

Vedecká rada Fakulty matematiky, fyziky a informatiky  
Univerzita Komenského v Bratislave

RNDr. Miroslav Ješkovec

Autoreferát dizertačnej práce

## Gama-spektrometria nízkych aktivít

Na získanie vedecko-akademickej hodnosti *philosophiae doctor*  
V odbore doktorandského štúdia: 4.1.5 Jadrová a subjadrová fyzika

Bratislava, 2009

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky UK

Predkladateľ: RNDr. Miroslav Ješkovský  
FMFI UK, Mlynská dolina  
841 04 Bratislava  
m.jeskovsky@gmail.com

Školiteľ: doc. RNDr. Ivan Sýkora, PhD.  
FMFI UK, Mlynská dolina  
841 04 Bratislava

Oponenti: prof. Ing. Vladimír Nečas, PhD.  
Katedra jadrovej fyziky a techniky  
Fakulta elektrotechniky a informatiky STU  
Ilkovičova 3  
812 19 Bratislava

RNDr. Miroslav Kubů, CSc.  
Odbor ochrany před ionizujícím žiarením  
Regionálny úrad verejného zdravotníctva Bratislava  
Ružinovská 8  
820 09 Bratislava

doc. Ing. Ivan Štekl, CSc.  
Ústav technické a experimentální fyziky ČVUT  
Horská 3  
128 03 Praha 2

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa 16. 12. 2009 o 11:00 hodine na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky UK, Mlynská dolina, 841 04 Bratislava pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce v odbore doktorandského štúdia 4.1.5 Jadrová a subjadrová fyzika, vymenovanom predsedom Spoločnej odborovej komisie prof. Masarikom dňa 9. 11. 2009

Prof. RNDr. Jozef Masarik, DrSc.  
Predseda Spoločnej odborovej komisie  
pre obhajoby dizertačných prác  
vo vednom odbore  
4.1.5 Jadrová a subjadrová fyzika

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>2</b>
Ciele dizertačnej práce.....	3
<b>2. Dosiahnuté výsledky .....</b>	<b>4</b>
2.1 Optimalizácia pozadia .....	4
2.2 Vzorka meteoritu „Rumanová“ .....	7
2.3 Vzorka prírodného selénu .....	10
2.4 Vzorky vôd Indického oceánu.....	11
2.5 Aerosóly .....	13
2.6 Zrážky.....	14
2.7 Model vertikálneho profilu $^7\text{Be}$ v atmosfére.....	15
2.8 Korelácie s meteorologickými faktormi .....	16
2.9 Machy.....	17
<b>3. Záver .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Zoznam použitej literatúry .....</b>	<b>19</b>
<b>5. Publikácia.....</b>	<b>20</b>
5.1 Zoznam publikovaných prác dizertanta .....	20
5.2 Zoznam prednášok dizertanta na vedeckých podujatiach a konferenciách.....	22
5.3 Zoznam zistených citácií .....	23
<b>6. Summary .....</b>	<b>24</b>

# 1. Úvod

Na analýzu veľmi nízkych koncentrácií a veľmi zriedkavých fyzikálnych procesov je potrebná extrémne nízka úroveň pozadia detekčného systému. Detekčný systém musí byť preto postavený z materiálov, ktoré obsahujú čo najmenej rádioaktívneho znečistenia a je potrebná detailná analýza potlačenia jednotlivých zložiek pozadia.

Pri gama-spektrometrických meraniach tvoria prevažnú časť pozadia tieto zložky: rádioaktivita okolia, rádioaktivita konštrukčných materiálov, rádioaktivita v tieniacich materiáloch, kozmické žiarenie a radón spolu s dcérskymi produktami premeny. Vhodným výberom konštrukčných materiálov v okolí detektora a tieniacich materiálov použitých na stavbu tieniaceho krytu je možné významne ovplyvniť úroveň pozadia. Na potlačenie kozmického žiarenia je potrebné použiť aktívne metódy, alebo umiestniť detekčný systém pod zemský povrch. Radónová komponenta sa najefektívnejšie odtieni zabránením prenikaniu radónu do okolia detektora.

