

STUDIUM RADIOAKTIVITY KRYSTALINICKÝCH HORNIN A PALEOZOICKÝCH SEDIMENTŮ NA MAPOVÉM LISTU 14-44 ŠTERNBERK

Investigation of radioactivity of crystalline rocks and palaeozoic sediments within the map sheet 14-44 Šternberk

Jiří Zimák

Katedra geologie PřF UP, tř. 17. listopadu 12, 771 46 Olomouc; e-mail: jiri.zimak@upol.cz

(14-44 Šternberk)

Key words: Desná Group, Úsov Formation, Stínava-Chabičov Formation, Ponikev Formation, Moravský Beroun Formation, Andělská Hora Formation, Horní Benešov Formation, gamma-spectrometry

Abstract

The paper deals with natural radioactivity of metamorphic and igneous rocks and Palaeozoic sediments on the map sheet 14-44 Šternberk. Studied rocks belong to the following geological units: the Desná Group (mainly metagranitoids, blastomylonites, phyllonites), the Úsov Fm. (acid to intermediate and basic metavolcanites and metatuffs), the Stínava-Chabičov Fm. (a volcano-sedimentary complex with a significant proportion of both products of basic volcanism and "keratophyre rocks"), the Ponikev Fm. (carbonate rocks are dominant), the Moravský Beroun Fm. (mainly sandstones or quartzites), the Andělská Hora Fm. and the Horní Benešov Fm. (the last two formations are composed of flysch sediments). Contents of potassium, uranium and thorium were measured using a laboratory gamma-ray spectrometer in 1083 rock samples. Data are tabled and discussed. From calculated values of mass activity of ^{226}Ra equivalent it is evident that natural radioactivity of the studied rocks is predominantly low. Slightly increased mass activity values were found in granitoids called "Libina granite" (234 Bq.kg^{-1} on average) and in "keratophyres" in the Stínava-Chabičov Fm. (239 Bq.kg^{-1} on average, 694 Bq.kg^{-1} in the sample with the highest natural radioactivity).

Úvod

Radioaktivita je jedním ze základních fyzikálních parametrů přírodního prostředí. Tento článek hodnotí přirozenou radioaktivitu metamorfít, magmatitů a paleozoických sedimentů na mapovém listu 14-44 Šternberk. Vychází z obsahů hlavních přirozených radioaktivních prvků (K, U a Th) stanovených laboratorní gamaspektrometrií v horninových vzorcích ze všech prekambriických a paleozoických jednotek a jejich částí vystupujících na uvedeném mapovém listu. Jeho severozápadní část je budována horninami desenské skupiny (metagranitoidy, blastomylonity, fylonity, ojediněle zelené břidlice) a úsovského souvrství (světlé a těž bazické metavulkanity a metatufy), plošně málo významné jsou zde tzv. „libinské granity“. Předkenozoické horniny vystupující na zbývající ploše mapového listu náleží k devonským a spodnokarbonským souvrstvím: stínavsko-chabičovskému (vulkanosedimentární komplex s významným zastoupením jak produktů bazického vulkanismu, tak i „keratofyrových hornin“), ponikevskému (převážně karbonátové horniny), moravskoberounskému (hlavně pískovce, případně kvarcity), andělskohorskému a hornobenešovskému (poslední dvě souvrství jsou flyšová).

Vzorky a metody

Na listu 14-44 Šternberk bylo na 590 lokalitách odebráno 1083 vzorků reprezentujících všechny horninové typy ve výše zmíněných geologických jednotkách. Determinace hornin byla prováděna jen makroskopicky, což působilo komplikace v případě produktů vulkanismu v úsovském a stínavsko-chabičovském souvrství. Proto se v následujícím textu objevují petrograficky nepřesné ter-

míny jako „světlé metatufy“ a „metakeratofyry“, užívané k označení kyselých nebo intermediálních hornin, přičemž je možné, že některé „světlé metatufy“ nejsou původními pyroklastiky, ale že jde o metamorfně přepracovaná efuziva. Nutno však poznamenat, že ani studium těchto hornin ve výbrusech často nevede k jednoznačnému stanovení povahy protolitu.

