Radioaktivita a zonálnost v granitových plutonech weinsberského typu: indikátor diferenciace vyderského a prášilského plutonu (moldanubický batolit, Šumava)

Radioactivity and zoning in granite plutons of Weinsberg type: indicator of differentiation of the Vydra and Prášily plutons (Moldanubian Batholith, Czech Republic)

Vladimír Žáček

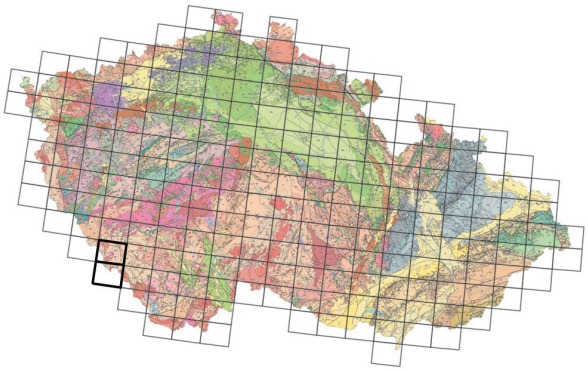
Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1; vladimir.zacek@geology.cz

Please cite this article as: Žáček, V. (2018): Radioactivity and zoning in granite plutons of Weinsberg type: indicator of differentiation of the Vydra and Prášily plutons (Moldanubian Batholith, Czech Republic). – Geoscience Research Reports, 51, 1, 35–41. (in Czech)

Key words: Moldanubian Batholith, radioactivity, monzonite, leucogranite, restite, Th-rich, magnetic susceptibility

Summary: This paper provides results of a detailed geological mapping at a scale of 1 : 25,000, and field measurements of natural radioactivity and magnetic susceptibility carried out at 216 sites in the Vydra and Prášily plutons – the Weinsberg-type plutons of the western branch of Moldanubian Batholith (Klomínský et al. 2010, René 2016, see Fig. 1). The Vydra Pluton, ~ 25 × 5–7 km in size (including Bavarian part), is elongated in NE-SW and in the south in E–W directions, and covers an area of approximately 70–80 km^2. The Prášily Pluton has a roughly triangular shape ~ 15 × 13 × 8 km, and covers an area of approx. 60 km^2. The surface of the plutons exhibits roughly triangular but irregular to lobate shape representing apical parts of a large body as indicated by extensive negative gravimetric anomaly and coherent surface lithology. The country rock is represented by biotite-sillimanite migmatite with cordierite. The dominant rock consists of Weinsberg-type biotite granite, while the minor is a biotite-muscovite granite. A small NE-SW trending body of monzonite (~ 1500 long and 800–300 m wide) generates a marked airborne Th anomaly in the Vydra Pluton (Dědáček et al. 1993). The modal composition and mineralogy are shown in Table 1, and the contents of K, U, Th, and the magnetic susceptibility values are summarized in Table 2.

Biotite granite (to granodiorite) occurs in two facies: dominant slightly porphyritic Srní-type (Weinsberg s.l.) and minor significantly porphyritic "Weinsberg s.s." exposed in the southern part of the Vydra Pluton. The rocks contain approximately 30–40 vol. % of potassium feldspar, slightly lower amounts of plagioclase (An_{21-22}) and quartz, 7–12 vol. % of biotite and up to 2 vol. % of muscovite, with up to 5 vol. % of cordierite appearing rarely. Xenotime, apatite and zircon are abundant accessory minerals; titanite, monazite and ilmenite are scarce. The chemical composition is as follows: SiO_2 (~ 69 wt.%), Na_2O (~ 3.0 wt.%), K_2O (~ 5 wt.%), CaO (~ 2 wt.%), FeO (~ 2 wt.%) and MgO (~ 0.8 wt.%). The rock has elevated BaO (0.2 wt.%), REE ~ 400 ppm, A/CNK = 1.17, La_N/Sm_N = 4.4, Eu/Eu* = 0.5.



(22-33 Kašperské Hory, 32-11 Borová Lada)

Medians derived from the ground gamma-ray spectrometry yielded K = 3.8 %, $_eU$ = 6.5 ppm, $_eTh$ = 21.5 ppm, $_eTh/_eU$ = 3.2, MS = 0.16 × 10^{-3} SI.

Biotite-muscovite granite consists of similar amounts of quartz, potassium feldspar, and plagioclase (An_{5-10}). Muscovite (6–10 vol. %) mostly prevails over biotite (2–7 vol. %). Apatite and zircon are abundant accessory minerals; ilmenite, monazite and allanite are rare. Cordierite, garnet and sillimanite may also occur in small quantities. The concentrations of major oxides and elements are as follows: SiO_2 (~ 74 wt.%), Na_2O (~ 3.0 wt.%), K_2O (~ 5 wt.%), CaO (~ 0.7 wt.%), FeO (~ 0.8 wt.%) and MgO (~ 0.3 wt.%). The rock contains elevated Sn (5–13 ppm), REE 82–122 ppm; A/CNK = 1.22–1.33, La_N/Sm_N = 2.6–3.3, Eu/Eu* = 0.3. Medians of the ground gamma-ray spectrometry measurements are: K = 4.0 %, $_eU$ = 7.6 ppm, $_eTh$ = 10.6 ppm, $_eTh/_eU$ = 1.2; MS = 0.06 × 10^{-3} SI.

