zvětrávání) se uplatňují především produkty chemického zvětrávání: jílové minerály (do hloubky přibývá illitu na úkor smektitu), goethit a oxidy Mn (kryptomelan, todorokit a pyrochroit?). Místy bývá hojnější i chlorit. Zvětrávací, ani hydrotermální karbonáty nebyly zjištěny.

Chemické analýzy nijak neupravených výplní byly provedeny z roztoku pomocí AAS a ICP-MS a byly zaměřené na stopové prvky a stanovení izotopů Pb. Příklad chemického složení vybraných výplní je v tabulce 3, veškerá data jsou v příloze ke zprávě PADAMOT (Zachariáš et al. 2005).

U, Th a Pb v puklinových mineralizacích

Puklinové výplně jsou ve srovnání s horninou vždy obohaceny o U a zpravidla i Pb. Uran ve výplních má velmi těsnou korelaci se železem (resp. oxidy a hydroxidy Fe), proto se nejvyšší hod-

noty vyskytují hlavně v menších hloubkách. Naproti tomu Th ve výplních tolik nabohaceno není a na rozdíl od U má výraznou korelaci s Nd (dále např. se Zr), což svědčí o jeho vazbě převážně v původních horninotvorných akcesoriích (monazit). Obohacení mnoha výplní současně o Zr, vzácné zeminy a Th lze vysvětlit nahromaděním drobných zrn akcesorií jako zirkon a monazit, transportovaných gravitačně nebo prouděním vody (Zachariáš et al. 2005). Olovo nemá výrazný vztah s žádným parametrem, z něž by bylo možno soudit na jeho minerální nositele.

Izotopy Pb

Obsahy Pb, Th a U i poměry izotopů Pb (tab. 2, 3) byly stanoveny kvadrupólovým hmotnostním spektrometrem s indukčně vázanou plazmou (ICP-MS) X Series II (výrobce Thermo Scientific, Německo) v Laboratořích geologických ústavů PřF UK v Praze. Relativní směrodatná odchylka poměru $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ činí 0,13 až 0,43%. Extrapolace izotopového složení do minulosti byla provedena s použitím těchto hodnot rozpadových konstant: $\lambda^{238}\text{U} = 1,55125 \times 10^{-10} \text{ rok}^{-1}$, $\lambda^{235}\text{U} = 9,8485 \times 10^{-10} \text{ rok}^{-1}$, $\lambda^{232}\text{Th} = 4,9475 \times 10^{-11} \text{ rok}^{-1}$.

Nejvíce se vyvíjí poměr $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$. Oba izotopy sice vznikají rozpadem uranu, ^{207}Pb je však mnohem více zastoupen v obyčejném (neradiogenním) olovu (a stanovení čistě neradiogenního ^{204}Pb je již méně přesné). Navíc systém U-Pb by měl být méně citlivý na předpokládaný gravitační transport drobných zrn akcesorií (jejichž stáří je v naprosté většině případů variské) než systém ^{232}Th - ^{208}Pb . Kromě toho se poměr $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ve většině výplní vyvíjel velmi pomalu také kvůli mnohem nižšímu poměru Th/Pb než jaký je v hornině.

Diskuse

Poměry $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ve vzorcích granitu extrapolované do minulosti se nejvíce sbližují zhruba v období 290 až 350 Ma. Pokud bychom však vyloučili ze souboru dat poněkud odchylný vzorek z hloubky 22,5 m s vyšším obsahem U, dolní hranice intervalu by se posunula až k 250 Ma. Uvedený interval tak zahrnuje jak hlavní fázi krystalizace moldanubického plutonu (~320 až ~340 Ma; např. Gerdes et al. 2003, Žák et al. 2011), tak i datování monazitu v granitech melechovského masívu (~305–320 Ma, Breiter & Sulovský, 2005). Stáří mezi 250 až 290 Ma naopak odpovídá četným hydrotermálním uranovým mineralizacím z různých oblastí Českého masívu (Anderson 1987, Škácna et al. 2009), ale také stáří uraninitu separovaného z koutského granitu (Procházka et al. 2011b). Na druhé straně vzorek z hloubky pouze 6,4 m, v němž se projevilo zvětrání (např. výraznou oxidací Fe a zřejmě i ochuzením o Na – viz tab. 1), vývojem izotopů Pb nijak nevybočuje z ostatních.

Tab. 2 – Obsahy Pb, Th a U (mg/kg) a poměry izotopů $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ v granitu z vrtu PDM-1 (podle práce Zachariáš et al. 2005).

Tab. 2 – Pb, Th and U content (mg/kg) and $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ isotope ratios of granites from the PDM-1 borehole (after Zachariáš et al. 2005).