V horninových vzorcích byly na PřF UP v Olomouci za použití spektrometru SG – 1000 LAB s NaI(Tl) detektorem o objemu $0,35 \text{ dm}^3$ (průměr 76 mm, délka 76 mm) stanoveny obsahy K (přímo na základě koncentrace ^{40}K), U a Th (na základě dceřiných produktů, a proto jsou jejich obsahy při uvádění výsledků analýz označovány jako eU a eTh). Meze detekce: K = 0,5 hm. %, U a Th = 1,5 ppm. Při výpočtu hodnot a_m a D (viz níže) a při statistickém zpracování dat byly obsahy K pod mezí detekce nahrazeny hodnotou 0,33 hm. %, obdobně v případě U a Th hodnotou 1 ppm. Před měřením byly horninové vzorky rozdrčeny a uzavřeny do krabiček o objemu 250 ml, v nichž byly následně měřeny. Hmotnost takto připravených vzorků se pohybovala kolem 400 gramů.

Přirozená radioaktivita hornin je hodnocena na základě hmotnostní aktivity ekvivalentu ^{226}Ra (a_m) a těž dávkového příkonu záření gama terestrického původu (D). Z výsledků gamaspektrometrických analýz byly tyto parametry vypočteny pomocí vztahů $a_m [\text{Bq.kg}^{-1}] = (0,077 \times 313\text{K}) + 12,35\text{U} + (1,43 \times 4,06\text{Th})$, $D [\text{nGy.h}^{-1}] = (0,043 \times 313\text{K}) + (0,427 \times 12,35\text{U}) + (0,662 \times 4,06\text{Th})$, do nichž je obsah K dosazován v hm. % a obsahy U a Th v ppm (UNSCEAR 1988; Matolín – Chlupáčová 1997; Ngachin et al. 2007).

Tab. 1: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v horninách desenské skupiny, úsovského souvrství a tzv. libinských granitech, vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m); n = počet vzorků, x = průměr.

Tab. 1: Contents of the natural radioactive elements (K, U, Th) in rocks of the Desná Group, the Úsov Formation and so-called Libina granites, calculated mass activity (a_m); n = number of samples, x = average.

geol. jednotka/hornina	n	K (hm. %)				eU (ppm)				eTh (ppm)				a_m (Bq.kg ⁻¹)			
		min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x
<i>desenská skupina</i>																	
metagranitoidy	23	0,6	3,6	1,8	1,9	< 1,5	5,0	< 1,5	1,9	2,7	20,5	7,7	9,3	46	251	109	125
blastomylonity	19	< 0,5	3,0	2,6	2,1	< 1,5	2,4	< 1,5	< 1,5	< 1,5	14,4	7,0	7,0	26	178	116	109
fylonity	40	1,0	4,1	2,2	2,3	< 1,5	3,5	< 1,5	1,6	5,4	10,1	7,6	7,6	73	166	115	118
zelené břidlice	3	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5	2,4	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,5	< 1,5	1,8	26	58	26	37
<i>úsovské souvrství</i>																	
metakeratofyry	16	0,6	7,5	3,2	3,5	< 1,5	2,8	1,7	1,6	6,3	17,0	7,8	9,8	68	234	162	161
světlé metatufy	13	< 0,5	6,4	3,0	3,3	< 1,5	2,9	1,9	1,8	7,1	20,7	8,7	10,3	79	230	157	163
metabazika	12	< 0,5	2,5	< 0,5	0,6	< 1,5	2,2	< 1,5	< 1,5	< 1,5	7,6	< 1,5	1,8	26	78	30	40
<i>libinské granity</i>																	
granitoidy	5	1,0	3,8	2,8	2,6	1,6	3,8	3,0	2,9	13,2	34,8	23,5	23,5	127	321	224	234
metagranitoidy	17	1,4	4,4	3,2	3,0	< 1,5	2,9	1,6	1,6	2,3	28,7	12,7	13,8	59	273	179	173

Tab. 2: Obsahy přirozených radioaktivních prvků (K, U, Th) v horninách stínavsko-chabičovského, ponikevského, moravskoberounského, andělskohorského a hornobenešovského souvrství, vypočtené hodnoty hmotnostní aktivity (a_m); n = počet vzorků, x = průměr.