Biotite monzonite to quartz monzonite is a heterogeneous rock composed of dominant intermediate plagioclase (An_{35-47}), minor quartz and K-feldspar, ~ 10–20 vol.% of biotite, approximately 1 vol. % of muscovite and ilmenite, locally garnet up to 1 vol. %, and abundant accessory monazite and zircon, apatite and rare Ce-epidote. Monzonite is slightly peraluminous (A/CNK = 1.1), it contains: SiO_2 (~ 60 wt.%), Na_2O (~ 3.0 wt.%), K_2O (~ 4.5 wt.%), CaO (~ 3.5 wt.%), FeO (~ 5 wt.%), MgO (~ 1.5 wt.%), and extremely high BaO (0.5–0.8 wt.%), Sr (394–556 ppm), Zr (549–642 ppm), Y (60–106 ppm), REE (934–1097 ppm) and HREE (La_N/Yb_N = 10–18); La_N/Sm_N = 5–7, Eu/Eu* = 0.5–0.6. Medians derived from ground gamma-ray spectrometry measurements yielded: K = 3.7 %, $_eU$ =7.4 ppm, $_eTh$ = 49.7 ppm, $_eTh/_eU$ = 5.8; MS = 0.24 × 10^{-3} SI.

Leucogranites form a significant "Kvilda dyke swarm" to the east of the Vydra Pluton, described by Žáček and Sulovský (2005), along with dykes scattered throughout the area surveyed

DOI 10.3140/zpravy.geol.2018.23

(Fig. 1). The dykes of leucogranite are ~ 20 cm to ~ 5 meters wide, mostly NW–SE trending and discordant to regional foliation of the country rocks. The leucogranite is medium-grained, composed of quartz + albite (An_{0-1}) + potassium feldspar (P-rich) + muscovite ± tourmaline ± biotite, accessory apatite, U-Y-P-rich zircon and very rare ferrocolumbite (Žáček and Škoda 2018). Leucogranite is peraluminous (A/CNK = 1.20), rich in SiO_2 (~73 wt.%), Na_2O (~ 4.5 wt.%), K_2O (~ 4 wt.%) and B_2O_3 (tourmaline content); with elevated Sn, As, Nb, and Rb (up to 521 ppm), and very low Ti, Mg, Ba, Sr, Th and REE (7–40 ppm); La_N/Sm_N = 1.4–2.0, La_N/Yb_N = 1.0–3.8, Eu/Eu* = 0.77–0.87. The ground gamma-ray spectrometry measurements yielded (medians): K = 3.16 %, $_eU$ = 5.2 ppm, $_eTh$ = 2.5 ppm, $_eTh/_eU$ = 0.4; MS = 0.03 × 10^{-3} SI.

The following contents of K, $_eU$, $_eTh$ were determined by ground gamma-ray spectrometry survey of **all the types of granitoids in both plutons**: K = 2.2–5.4. %, $_eU$ = 3.5–15 ppm, $_eTh$ = 0.8–68 ppm (comp. Figs. 2, 3a–d). Magnetic susceptibility across all types is low (0.01–0.50 × 10^{-3} SI), and generally increases with the basicity and content of biotite in the rocks (Fig. 3d). Large differences between the studied rocks are found in the $_eTh$ and the $_eTh/_eU$ values. The measured values of K and $_eU$ (Table 2, Fig. 2) do not show a distinct zoning being distributed evenly through the lithology. The distribution of thorium corresponds to the varied petrography, while the zoning in thorium contents confirms the continuity of the Vydra and Prášily plutons in depth (Figs 1, 2). The thorium contents also show a general decrease towards N (NE) edges of the plutons, without sharp boundary between the mapped biotite and biotite-muscovite granites. This indicates the possibility of a gradual lithological transition between these rocks. The biotite monzonite in the Vydra Pluton causes sharply bounded thorium maxima (30–68 ppm $_eTh$), indicating sharp contacts.

The following scenario is proposed: The plutons display continuous zoning (decrease towards N) in $_eTh$. The main intrusion of the Vydra and Prášily plutons formed by biotite granites to granodiorites relatively rich thorium (also Zr and REE), which, like other plutons of the Weinsberg type crystallized as a product of melting of the metasedimentary material (René 2016). The biotite-muscovite granite (poor in Th, REE, enriched with Sn) is interpreted as the product of continued fractionation of biotite granite. Fractionation of the remaining melt of muscovite-biotite granite gave rise to a small amount of more fractionated melt, extremely poor in Th, Ba and REE, and rich in B, Rb, Sn, which crystallized as leucogranite dykes in the vicinity of the Vydra Pluton as the Kvilda Dyke Swarm (Žáček and Sulovský 2005). The newly described biotite monzonite is characterized by high content of $_eTh$ at simultaneously high concentrations of CaO, FeO, and relatively low K_2O and MgO. The rock is also characterized by extremely high contents of Ba, Zr, Sr, Y, REE and HREE. The geochemical and petrographic characteristics indicate that monzonite can represent a restite of fractionated biotite-muscovite granite and leucogranite.