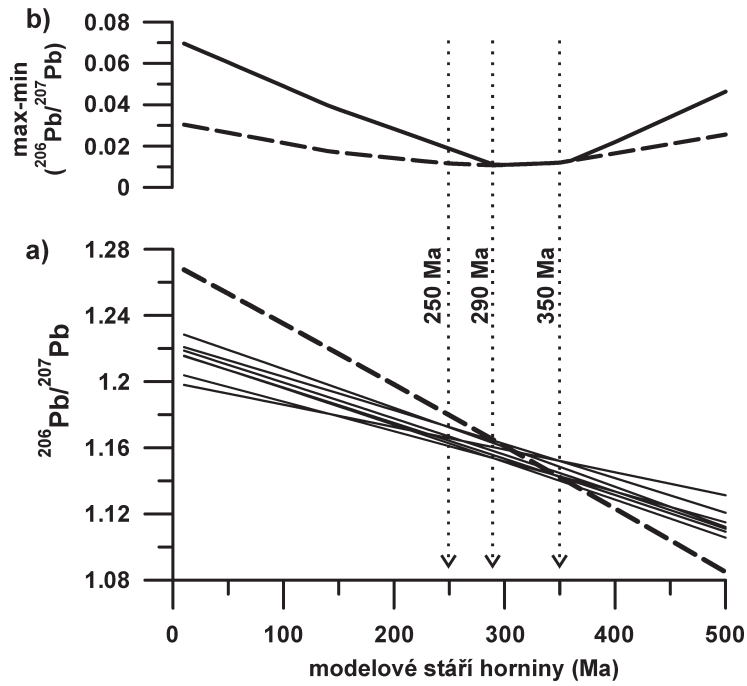
metráž	6,4 m	13 m	22,5 m	29,6 m	48 m	59,8 m	77 m	98,8 m
Pb	19,96	24,6	24,22	24,9	24,42	32,2	25,8	27,98
Th	21,58	23,2	20,46	25,6	24,47	26,4	28,53	26,72
U	7,06	8,8	14,59	9,1	9,44	10,7	7,65	6,25
$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1,2134	1,2209	1,2713	1,2179	1,2306	1,2231	1,2055	1,1993

V době utuhnutí granitového magmatu (~320 Ma) muselo izotopové složení jak horninotvorných minerálů, tak případných hydrotermálních minerálů ve výplni puklin být totožné s izotopovým složením celkové horniny. Později sice již mohly vznikat i výplně s poměrem izotopů odlišným od mateřské horniny (např. pokud by olovo pocházelo z uraninitu), ale určitě ne s poměrem méně radiogenním než byl v hornině před 300 Ma. Můžeme tedy bezpečně stanovit alespoň spodní hranici původního poměru $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ve výplních na 1,15 (obr. 1a).

Tab. 3 – Obsahy prvků (Fe v hmot. %, ostatní v mg/kg) a poměry izotopů Pb vybraných puklinových výplní. Jednostupňová modelová stáří podle poměru $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ (hodnoty jsou v závorce, pokud je jednostupňové stáří zjevně nepoužitelné).

Tab. 3 – *Elements abundances (Fe in wt. %, others in ppm) and Pb isotope ratios of selected fracture fillings. One-stage model ages according to the $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ ratio (in brackets, if the one-stage age is obviously inapplicable).*