Tab. 2: Contents of the natural radioactive elements (K, U, Th) in rocks of the Stínava-Chabičov, Ponikev, Moravský Beroun, Andělská Hora and Horní Benešov Formations, calculated mass activity (a_m); n = number of samples, x = average.

geol. jednotka/hornina	n	K (hm. %)				eU (ppm)				eTh (ppm)				a_m (Bq.kg ⁻¹)			
		min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x	min.	max.	med.	x
<i>stínavsko-chabičovské souvrství</i>																	
kvarcity	26	< 0,5	2,8	0,6	0,6	< 1,5	3,3	< 1,5	< 1,5	< 1,5	12,2	< 1,5	2,4	26	143	35	44
metakonglomeráty	18	< 0,5	1,1	< 0,5	< 0,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	2,0	< 1,5	< 1,5	26	50	28	31
fylity	31	0,9	7,1	2,5	2,9	< 1,5	5,5	< 1,5	1,6	< 1,5	14,7	5,2	5,8	40	322	107	123
aleurity a pelity	11	2,7	4,3	3,7	3,5	< 1,5	2,2	< 1,5	< 1,5	5,6	11,9	8,6	8,4	126	178	155	150
metakeratofyry	41	1,4	8,1	3,6	3,7	< 1,5	15,8	3,2	3,7	3,9	77,2	15,6	18,1	104	694	219	239
světlé metatufy	61	0,6	6,6	3,0	3,2	< 1,5	13,3	2,8	3,0	1,6	27,6	12,5	12,1	71	462	176	183
metabazika	159	< 0,5	9,0	1,5	1,9	< 1,5	11,8	< 1,5	< 1,5	< 1,5	13,3	2,3	2,5	26	404	66	78
železné rudy	5	< 0,5	0,8	< 0,5	< 0,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,1	< 1,5	< 1,5	26	50	26	31
<i>ponikevské souvrství</i>																	
silicity	4	< 0,5	0,9	0,6	0,6	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	2,1	< 1,5	< 1,5	26	43	35	35
karbonátové horniny	58	< 0,5	1,6	< 0,5	< 0,5	< 1,5	4,8	< 1,5	< 1,5	< 1,5	7,2	< 1,5	< 1,5	26	92	26	30
vápnité břidlice	12	< 0,5	2,9	1,3	1,5	< 1,5	2,9	< 1,5	< 1,5	< 1,5	9,4	5,7	5,5	26	152	89	84
aleurity a pelity	19	0,8	4,4	2,3	2,4	< 1,5	5,0	1,6	1,9	3,9	16,7	7,5	8,6	54	265	122	132
<i>moravskoberounské souvrství</i>																	
psefity	2	0,6	0,6	0,6	0,6	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	< 1,5	2,3	1,6	1,6	33	40	36	36
psamity	37	< 0,5	0,7	< 0,5	< 0,5	< 1,5	1,9	< 1,5	< 1,5	< 1,5	3,2	1,8	1,6	26	42	31	31
<i>andělskohorské souvrství</i>																	
psefity	12	1,0	2,1	1,3	1,4	< 1,5	2,8	1,6	1,6	5,6	10,0	8,0	8,0	78	132	106	101
psamity	135	< 0,5	3,6	1,5	1,6	< 1,5	5,1	1,9	2,0	6,2	28,2	9,2	9,6	78	313	113	119
aleurity a pelity	109	0,9	5,3	2,3	2,3	< 1,5	4,8	2,3	2,4	3,4	17,1	9,6	9,8	61	276	141	144
<i>hornobenešovské souvrství</i>																	
psefity	4	1,4	2,4	1,6	1,7	2,4	3,1	2,7	2,7	7,6	12,5	8,9	9,5	114	160	124	130
psamity	152	1,0	3,0	1,9	1,9	< 1,5	4,9	2,7	2,7	6,4	26,2	10,5	10,9	79	280	139	142
aleurity a pelity	39	1,1	6,1	2,4	2,7	< 1,5	8,6	3,0	3,2	5,1	35,1	11,2	12,2	78	402	157	174