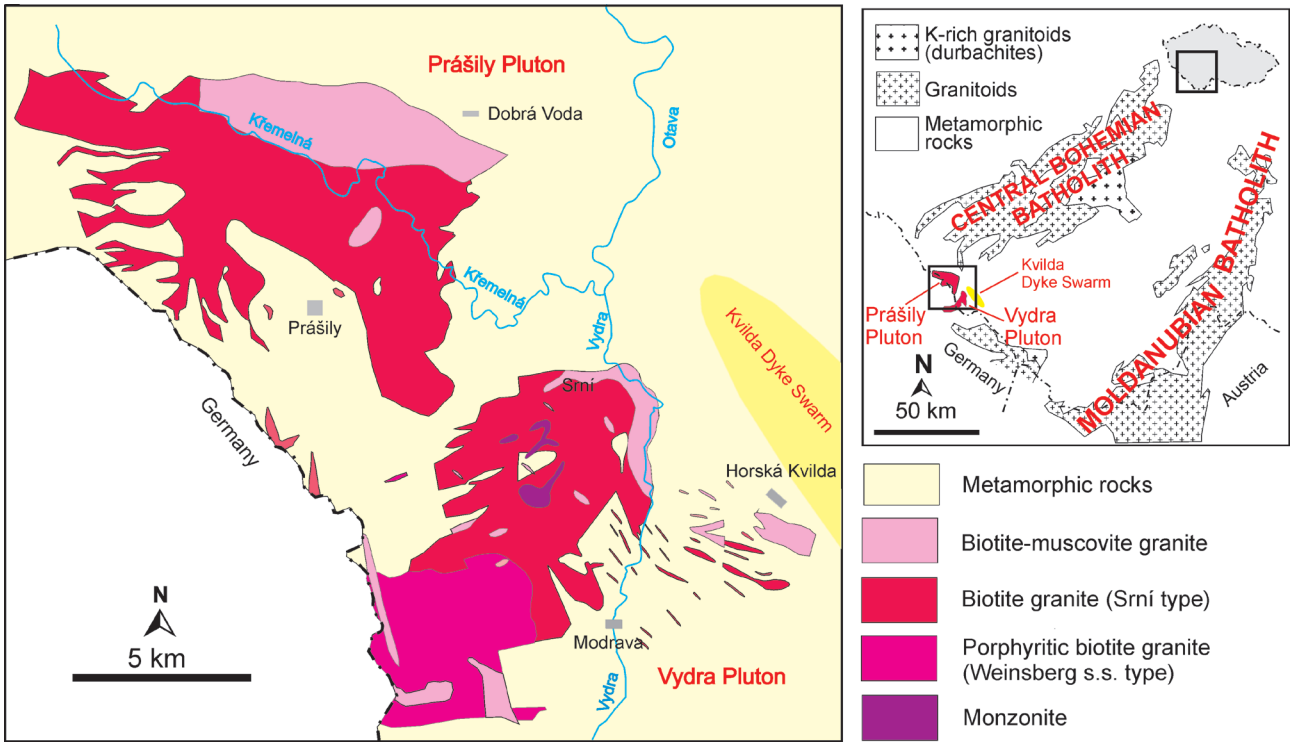
Oblast náleží regionálnímu celku moldanubika, které patří k nejvýše metamorfovaným celkům variského orogenního pásma. V širší studované oblasti dominují horniny jednotvárné skupiny moldanubika, zejména migmatity, vytvářející plášť řady granitových dílčích plutonů. Krystalizační stáří dominantních granitů moldanubického plutonu se většinou pohybují mezi 331–323 Ma (Gerdes et al. 2003) a podobné stáří mají s velkou pravděpodobností také plutony vyderský a prášilský. Oba plutony představují apikální části západní větve moldanubického plutonu; na českém území pak jde o nejsevernější výběžky tohoto plutonu (Klomínský et al. 2010). Povrchový tvar masivů (plutonů) je značně nepravidelný až laločnatý a na povrchu nejsou spojeny (obr. 1); jsou však součástí skrytého souvislého tělesa, jak indikuje rozsáhlá záporná gravimetrická anomálie i návaznost litologií (Žáček – Sulovský 2005). Plášť obou plutonů tvoří hlavně sillimanit-biotitický migmatit stromatitového typu, někdy s cordieritem. Převažující část plutonů je tvořena hlavně biotitickými granity až granodiority řazenými k typu Weinsberg (René 2016). Na s. a sv. okraji obou plutonů je v šířce 1–2 km středně zrnitý dvojslídný granit, označovaný někdy jako eisgarnský typ (Klomínský et al. 2010). Asi 3 km v. od okraje vyderského plutonu vystupuje v metamorfitech velké množství drobných žil a tělísek leukokratního granitu s turmalínem, koncentrovaných v pásmu o délce nejméně 12 km a šířce až 3 km do nápadného žilného roje, který jako „kvildský roj“ popsali Žáček a Sulovský (2005).

Základ této práce vznikl během projektu geologického mapování 1 : 25 000 při terénním ověřování leteckých radiometrických a magnetických anomálií a měření hodnot přirozené radioaktivity a magnetické susceptibility horninových typů na území jednotlivých mapových listů (Žáček – Babůrek 2007). V následujících letech (viz metodika) byla zahuštěna měření v rámci plutonů s cílem zdokumentovat zonálnost těchto těles. V této práci jsou pak vedle výsledků pozemního měření K, $_eU$, $_eTh$ a měření magnetické susceptibility shrnuty rovněž petrografické, mineralogické a geochemické charakteristiky jednotlivých horninových typů; u monzonitu jde o dosud nepublikovaná data.

Metodika

Kontury těles plutonů jsou podle listů geologické mapy 1 : 25 000, vydávaných Českou geologickou službou: 21-442 Železná Ruda, 33-332 Hartmanice, 22-333 Srní, 22-334 Kvilda a 32-111 Březník (Babůrek et al. 2002–2008, Žáček et al. 2005). Kontury části těles byly upraveny podle poznatků získaných při následném terénním měření radioaktivity v letech 2005–2011. Obsah přirozených radioaktivních prvků byl měřen příručním gamaspektrometrem GRM-260 se scintilačním detektorem 3×3” z jodidu sodného aktivovaného thaliem NaI (Tl), doba načítání 180 s. Měření magnetické susceptibility (dále v textu MS) příručním kapametrem KT-5 byla provedena na 216 bodech na plochých blocích hornin o minimální velikosti 0,5 × 0,5 × 0,4 m nebo na výchozech.