metráž	3,2m	10,5m	17,8m	26m (b)	41,2m	44,6m	56m	72,3m	86,7m
Fe	4,64	23,32	12,19	28,81	29,49	2,01	5,07	6,155	1,87
Mn	546	521	59100	988	5758	309	577	373	305
Ca	5950	1150	2800	5450	3100	6200	2350	4750	13537
Mg	7655	3215	5780	7430	4990	5940	6315	7675	14995
Na	9475	3365	670	615	3175	3855	1285	875	14830
K	14195	11680	20955	11540	12875	49595	30385	24210	6728
Li	105,8	48,6	705	16,9	41	32,7	51	32,3	44,4
Be	6,1	55,6	20,1	44,7	40,2	5,8	15,2	40,7	4,9
Rb	184	89	237	149	77	486	403	316	60
Sr	74,5	37	198	40,1	67	36,1	24,4	42	156,1
Ba	145	73	1227	44	382	244	66	40	63
V	89,9	36,8	19,3	34,6	26,2	8,7	16,4	10,3	9,7
Cu	58,4	32,7	24,4	16,2	8,3	28,4	20,9	22,6	9,6
Zn	227	752	2979	1015	613	246	216	190	50
Tl	1,12	0,52	0,03	0,72	0,58	3,28	2,09	1,81	0,4
Zr	150	116	125	148	107	155	131	104	59
Nb	13,69	4,45	3,01	1,61	2,55	18,68	3,21	6,61	4,73
Y	26,4	11,5	24,1	15,9	8	7,4	24,6	16,8	10,9
La	40	27	80	151	20	17	161	164	61
Ce	85	59	441	293	78	40	332	319	125
Yb	2,62	0,8	2,22	1,04	0,6	0,24	1,08	0,95	0,82
Eu/Eu*	0,654	0,525	0,550	0,221	0,384	0,406	0,234	0,172	0,453
Ce/Ce*	0,924	0,945	2,427	0,867	1,72	0,998	0,931	0,912	0,961
Pb	54,2	171	35,8	225,7	108	34,9	64,3	104,1	20,6
Th	41	22,8	25,4	74,3	12,8	10,4	26,4	35,7	18,8
U	62,4	253,6	137,5	273,7	104,8	24,2	74,5	97,2	17,5
$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$	1,4008	1,3060	1,3193	1,3214	1,3369	1,3403	1,2749	1,3308	1,2804
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	38,865	39,074	39,46	39,475	39,729	39,029	39,36	39,214	39,149
t (Ma)	(340)	125	30	170	300	(>400)	85	295	170



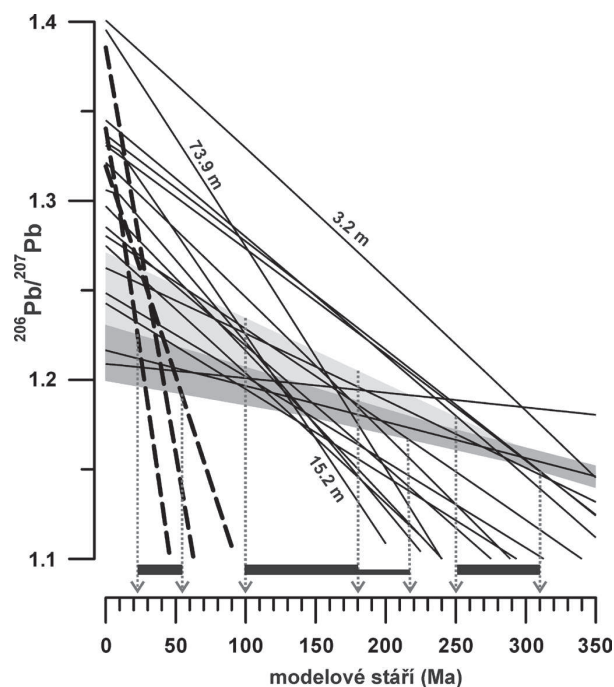
Obr. 1 – Vývoj poměru izotopů $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ve vzorcích granitu z vrtu PDM-1 za předpokladu, že nebyl narušen systém U-Pb ve studovaných vzorcích: a) izotopový poměr (čárkovaně je zvýrazněn „anomální“ vzorek z hloubky 22,5 m); b) rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou izotopového poměru (plná čára = všechna data, čárkovaná čára = soubor s vyloučením vzorku z hloubky 22,5 m).

Fig. 1 – Evolution of the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio in whole-rock granite samples from the PDM-1 borehole under assumption of undisturbed U-Pb system: a) isotope ratio (dashed line = anomalous sample from a depth of 22.5 m); b) difference of maximum and minimum values of isotope ratio (solid line = all data included; dashed line = all data, except sample 22.5 m).

Většina vzorků puklinových výplní má v současnosti poměr $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ vyšší než granit (obr. 2), pouze šest spadá do rozmezí poměrů v granitu, žádný nemá poměr $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ nižší než je minimální poměr v hornině. Toto výrazně radiogenní složení olova ve výplních dokazuje, že systém U-Th-Pb v puklinách má předkvartérní stáří a případné porušení radioaktivní rovnováhy mezi U a Ra za posledních 900 tisíc let, pozorované v některých granitech melechovského masívu (Hanák et al. 2006, Procházka et al. 2013), se projevilo jen slabě.

V některých puklinách (metráže 31 m, 44,6 m, 49,7 m, 68,4 m, zčásti pravděpodobně i 3,2 m; nejsou zobrazeny v obr. 2) se poměr izotopů extrapolovaný do minulosti přibližuje poměru v hornině až v předvariské době (pokud vůbec). Nejjednodušším vysvětlením je, že u těchto vzorků došlo k pozdně variské (nebo mladší) částečné ztrátě uranu (u vzorku z hloubky 3,2 m téměř jistě zvětráváním). Chemicky není ale tato skupina puklin ničím výjimečná.