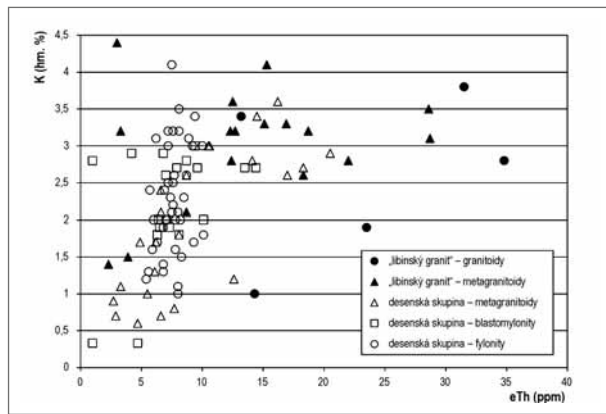
Výsledky

Výsledky všech provedených laboratorních gama-spektrometrických měření jsou shrnuty v tabulkách 1 a 2. Lze konstatovat, že průměrná hmotnostní aktivita studovaných typů hornin s výjimkou „libinských granitů“ a metamorfovaných produktů kyselého až intermediárního vulkanismu ve stínavsko-chabičovském souvrství nedosahuje hodnot vypočtených pro průměrnou zemskou kůru

(kolem 180 Bq.kg⁻¹). Významné či zajímavé poznatky jsou komentovány v následující kapitole.

Diskuze

1. „Libinské granity“ na listu 14-44 Šternberk vystupují jen v podobě několika drobných ostrůvků. Na základě makroskopického hodnocení jejich stavby lze rozlišit granitoidy a metagranitoidy. Ve studovaném souboru

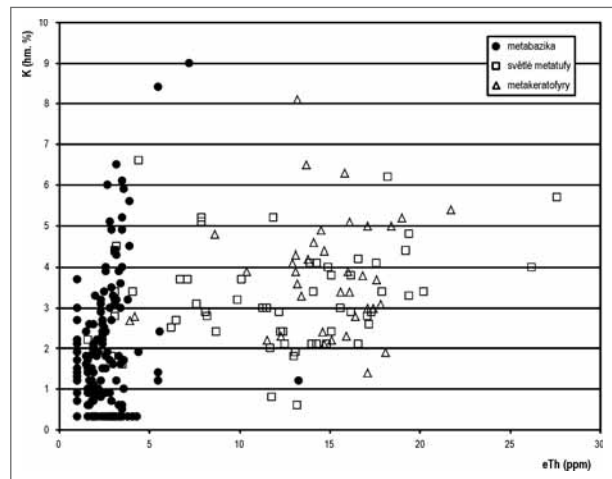


Obr. 1: Obsahy thoria a draslíku v „libinských granitech“ a v horninách desenské skupiny odvozených od granitoidů.
Fig. 1: Thorium and potassium contents in “Libina granites” and granitoid-derived rocks of the Desná Group.

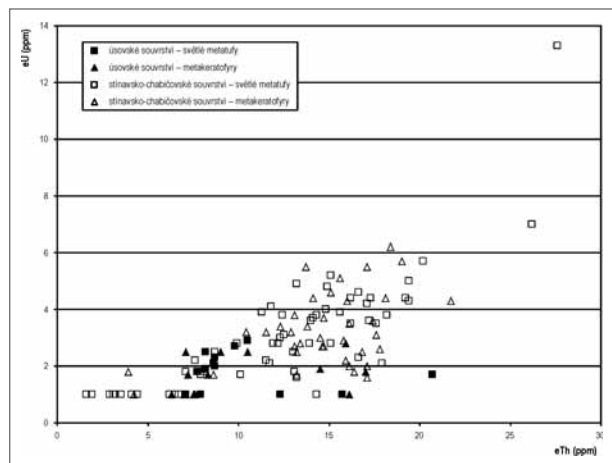
hornin jsou granitoidy (patrně granity) zastoupeny jen pěti vzorky odebranými na dvou ostrůvcích „libinských granitů“ na k. ú. Horní Libina, cca 100 a 400 m východně od železniční trati (oba ostrůvky jsou vyznačeny v geologické mapě – viz Koverdýnský et al. 1996). Jejich průměrná hmotnostní aktivita (a_m) je 234 Bq.kg^{-1} ($D = 113 \text{ nGy.h}^{-1}$), vzorek s nejvyšší přirozenou radioaktivitou má $a_m 321 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ($D = 156 \text{ nGy.h}^{-1}$). Tyto granitoidy mají relativně vysoké obsahy thoria, v průměru $23,5 \text{ ppm eTh}$, max. $34,8 \text{ ppm eTh}$ (tab. 1 a obr. 1). Průměrná hmotnostní aktivita metagranitoidů je výrazně nižší (viz tab. 1). Široké rozpětí obsahů draslíku a thoria v obou horninových typech rozlišovaných v rámci „libinských granitů“ je zřejmé z obrázku 1. Nutno poznamenat, že všechny čtyři vzorky metagranitoidů s obsahy thoria pod 5 ppm eTh pochází z k. ú. Lipinka (drobný výskyt na kótě 319 m, ležící cca 550 m sv. od středu Pískova). Všechny ostatní vzorky metagranitoidů jsou z k. ú. Dolní Libina (z plošně největšího výskytu „libinských granitů“ v okolí kóty 393 m) a Horní Libina (dva již výše zmíněné ostrůvky), a pokud jde o obsahy draslíku a thoria, velmi se podobají granitoidům z Horní Libiny.