Korekce na nerovný povrch u měření magnetické susceptibility nebyla provedena. Geochemické analýzy jsou z prací Žáček a Sulovský (2005), Žáček a Škoda (2018) a Babůrek et al. (2006).



Obr. 1. Přehledná geologická mapa prášilského a vyderského plutonu (podle geologické mapy 1 : 25 000 České geologické služby, citace v textu).
Fig. 1. Simplified geological map of the Vydra and Prášily plutons (after 1 : 25,000 geological map of the Czech Geological Survey, for references see the text).

Petrografie, geochemie a výsledky měření

Vyderský pluton je přibližně oválné těleso o délce asi 25 km a šířce 5–7 km, protažené ve směru SV-JZ, které se na jihu, kde přechází do Bavorska, obloukovitě stáčí do směru V-Z a jeho celková plocha je asi 70–80 km^2. Oblast hojných žil a tělísek granitu jižně od Horské Kvildy představuje apikální část mělce uložené části tohoto plutonu. Prášilský pluton je těleso zhruba trojúhelníkového tvaru o velikosti asi 15 × 13 × 8 km a ploše asi 60 km^2, na západě silně rozmrštěné (obr. 1). Prášilský pluton tvoří z ~ 80 % biotitický granit typu Srní, při jeho s. okraji vystupuje v šířce kolem 2 km pásmo dvojslídného granitu. Vyderský pluton je složitý, v jeho centrální části dominuje biotitický granit typu Srní, při s. a sv. okraji v úzkém lemu do asi 1 km dvojslídný granit, který tvoří i řadu menších těles a žil v centrální a jižní části plutonu. V jižní části plutonu a na bavorském území dominuje výrazně porfyrický biotitický granit typu Weinsberg. V granitu typu Srní také vystupuje několik těles exotického biotitického monzonitu bohatého thoriem; největší těleso, dlouhé asi 1500 m a široké 800–300 m, je příčinou nejvýraznější thoriové anomálie v oblasti (Dědáček et al. 1993). Modální složení a mineralogie všech granitoidů přehledně uvádí tab. 1, obsahy K, U, Th a hodnoty magnetické susceptibility pak tab. 2.

Hlavním litotypem obou plutonů je středně zrnitý, slabě porfyrický **biotitický granit až granodiorit typu Srní (Weinsberg s.l.)** s vyrostlicemi živců obvykle do 2 cm. V jižní části vyderského plutonu vystupuje izometrické těleso výrazně **porfyrické facie biotitického granitu až granodioritu (Weinsberg s.s.)** s vyrostlicemi živců velkými 4–6 cm. Mineralogicky ani radioaktivitou se tyto horniny výrazněji neliší a obsahují křemen (~ 35 %), plagioklas ($An_{21–22}$), 30–40 % K-živce, 7–12 % biotitu, do 2 % muskovitu, ojediněle až několik procent cordieritu, hojný akcesorický apatit a zirkon, dále ilmenit, monazit, xenotim a titanit. Koncentrace oxidů jsou: SiO_2 (~ 69 hmot. %), Na_2O (~ 3,0 hmot. %), K_2O (~ 5), CaO (~ 2 hmot. %), FeO (~ 2 hmot. %) a MgO (~ 0,8 hmot. %). Vyznačuje se zvýšenými obsahy BaO (0,2 hmot. %), podíl REE je ~ 400 ppm, A/CNK = 1,17, La_N/Sm_N = 4,4, Eu/Eu* = 0,5. Obsahy radioaktivních prvků obou facií (medián) jsou: K = 3,8 hmot. %, $_eU$ = 6,5 ppm, $_eTh$ = 21,5 ppm, $_eTh/_eU$ = 3,2, MS = 0,16 × 10^{-3} SI.

Drobně až středně zrnitý dvojslídný granit se skládá z 25–30 % K-živce (0,2–0,5 hmot. % P_2O_5), plagioklas je albit ($An_{5–10}$), také bohatý P_2O_5 (0,2–1,0 hmot. %), přistupuje křemen, kolísavé podíly biotitu (2–7 %) a muskovitu (6–10 %), místy až několik procent granátu a cordieritu, někdy i sillimanit; dále hojný akcesorický apatit, méně časté jsou ilmenit, zirkon, monazit a allanit. Granit obsahuje: SiO_2 (~ 74 hmot. %), Na_2O (~ 3,0 hmot. %), K_2O (~ 5 hmot. %), CaO (~ 0,7 hmot. %), FeO (~ 0,8 hmot. %) a MgO (~ 0,3 hmot. %). Vyznačuje se zvýšenými obsahy Sn (5–13 ppm), podíl REE je 82–122 ppm, A/CNK = 1,22–1,33, La_N/Sm_N = 2,6–3,3, Eu/Eu* = 0.3. Mediány hodnot radioaktivních prvků jsou: K = 4.0 hmot. %, $_eU$ = 7.6 ppm, $_eTh$ = 10.6 ppm, $_eTh/_eU$ = 1,2; MS = 0,06 × 10^{-3} SI.