Polovodičové detektory sú najvhodnejšími zariadeniami na meranie veľmi nízkej úrovne koncentrácie, pretože je možné ich pomerne jednoducho vyrobiť s nízkym rádioaktívnym znečistením. Majú taktiež veľmi dobré energetické rozlíšenie a súčasná technológia umožňuje výrobu detektorov s vysokou detekčnou účinnosťou.

Vhodným detekčným systémom je možné sledovať zriedkavé fyzikálne procesy alebo analyzovať vzorky s veľmi nízkou koncentráciou rádionuklidov, akými môžu byť aj vzorky zo životného prostredia. Použitie polovodičových detektorov je pomerne rozšírené práve v oblasti monitorovania životného prostredia.

V životnom prostredí sa nachádzajú rádionuklidy, ktoré vznikli prirodzenou cestou alebo ľudskou činnosťou. Tieto rádionuklidy je možné použiť ako stopovače fyzikálnych a fyzikálno-chemických procesov v životnom prostredí. Za vhodné stopovače atmosférických procesov sú považované rádionuklidy  ${}^7\text{Be}$  a  ${}^{210}\text{Pb}$ .  ${}^7\text{Be}$  je kozmogénny rádionuklid s dobou polpremeny 53,3 dní, ktorý sa pomerne jednoducho identifikuje. Vzniká pri štiepení ľahkých jadier kozmickým žiarením prevažne v stratosfére a hornej troposfére. Na zemský povrch sa dostáva ako súčasť aerosólov. Rádionuklid  ${}^{210}\text{Pb}$  je produktom premeny  ${}^{222}\text{Rn}$ , ktorý sa do atmosféry dostáva z pôdneho vzduchu.  ${}^{210}\text{Pb}$  je následne v prízemnej vrstve zachytený na atmosférický aerosól. Štúdium koncentrácií týchto rádionuklidov nám môže pomôcť pochopiť výmenné procesy v troposfére a taktiež medzi troposférou a stratosférou.

V atmosfére sa nachádza aj antropogénne  ${}^{137}\text{Cs}$ , ktoré sa do atmosféry dostalo vo väčšom množstve v 60-tych rokoch minulého storočia najmä pri skúškach jadrových zbraní (neskôr pri haváriách jadrovoenergetických zariadení) a  ${}^{40}\text{K}$ , ktoré sa primárne nachádza v zemskej kôre od prvotnej nukleosyntézy. Tieto rádionuklidy sa opätovne dostávajú do atmosféry resuspenziou zemskeho povrchu.  ${}^{137}\text{Cs}$  môžeme registrovať aj v sedimentoch a povrchových vodách. Málo známe sú však jeho koncentrácie vo svetových oceánoch. Môže slúžiť ako stopovač výmenných procesov medzi atmosférou a oceánmi a medzi jednotlivými vrstvami oceánov. Tieto procesy sú veľmi dôležité pri štúdiách globálneho

otepl'ovania, pretože oceány sú najväčšími rezervoármi jedného zo skleníkových plynov a to CO<sub>2</sub>.

## Ciele dizertačnej práce

- Štúdium zdrojov pozadia využiť na minimalizovanie alebo eliminovanie ich vplyvov použitím pasívnych a aktívnych metód potlačenia pozadia, s cieľom dosiahnuť schopnosť merať veľmi nízke aktivity vo vzorkách životného prostredia alebo konštrukčných materiáloch. Analyzovať vzorky prírodného prostredia, ako sú napríklad aerosóly, zrážky alebo machy, vzorky s nízkymi aktivitami, ako sú napríklad vzorky meteoritu, prírodného selénu alebo vzorky morských vôd z projektu SHOTS, využitím optimalizovaného pozadia detektorov pre konkrétne vzorky.
- Vypracovať metodiku odberu a spracovania atmosférických vzoriek vo forme zrážok. Ohodnotiť faktory pri zbere a spracovaní, ktoré môžu ovplyvňovať výsledné hodnoty koncentrácie a depozície <sup>7</sup>Be, <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs a <sup>40</sup>K v dažďovej vode.
- Použitím štatistických metód interpretovať zozbierané údaje z kontinuálneho merania rádionuklidov <sup>7</sup>Be, <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs a <sup>40</sup>K zachytených na atmosférických aerosóloch a v zrážkach. Ohodnotiť vplyvy jednotlivých faktorov modifikujúcich výsledné hodnoty.
- Použiť zozbierané experimentálne dáta koncentrácií <sup>7</sup>Be v prízemnej vrstve atmosféry a depozície v zrážkach v jednorozmernom vertikálnom modeli transportu vzdušných más. Model by mal predpokladať vertikálne premiešavanie vzdušných más v troposfére a stratosfére, rádioaktívnu premenu, mokrý spad v podobe zrážok ako aj suchý spad v podobe gravitačnej sedimentácie častíc. Výstupnými parametrami modelu by sme mohli získať hodnoty koeficientov turbulentnej difúzie spolu s koeficientom vymývania častíc z atmosféry zrážkami, pričom dostávame aj vertikálny profil rozloženia <sup>7</sup>Be v atmosfére.