2. Soubory metagranitoidů, blastomylonitů a fylonitů desenské skupiny mají podobná rozpětí i obdobné průměrné obsahy každého z trojice sledovaných prvků (tab. 1 a obr. 1). Toto zjištění je zcela v souladu s představou o vzniku těchto hornin z identického protolitu (kadomského granitoidu).

3. Zvýšenou přirozenou radioaktivitu vykazují metamorfované kyselé a intermediární vulkanity a pyroklastika stínavsko-chabičovského souvrství (viz tab. 2). V případě světlých metavulkanitů (metakeratofyrů) dosahuje průměrná $a_m 239 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ($D = 118 \text{ nGy.h}^{-1}$), vzorek s nejvyšší přirozenou radioaktivitou má $a_m 694 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ($D = 319 \text{ nGy.h}^{-1}$). Tato skutečnost souvisí s relativně vysokými, v průměru nadklarkovými, obsahy všech tří sledovaných prvků v metakeratofyrech (tab. 2, obr. 2). Jim odpovídající světlé metatufy stínavsko-chabičovského souvrství mají přirozenou radioaktivitu o něco nižší – průměrná hodnota a_m je 183 Bq.kg^{-1} ($D = 91 \text{ nGy.h}^{-1}$), vzorek s nejvyšší přirozenou radioaktivitou má $a_m 462 \text{ Bq.kg}^{-1}$ ($D = 221 \text{ nGy.h}^{-1}$). Obsahy uranu a thoria v jednotlivých



Obr. 2: Obsahy thoria a draslíku v metabazikách, světlých metatufech a metakeratofyrech stínavsko-chabičovského souvrství.
Fig. 2: Thorium and potassium contents in metabasites, felsic metatuffs and metakeratophyres of the Stínava-Chabičov Formation.



Obr. 3: Obsahy thoria a uranu ve světlých metatufech a metakeratofyrech úsovského a stínavsko-chabičovského souvrství.
Fig. 3: Thorium and uranium contents in felsic metatuffs and metakeratophyres of the Úsov and Stínava-Chabičov Formations.

vzorcích metakeratofyrů a jim odpovídajících metatufů jsou zřejmé z obrázku 2, do kterého však nebyly začleněny tři vzorky metakeratofyrů s anomálními obsahy thoria ve výši $54,2$; $57,3$ a $77,2 \text{ ppm eTh}$ (obsahy uranu jsou $6,3$; $3,4$ a $15,8 \text{ ppm eU}$, draslíku $1,9$; $1,9$ a $2,1 \text{ hm. \% K}$, všechny tři vzorky pochází z k. ú. Ruda u Rýmařova). Metakeratofyry a světlé metatufy úsovského souvrství mají ve srovnání s litologicky obdobnými horninami

Tab. 3: Obsah draslíku v bazických horninách stínavsko-chabičovského souvrství; n = počet vzorků, x = průměr.

Tab. 3: Content of potassium in basic rocks of the Stínava-Chabičov Formation; n = number of samples, x = average.

segment	n	K (hm. %)					
		min.	max.	Q1	med.	Q3	x
I (Chabičov...)	85	< 0,5	9,0	< 0,5	1,9	3,2	2,2
II (Břevenec...)	41	< 0,5	4,9	0,6	1,2	1,9	1,5
III (Police...)	29	< 0,5	3,3	1,2	1,7	1,9	1,6
IV (Nová Hradečná)	4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

stínavsko-chabičovského souvrství o něco nižší přirozenou radioaktivitu díky celkově nižším obsahům všech tří sledovaných prvků (tab. 1 a obr. 3, opět bez tří výše uvedených vzorků metakeratofyry s anomálně vysokým obsahem thoria).