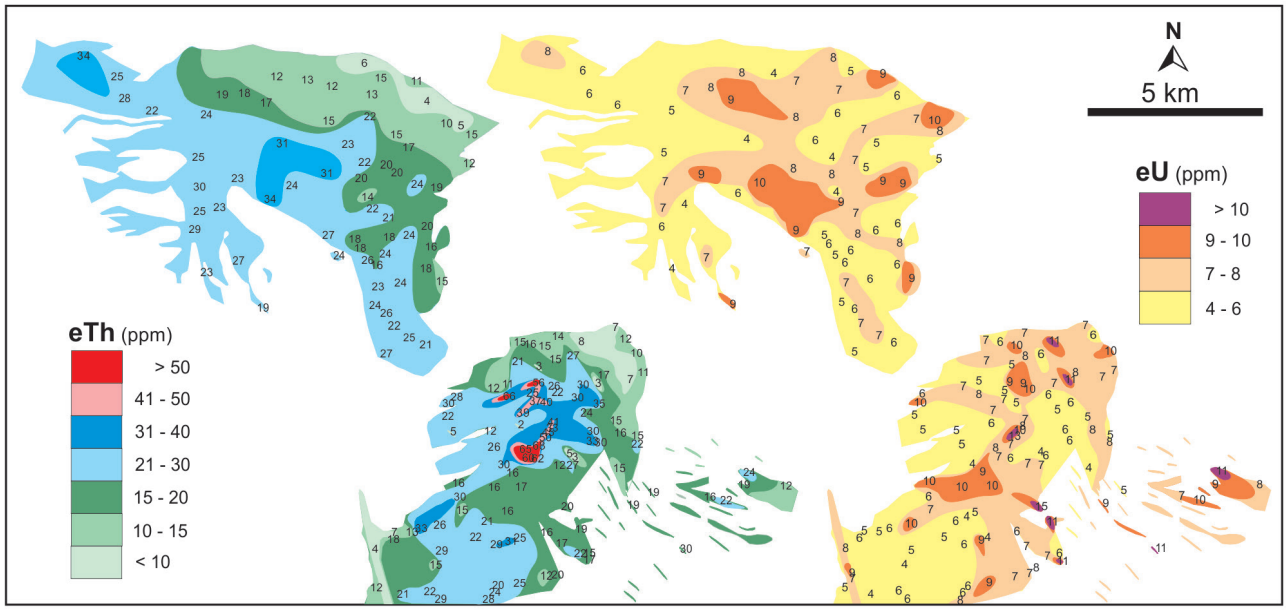
Tabulka 1. Modální složení (%) a mineralogie granitoidů vyderského a prášilského plutonu
Table 1. Modal composition (%) and mineralogy of the granitic rocks of the Vydra and Prášily plutons

	monzonite	Bt granite	Bt-Ms granite	leucogranite
quartz	15–20	25–30	33–35	34–38
plagioclase	40–45	25–35	25–28	26–30
K-feldspar	15–20	30–40	25–30	20–26
biotite	14–19	7–12	2–7	0–4
muscovite	0–1	1–2	6–10	2–10
garnet	0–X		0–0.X	
cordierite		0–X	0–X	
tourmaline				0–5
apatite	***	**	**	**
ilmenite	*	*	*	
zircon	***	**	*	*
monazite	**	*	*	*
titanite		*		
xenotime		*		
sillimanite			*	
ferrocolumbite				*
allanite, Ce-epidote	*		*	
Plg – mol.% An	35–47	21–22	5–10	0–1
Plg – P_2O_5 (wt.%)	0.00	0.07–0.12	0.22–1.00	0.00–0.41
Kf – BaO (wt.%)	3.2–6.2	0.37–0.57	0.0–0.10	0.0
Kf – P_2O_5 (wt.%)	0.00	0.03–0.09	0.20–0.50	0.65–0.95
Bt – Mg/(Mg + Fe)	0.29–0.31	0.31–0.32	0.22–0.33	
Bt – Ti (apfu)	0.18–0.20	0.17–0.18	0.06–0.18	

Tabulka 2. Obsahy přirozených radioaktivních prvků a hodnoty magnetické susceptibility v granitoidech vyderského a prášilského plutonu
Table 2. Contents of natural radioactive elements and values of magnetic susceptibility in granitoids of the Vydra and Prášily plutons

Rock-type	monzonite	Bt granite		Bt-Ms granite		leucogranite
Pluton	Vydra	Vydra	Prášily	Vydra	Prášily	related to Vydra
N° measurements	19	87	60	19	10	21
median / average						
K (wt.%)	**3.7** / 3.5	**3.8** / 3.8	**3.8** / 3.8	**4.0** / 3.9	**3.6** / 3.8	**3.1** / 3.2
$_eU$ (ppm)	**7.4** / 8.1	**6.6** / 6.9	**6.5** / 6.7	**7.9** / 7.7	**7.6** / 7.9	**5.2** / 6.0
$_eTh$ (ppm)	**49.7** / 49.8	**20.6** / 21.1	**22.1** / 21.3	**11.5** / 10.0	**7.0** / 7.8	**2.5** / 2.6
$_eTh/_eU$	**5.8** / 6.2	**3.1** / 3.4	**3.4** / 3.4	**1.4** / 1.3	**1.0** / 1.1	**0.4** / 0.4
MS (10^{-3} SI)	**0.24** / 0.24	**0.17** / 0.14	**0.14** / 0.14	**0.06** / 0.06	**0.07** / 0.07	**0.03** / 0.04
ranges						
K (wt.%)	2.5–4.9	2.2–5.2	2.8–5.4	2.3–4.7	2.3–5.7	2.6–4.6
$_eU$ (ppm)	5–14	3–15	3.5–11	4–12	9–12	4–12
$_eTh$ (ppm)	30–68	7–37	10–34	2–16	2–15	0.8–6.5
MS (10^{-3} SI)	0.14–0.50	0.03–0.49	0.04–0.32	0.01–0.11	0.01–0.22	0.01–0.08