Modelové variské stáří 250–310 Ma výplně puklin vyplývá z extrapolace izotopových poměrů pro pukliny z hloubek 41,2 m, 51,7 m, 72,3 m a 28 m. Dvě z těchto puklin obsahují přes 25 hmot. % Fe. Vzorek 41,2 m má i výraznou pozitivní anomálii Ce, která mohla vzniknout jen v dostatečně oxidačním prostředí. Je tedy třeba brát v úvahu i možnost mladšího vzniku mineralizace a pozdější ztráty U.



Obr. 2 – Vývoj poměru izotopů $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ a jednostupňová modelová stáří ve vzorcích vybraných výplní puklin z vrtu PDM-1. Rozsah izotopových variací v matečném granitu je znázorněn šedými poli (světlé = všechna data; tmavé = vyloučen vzorek 22,5 m). Tři nejmladší pukliny jsou zvýrazněny silnou čárkovanou čarou. Intervaly koincidence většího počtu modelových stáří puklinových výplní jsou zvýrazněny silnou čarou podél časové osy.

Fig. 2 – Evolution of the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ratio and single stage model ages of fracture fillings from the PDM-1. Shaded areas represent range of isotope ratios of the parent fresh granite (light grey = all data; dark grey = all data, except sample 22.5 m). The three youngest fracture fillings are highlighted by thick dashed lines. Intervals of coincidence of most model ages are highlighted by thick lines parallel with the age-axis.

Výplň z hloubky 19 m spadá do rozmezí poměru v horninách od 310 Ma až do současnosti a nelze ji tedy datovat. Totéž platí s výhradou pro metráž 59,8 m, kde je však pravděpodobnější ztráta olova.

Ostatní výplně mají jednoznačně mladší než variské stáří. Zajímavé jsou shody extrapolovaných izotopových poměrů velkého množství puklin s horninami, ale i navzájem pro období zhruba mezi 100 a 180 Ma (obr. 2). Tento interval může znamenat poslední výraznou změnu systému U-Th-Pb pro puklinové výplně z metráží: 10,5; 15,2; 22,5; 26; 56; 56,6; 63,9; 73,9; 76,4 a 91,4 m. Minimální modelové stáří výplně všech těchto puklin se však pohybuje od 145 Ma až po recent. Jediná výplň s nižším poměrem U/Pb než granit (22,5 m) má maximální stáří 225 Ma, 220 Ma je maximální stáří pro metráž 86,7 m.

Modelová stáří mnoha výplní na pomezí jury a křídly (~140 Ma) by mohla datovat erozi bezprostředního nadloží a následnou oxidaci uranu, která by vedla k jeho redistribuci. Za předpokladu, že byl v původních mineralizacích (příp. hornině) přítomen uraninit, je takový scénář v podstatě nevyhnutelný; přitom mohl nastat ve více fázích. Pokud byl uraninit jako akcesorie v hornině, radiochemické alterace v jeho okolí vytvořily přístup pro fluida již brzy po zchladnutí horniny (Procházka et al. 2011a, b).

Tři zdánlivě nejmladší výplně (maximální modelové stáří 25–55 Ma; metráže 17,8, 26 a 47,5 m) mají nejvyšší poměry U/Pb a s velkou pravděpodobností v nich tak došlo ke ztrátě olova nebo obohacení o uran (případně radium, chemicky blízké baryu). Dvě z nich mají i velmi vysoký obsah Mn, Co, Zn, Ba, Li a výraznou pozitivní anomálii Ce.

Závěr

Částečně otevřené pukliny z vrtu PDM-1 v Melechovském masívu jsou vyplněny směsí jílových minerálů, goethitu a oxidů Mn, které představují produkty chemického zvětrávání nebo nízko-teplotní hydrotermální alterace matečného granitu. V minoritním množství jsou přítomny i relikty nealterovaných primárních minerálů granitu. Porovnáním izotopového složení Pb vzorků matečné horniny a výplní otevřených trhlin z hloubek 0–100 m od povrchu lze konstatovat, že: (i) Horninové vzorky vykazují minimální variace izotopového poměru $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ pro období přibližně 340–290 Ma. Tento interval je v dobré shodě s datováním krystalizace S-granitů melechovského masívu i dalších částí Moldanubického plutonu (Scharbert & Veselá 1990, Breiter & Sulovský 2005) a ukazuje, že systém U-Pb-Th v matečném granitu není výrazněji porušen. (ii) Izotopový poměr $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ puklinových výplní lze odvodit z vývoje izotopového poměru matečné horniny, pokud budeme předpokládat částečné porušení U-Th-Pb systému současně se vznikem druhotných výplní, případně i následně po jejich vzniku. Většina výplní puklin z vrtu PDM-1 indikuje takovéto porušení zejména pro období přibližně 100–180 a 250–310 Ma. První uvedené rozmezí by mohlo datovat erozi bezprostředního nadloží a následnou oxidaci uranu, která by vedla k jeho redistribuci. Druhé rozmezí indikuje patrně dozvuky pozdně variské a povariské hydrotermální aktivity. (iii) Puklinové výplně byly jen omezeně izotopicky či chemicky ovlivněny během kvartéru. Prokazatelně předkvartérní modelové stáří téměř všech analyzovaných výplní podporuje předpoklad předholocenního zvětrání v oblasti melechovského masívu (Procházka et al. 2014).