4. Metabazika stínavsko-chabičovského souvrství (tab. 2) vykazují nižší přirozenou radioaktivitu (a_m je v průměru 78 Bq.kg^{-1}) než produkty kyselého a intermediárního vulkanismu, v případě jednoho vzorku paleobazaltu (spilitu) z Chabičova však a_m dosahuje 404 Bq.kg^{-1} (díky 9,0 hm. % K a 11,8 ppm eU). Metabazika stínavsko-chabičovského souvrství jsou mimořádná svými obsahy draslíku, a to jak širokým rozpětím hodnot (obr. 2), tak i v některých územích poměrně hojným výskytem hornin s jeho extrémně vysokým obsahem. Obsahy draslíku v metabazikách ve čtyřech segmentech označených jako I až IV jsou uvedeny v tabulce 3. Segment I je reprezentován vzorky z k. ú. Chabičov, Řídeč, Babice, Mladějovice a Šternberk, segment II z k. ú. Břevenec, Plinkout, Mirotíněk a Ruda u Rýmařova, segment III z k. ú. Police, Klopina a Bezděkov u Úsova, segment IV z k. ú. Nová Hradečná. V metabazikách segmentu I je variabilita obsahů draslíku nejvyšší. Ve 27 % vzorků z tohoto segmentu je obsah K pod mezí detekce, 10 % vzorků má obsah K nad 5 hm. %, což jsou hodnoty pro horniny tohoto typu extrémně vysoké. Tím se metamorfované bazické vulkanity a tufy segmentu I výrazně liší od obdobných hornin segmentů II a III; v segmentu IV byly zjištěny pouze metadolerity a zelené břidlice s obsahy K (a také U a Th) pod mezí detekce (viz data v tabulce 3). Anomálně vysoké koncentrace draslíku v bazických horninách segmentu I byly již dříve známy díky letecké gamaspektrometrii, jíž zde bylo zjištěno až 5,5 hm. % K (Gnojek – Přichystal 1984). Byly prokázány i chemickými analýzami hornin na mokré cestě. Ve spilitech šternbersko-hornobenešovského pruhu, v jehož jižní části segment I leží, Přichystal (1990) zjistil v průměru 3,6 hm. % K_2O (v horninách výrazně převažuje K_2O nad Na_2O). Zvýšené obsahy draslíku v bazických horninách stínavsko-chabičovského souvrství lze považovat za výsledek hydrotermální alterace hornin. Mixa – Orel (1993) v alterovaném spilitu ze segmentu I (z Hlásnice) stanovili 7,32 hm. % K_2O , v alterovaném tufu (příp. tufitu) 6,26 hm. % K_2O . Jde tedy o zhruba dvojnásobné obsahy draslíku ve srovnání s průměrnou hodnotou pro „draselné spility“ Přichystala (1990), které Mixa a Orel (1993) považují za nealterované. Pozitivní K-anomálie v území tvořeném bazickými horninami proto mohou být nadějně z hlediska výskytu rud barevných kovů – chudé sulfidické

Pb-Zn zrudnění bylo v segmentu I zastíženo vrty u Hlásnice (Gnojek – Přichystal 1984; Přichystal – Gnojek 1985). Segmenty II a III se sice litologicky podobají segmentu I (při makroskopickém hodnocení), avšak vzhledem k nižším obsahům draslíku v metabazikách je přítomnost akumulací sulfidických rud v segmentech II a III málo pravděpodobná (pokud považujeme zvýšené obsahy K v horninovém prostředí za indikátor hydrotermálních alterací, s nimiž by mohlo souviset formování sulfidické mineralizace typu SEDEX).

5. V klastických sedimentech andělskohorského a hornobenešovského souvrství dochází ke zvyšování průměrných obsahů K, U a Th s klesající velikostí klastů, tedy v pořadí psefity (slepence) – psamity (droby, méně pískovce) – aleurity a pelity (siltovce, siltové břidlice, jílové břidlice). Sedimenty hornobenešovského souvrství vykazují výrazně vyšší přirozenou radioaktivitu než sedimenty andělskohorského souvrství shodné zrnitostní kategorie (viz data v tabulce 2). Na tuto skutečnost již upozorňuje např. Zimák – Štelcl (2004) a Zimák (2015). Zvyšování přirozené radioaktivity hornin s klesající velikostí klastů v rámci téhož flyšového souvrství je v podstatě obecným jevem (vybočení z tohoto trendu může být způsobeno například přítomností arkózových psamitů nebo zvýšenými koncentracemi těžkých minerálů obsahujících U nebo Th v psamitech). V moravskoslezském kulmu byl takový vztah mezi zrnitostí siliciklastik a jejich přirozenou radioaktivitou doložen již např. Manovou – Matolínem (1989), Zimákem – Štelclem (2004) a Zimákem (2012).