Jižně od Srní vystupuje hrubě zrnitý neporfyrický biotitický **monzonit až křemenný monzonit**, který tvoří i menší separátní tělíska a nebyl dosud podrobněji charakterizován (srov. Babůrek et al. 2006). Nejlépe je odkryt ve výchozech podél vchynicko-tetovského plavebního kanálu od Hakešického mostu dál asi 1,5 km na S. Je to dost nehomogenní hornina tvořící tmavší a světlejší domény bohatší a chudší biotitem. Monzonit je příčinou nejvýraznější (letecké) thoriové anomálie v širším regionu. Převládající plagioklas (40–45) % je bazický oligoklas až andezin ($An_{35–47}$), dále přistupuje křemen (15–20 %), K-živec (15–20 %), kolem 15–20 % biotitu, sporadický muskovit a často i granát. Velmi hojnými akcesoriemi jsou zirkon a monazit, většinou vrostlé v biotitu, dále přistupuje hojný apatit a méně často ilmenit a Ce-epidot. Nositelem thoria je hlavně monazit, nositelem uranu monazit a zirkon. Monzonit je slabě peraluminická hornina (A/CNK = 1,1) s koncentracemi SiO_2 (~ 60 hmot. %), Na_2O (~ 3,0 hmot. %), K_2O (~ 4,5 hmot. %), bohatá CaO (~ 3,5 hmot. %), FeO (~ 5 hmot. %), méně MgO (~ 1,5 hmot. %). Vyznačuje se



Obr. 2. Distribuce uranu $_eU$ a thoria $_eTh$ (ppm) v granitoidních horninách vyderského a prášilského plutonu podle pozemního gamaspektrometrického měření s vyznačením naměřených hodnot.
Fig. 2. Distribution of uranium $_eU$ and thorium $_eTh$ (ppm) in granitoids of the Vydra and Prášily plutons showing the measured values.

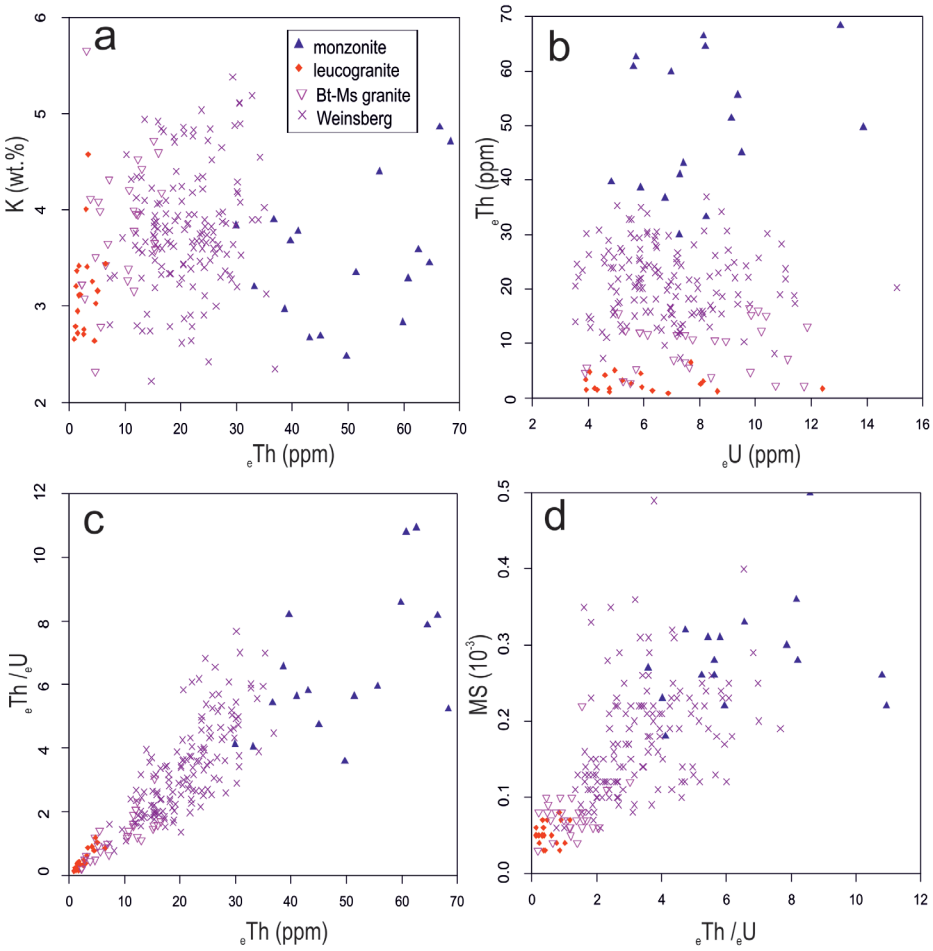
extrémně vysokými obsahy BaO (0,5–0,8 hmot. %), Sr (394–556 ppm), Zr (549–642 ppm), Y (60–106 ppm), REE (934–1097 ppm) a thoria; La_N/Sm_N = 5–7, Eu/Eu* = 0,5–0,6, La_N/Yb_N = 10–18. Mediány obsahů radioaktivních prvků jsou: K = 3,7 hmot. %, $_eU$ =7,4 ppm, $_eTh$ = 49,7 ppm, $_eTh/_eU$ = 5,8; MS = 0,24 × 10^{-3} SI. Kolísání obsahů $_eTh$ a hodnot magnetické susceptibility koresponduje s obsahem biotitu; tmavší horniny mají vyšší MS i $_eTh$.