Literatura

- Anderson E. B. (1987): Isotopic and geochronological investigations of uranium deposits of Czechoslovakia (in Russian). – Ms. [Depon. in: archiv DIAMO, Příbram.]
- Breiter K. (2006): Geologická dokumentace a vyhodnocení vrtných prací. – Dílčí zpráva úkolu Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. Etapa. – Ms. [Depon. in: SÚRAO, Praha.]
- Breiter K. & Sulovský P. (2005): Stáří granitů melechovského masívu. – Zprávy o geologických výzkumech v roce 2004, 16–17.
- Gerdes A., Friedl G., Parrish R. R. & Finger F. (2003): High-resolution geochronology of Variscan granite emplacement the South Bohemian Batholith. – J. Czech Geol. Soc. 48: 53–54.
- Hanák J., Chlupáčová M., Keršner Z. & Daněk P. (2006): Fyzikální a geomechanické vlastnosti vzorků vrtných jader z druhé etapy výběru polygonů (závěrečná zpráva). – Ms., 127 p. [Depon. in: ČGS, Praha.]
- Milodowski A. E. (ed.) (2005): Application of mineralogical, petrological and geochemical tools for evaluating the palaeohydrogeological evolution of the PADAMOT study sites. – PADAMOT Project Technical Report WP2, 228 p.
- Mlčoch B., Štěpánek P., Breiter K. & Procházka J. (1995): Stručná petrologická a petrochemická charakteristika základních typů melechovského masívu. – Ms. [ČGÚ Praha, Geofond P 86603/2.]
- Procházka V., Seydoux-Guillame A. M., Trojek T., Goliáš V., Korblová Z., Matějka D. & Novotná P. (2011a): Alteration halos around radioactive minerals in plutonic and metamorphic rocks of northern Moldanubian area, Bohemian massif. – Eur. J. Mineral. 23/4, 551–566.
- Procházka V., Žáček M., Chlupáčová M., Matějka D., Korblová Z. & Klementová M. (2011b): Některé informace z koncentrátů těžkých minerálů z melechovského masívu. – Zpr. Geol. Výzk. v roce 2010, 172–176.
- Procházka V., Kašpárek I., Knésl I. & Matějka D. (2013): Drobné pevné částice a chemické zvětrávání melechovského granitu. – Sbor. Jihočes. muz. v Čes. Budějovicích, Přír. vědy 53: 19–32.

- Procházka V., Žáček M. & Matějka D. (2014): Kontaminace zvětralého melechovského granitu. – Zpr. Geol. Výzk. v roce 2013, 134–139.
- Scharbert S. & Veselá M. (1990): Rb-Sr systematics of intrusive rocks from the Moldanubicum around Jihlava. – In: Míňaříková D. & Lobitzer H. (eds), 30 years of geological cooperation between Austria and Czechoslovakia, pp. 262–271, Ústí. Úst. geol. Praha.
- Škácha P., Goliáš V., Sejkora J., Plášil J., Strnad L., Škoda R. & Ježek J. (2009): Hydrothermal uranium-base metal mineralization of the Jánská vein, Březové Hory, Příbram, Czech Republic: lead isotopes and chemical dating of uraninite. – J. Geosci. 54/1: 1–13.
- Zachariáš J., Chvátal M., Strnad L. & Šebek O. (2005): Contribution to the WP2 report „Melechov Massif, Czech Republic“, Geochemical part. – Ms. [Dílčí zpráva projektu PADAMOT; depon. in: PřF UK, Praha.]
- Žák J., Verner K., Finger F., Faryad S. W., Chlupáčová M. & Veselovský F. (2011): The generation of voluminous S-type granites in the Moldanubian unit, Bohemian Massif, by rapid isothermal exhumation of the metapelitic middle crust. – Lithos 121: 25–40.

Došlo: 2. 3. 2015

Přijato: 1. 6. 2015