Závěr

Průměrná hmotnostní aktivita jednotlivých typů metamorfitů, magmatitů a paleozoických sedimentů na mapovém listu 14-44 Šternberk až na dvě výjimky nedosahuje hodnot vypočtených pro průměrnou zemskou kůru (kolem 180 Bq.kg^{-1}). Těmito výjimkami jsou granitoidy označované jako „libinské granity“ s průměrnou hmotnostní aktivitou 234 Bq.kg^{-1} (max. 321 Bq.kg^{-1}) a produkty kyselého a intermediárního vulkanismu ve stínavsko-chabičovském souvrství: metakeratofyry s průměrem 239 Bq.kg^{-1} (max. 694 Bq.kg^{-1}) a s nimi prostorově spjaté světlé metatufy s průměrem 183 Bq.kg^{-1} (max. 462 Bq.kg^{-1}).

Poděkování

Autor děkuje editorovi Mgr. Davidu Buriánkovi, Ph.D. a recenzentům doc. RNDr. Jindřichu Štelcovi, CSc. a RNDr. Zuzaně Skácelové za cenné rady a připomínky, které přispěly ke zkvalitnění tohoto článku.

Literatura

- Gnojek, I. – Přichystal, A. (1984): Metalogenetický význam leteckých draslíkových anomálií Nízkého Jeseníku. – *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 4, 361–388.
- Koverdinský, B. – Hrubeš, M. – Dvořák, J. (1996): Geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 14-44 Šternberk. – Český geologický ústav.
- Manová, M. – Matolín, M. (1989): Radioaktivita hornin ČSSR. – In: Ibrmajer, J. – Suk, M. et al.: *Geofyzikální obraz ČSSR*, 196–213. ÚÚG – Academia Praha.
- Matolín, M. – Chlupáčová, M. (1997): Radioaktivní vlastnosti hornin. – In: Kobr, M. et al.: *Petrofyzika*, 109–126. Vydavatelství Karolinum, Praha.
- Mixa, P. – Orel, P. (1993): Manifestation of Paleozoic submarine geothermal activity in the eastern part of Middle European Variscides (Czechoslovakia). – *Proceedings Eight IAGOD Symposium, Ottawa, Canada, August 12–18, 1990*, 505–511. Stuttgart.
- Ngachin, M. – Garavaglia, M. – Giovani, C. – Kwato Njock, M. G. – Nourreddine, A. (2007): Assessment of natural radioactivity and associated radiation hazards in some Cameroonian building materials. – *Radiation Measurements*, 42, 61–67.
- Přichystal, A. (1990): Hlavní výsledky studia paleozoického vulkanismu ve šternbersko-hornobenešovském pruhu (Nízký Jeseník). – *Sborník geologických věd, řada ložisková geologie, mineralogie*, 29, 41–66.
- Přichystal, A. – Gnojek, I. (1985): Zjištění sulfidického Zn-zrudnění na Šternbersku a perspektivy analogického zrudnění u Moravského Berouna. – *Geologický průzkum*, 27, 197–200.
- UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (1988): *Exposures from natural sources of radiation. Report to the General Assembly. U.N., New York, USA.*
- Zimák, J. (2012): Přírozená radioaktivita kulmských sedimentů na východním okraji Českého masivu. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku*, 19, 1–2, 130–133.
- Zimák, J. (2015): Přírozená radioaktivita metamorfítů, magmatitů a předkenozoických sedimentů na mapovém listu 15-13 Vrbno pod Pradědem. – *Acta Musei Moraviae, Scientiae geologicae*, 100, 1, 69–73.
- Zimák, J. – Štelcl, J. (2004): Přírozená radioaktivita hornin moravskoslezského kulmu v oblasti Nízkého Jeseníku a Oderských vrchů: příspěvek k poznání zdrojové oblasti klastického materiálu. – *Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2003*, 11, 103–106.