Kromě hlavních granitoidních typů vystupuje zejména při v. okraji vyderského plutonu pásmo žil **leukogranitu s turmalínem**, které popsali Žáček a Sulovský (2005) jako kvildský žilný roj. Leukogranit se skládá z kolísavých podílů živců (K-živce a albitu An_{0-1}, bohatých na P), křemene, 2–10 % muskovitu, do 4 % biotitu, do 5 % turmalínu a do 1 % apatitu. Akcesoricky se vyskytují zirkon, monazit a ferrocolumbit (Žáček a Škoda 2018). Podle Žáčka a Sulovského (2005) je leukogranit peraluminický (A/CNK = 1,20), bohatý na SiO_2 (~ 73 hmot. %), Na_2O (~ 4,5 hmot. %), K_2O (~ 4 hmot. %) a také B_2O_3 (obsah turmalínu); dále obsahuje zvýšené Sn, As, Nb, Rb (až 521 ppm) a REE, naopak extrémně nízké jsou obsahy Ti, Mg a Th; La_N/Sm_N = 1,4–2,0, La_N/Yb_N = 1,0–3,8, Eu/Eu* = 0,77–0,87. Oproti ostatním granitoidům je silně ochuzený o V, Cr, Ni, Sr, Ba, Y, Th, LREE; total REE = 7–40 ppm. Mediány obsahů radioaktivních prvků jsou: K = 3,2 hmot. %, $_eU$ = 5,2 ppm, $_eTh$ = 2,5 ppm, $_eTh/_eU$ = 0,4; MS = 0,03 × 10^{-3} SI.

Diskuse

Podrobný geologický výzkum doprovázený pozemním měřením gamaspektrometrie a magnetické susceptibility umožnil plošné zpracování naměřených hodnot do izolinií (obr. 2), které respektují hranice kontrastních horninových typů granitů a hranice vůči okolním metamorfitům. Získaná data pozemní gamaspektrometrie a magnetické susceptibility přispěla k interpretacím geologického a geochemického vývoje plutonů (viz také např. Breiter et al. 1998).

V rámci všech granitoidních typů obou plutonů byly zjištěny následující hodnoty: K = 2,2–5,4 hmot. %, $_eU$ = 3,5–15 ppm, $_eTh$ = 0,8–68 ppm, magnetická susceptibilita napříč všemi typy je nízká, kolísá v rozmezí 0,01–0,50 × 10^{-3} a indikuje nepřítomnost magnetitu (na mikrosondě byl zjištěn ilmenit) ve všech granitoidních horninách. Rozsahy a průměrné obsahy (mediány) K, $_eU$, $_eTh$ a hodnoty $_eTh/_eU$ a magnetické susceptibility pro jednotlivé plutony a horninové typy potvrzují kontinuitu pásů hlavních horninových typů v obou tělesech (tab. 2). Mezi jednotlivými horninovými typy jsou rozdíly zejména v obsazích thoria, které také potvrzují propojení obou těles v hloubce (obr. 2). Naproti tomu obsahy draslíku a uranu nekorelují s obsahy thoria, nevykazují zřetelnou zonálnost a jdou napříč litologiemi (tab. 2, obr. 2, 3a–d). Obsahy thoria vykazují generální pokles od JZ k SV bez ostré hranice mezi biotitickým granitem a muskovit-biotitickým granitem a svědčí pro pozvolný litologický přechod mezi těmito granity při s. a sv. okraji obou plutonů. Obsahy thoria a hodnoty $_eTh/_eU$ korelují s hodnotami magnetické susceptibility, která zhruba koresponduje s podílem biotitu a celkovou bazicitou (obr. 3d). Hodnoty $_eTh$ a $_eTh/_eU$ a magnetické susceptibility jsou nejvyšší u monzonitu a plynule klesají přes biotitické granity a biotit-muskovitický granit k leukogranitu, který vykazuje extrémně nízké obsahy thoria. Výrazná letecká thoriová anomálie jz. od Srní (Dědáček et al. 1993) je způsobena jedním větším a několika menšími tělesy biotitického monzonitu. Ten tvoří ve vyderském



Obr. 3. Diagramy obsahů K, $_eU$, $_eTh$ a hodnot magnetické susceptibility pro granitoidy vyderského a prášilského plutonu. a – $_eTh$ vs. K, b – $_eU$ vs. $_eTh$, c – $_eTh$ vs. $_eTh/_eU$, d – $_eTh/_eU$ vs. magnetická susceptibilita (MS).

Fig. 3. Diagrams showing the contents of K, $_eU$, and $_eTh$ and values of magnetic susceptibility for the granitic rocks of the Vydra and Prášily plutons. a – $_eTh$ vs. K, b – $_eU$ vs. $_eTh$, c – $_eTh$ vs. $_eTh/_eU$, d – $_eTh/_eU$ vs. magnetic susceptibility (MS).

plutonu ostře ohraničená thoriová maxima (30–68 ppm Th), svědčící pro ostré kontakty těchto těles vůči okolnímu biotitickému granitu.

Závěr

Granitoidní horniny vyderského a prášilského plutonu vykazují nevýraznou zonálnost v obsazích draslíku a uranu a výraznou zonálnost v obsazích thoria. Na základě výsledků byl navržen následující scénář. Hlavní intruzi vyderského a prášilského plutonu tvoří biotitické granity až granodiority weinsberského typu poměrně bohaté thoriem (také Zr a REE), které stejně jako ostatní weinsberské plutony vznikly zřejmě tavením metasedimentárního materiálu (René 2016). Biotit-muskovitický granit (chudý na Th, REE, obohacený Sn) je pravděpodobně produktem frakcionace biotitického granitu weinsberského typu. Frakcionace zbytku taveniny muskovit-biotitického granitu dala vzniknout malému množství silněji frakcionované taveniny, extrémně chudé na Th, Ba a REE a bohaté na B, Rb a Sn, která krystalizovala jako žíly leukogranitu (Žáček – Sulovský 2005). Nově popsaný biotitický monzonit se vyznačuje vysokými obsahy Ba a Th při vysokých koncentracích CaO, FeO a poměrně nízkých koncentracích K_2O a MgO. Monzonit je v rámci moldanubického plutonu ojedinělá hornina (viz horninové typy moldanubického plutonu a jejich geochemické charakteristiky in René 2016) a vyskytuje se pouze ve vyderském plutonu. Jeho geochemické a petrografické charakteristiky naznačují, že by mohlo jít o restit frakcionovaného biotit-muskovitického granitu a leukogranitu.

Poděkování. Práce byla vytvořena v rámci výzkumného záměru České geologické služby a projektu č. 321 183. Autor děkuje Martě Chlupáčové a Karlovi Breiterovi za recenze a cenné komentáře. Kontrolu pravopisu anglického resumé provedli Craig Hampson a Jaroslav Hak.

Literatura

Babůrek, J. – Adamová, M. – Břízová, E. – Hrazdíra, P. – Krupička, J. – Lysenko, V. – Nývlt, D. – Petáková, Z. – Skácelová, D. – Verner, K. – Žák, J. – Bufková, I. – Manová, M. – Mentlík, P. (2005): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 22-442 Železná Ruda, s textovými vysvětlivkami. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Babůrek, J. – Adamová, M. – Břízová, E. – Hrazdíra, P. – Krupička, J. – Lysenko, V. – Šrámek, J. – Havlíček, P. – Pertoldová, J. – Petáková, Z. – Dudíková Schulmannová, B. – Sidorinová, T. – Skácelová, D. – Táborský, Z. – Verner, K. – Žáček, V. – Žák, J. – Bufková, I. (2008): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 32-111 Březník, s textovými vysvětlivkami. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Babůrek, J. – Břízová, E. – Havlíček, P. – Hrazdíra, P. – Krupička, J. – Mentlík, P. – Petáková, Z. – Skácelová, D. – Šrámek, J. – Žáček, V. – Verner, K. – Lysenko, V. – Žák, J. (2006): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 22-333 Srní, s textovými vysvětlivkami. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Babůrek, J. – Hanžl, P. – Holásek, O. – Kadlecová, R. – Lhotský, P – Manová, M. – Nekovařík, Č. – Šalanský, K. – Mrnková, J. – Šebesta, J. – Žáček, V. – Lochmann, Z. (2002): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 22-331 Hartmanice, s textovými vysvětlivkami. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Breiter, K. – Gnojek, I. – Chlupáčová, M. (1998): Radioactivity patterns – constraints for the magmatic evolution of the two mica granites in the Central Moldanubian Pluton. – Věst. Čes. geol. Úst, 73, 301–311.

Dědáček, K. – Janák, F. – Manová, M. – Pokorný, L. (1993): Geologický model z. části Českého masívu ve vazbě na vrt KTB-1 v SRN, letecká geofyzika. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Gerdes, A. – Friedl, G. – Parrish, R. R. – Finger, F. (2003): High-resolution geochronology in Variscan granite emplacement – the South-Bohemian Batholith. – J. Czech. Geol. Soc. 48, 53–54.

Klomínský, J. – Jarchovský, T. – Rajpoot, G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. – Čes. geol. služba. Praha.

René, M. (2016): Source compositions and melting temperatures of the main granitic suites from the Moldanubian Batholith. – J. Geosci. 61, 355–370.

Žáček, V. – Sulovský, P. (2005): The dyke swarm of fractionated tourmaline-bearing leucogranite and its link to the Vydra Pluton (Moldanubian Batholith), Šumava Mts. – Czech Republic. – J. Czech Geol. Soc. 50, 3–4, 107–118.

Žáček, V. – Babůrek, J. (2007): Radioaktivita a facie vyderského a prášilského granitového plutonu na Šumavě. In Breiter, K., ed: Sborník abstrakt a exkurzní průvodce, 3. sjezd České geologické společnosti, Volary 19.–22. září 2007, s. 89–90. – Čes. geol. společ. Praha.

Žáček, V. – Břízová, E. – Lhotský, P. – Krupička, J. – Lysenko, V. – Mrnková, J. – Nováková, D. – Skácelová, D. – Šebesta, J. – Šrámek, J. – Verner, K. – Žák, J. (2005): Základní geologická mapa České republiky 1 : 25 000, list 22-334 Kvilda, s textovými vysvětlivkami. – MS Čes. geol. služba. Praha.

Žáček, V. – Škoda, R. (2018): Ferrocolumbite from fractionated P-rich tourmaline-bearing leucogranite linked to Vydra Pluton (Moldanubian Batholith, Šumava Mts. Czech Republic). – Zpr. geol. Výzk., 51. (in Czech)