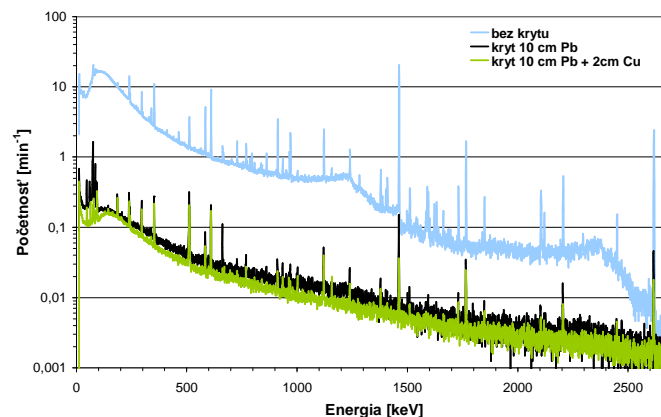
## 2. Dosiahnuté výsledky

### 2.1 Optimalizácia pozadia

Popri energetickom rozlíšení a detekčnej účinnosti je pozadie ďalším dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje kvalitu detekčného systému. Na rozdiel od prvých dvoch faktorov, ktoré sú dané konštrukciou detektora a elektroniky, pozadie je možné výraznejšie ovplyvňovať. Na bežnú kvantitatívnu analýzu vzoriek stačí umiestniť detektor do tieniaceho krytu. S bežným pasívnym tienením detekčného systému, ktorý sa nachádza na zemskom povrchu môžeme dosiahnuť hodnoty pozadia nie menšie ako 0,4 impulzov za sekundu na  $100 \text{ cm}^3$  aktívneho objemu detektora [Semkow2002]. Ak však potrebujeme stanoviť veľmi nízke koncentrácie kvalitatívnou analýzou, na zníženie detekčných limitov je vhodné použiť aktívne tienenie pomocou ďalších detektorov alebo umiestniť detekčný systém pod zemský povrch, čo je však podstatne finančne nákladnejšie. Časť práce bola preto venovaná optimalizácii pozadia detektorov, ktoré sa nachádzajú v gamaspektrometrickom laboratóriu Katedry jadrovej fyziky a biofyziky FMFI, s cieľom dosiahnutia čo najlepších detekčných limitov pri meraní rôznorodých vzoriek.

Vo všeobecnosti môžeme zdroje pozadia rozdeliť na príspevky od kozmického žiarenia a od prírodných a antropogénnych rádionuklidov v okolí detektora. Porovnaním početností pre jednotlivé kryty vidíme, že pre kozmickú zložku pozadia nie sú rozdiely pri použití rôznych krytov veľmi významné. Pri umiestnení do krytov sa pozadie pre 511 keV znížilo približne 10 násobne a celkový počet impulzov približne 70 násobne. Významnejšie potlačenie kozmickej zložky je možné dosiahnuť iba aktívnymi metódami, alebo umiestnením systému pod zemský povrch.

Podobne je tomu aj pre vyššie energie dcérskych rádionuklidov  $^{222}\text{Rn}$  a  $^{220}\text{Rn}$ , ako sú napr.  $^{212,214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{228}\text{Ac}$  alebo  $^{208}\text{Tl}$ . Tieto rádionuklidy sa nachádzajú prevažne vo vzduchu, ktorý obklopuje detektor, a preto zloženie krytu má na ich príspevok iba malý vplyv. Je možné ich minimalizovať zmenšením okolitého priestoru detektora, alebo hermetizovaním vnútorného objemu krytu s odparovaním tekutého dusíku, prípadne prefukovaním mŕtveho vzduchu týmto objemom.



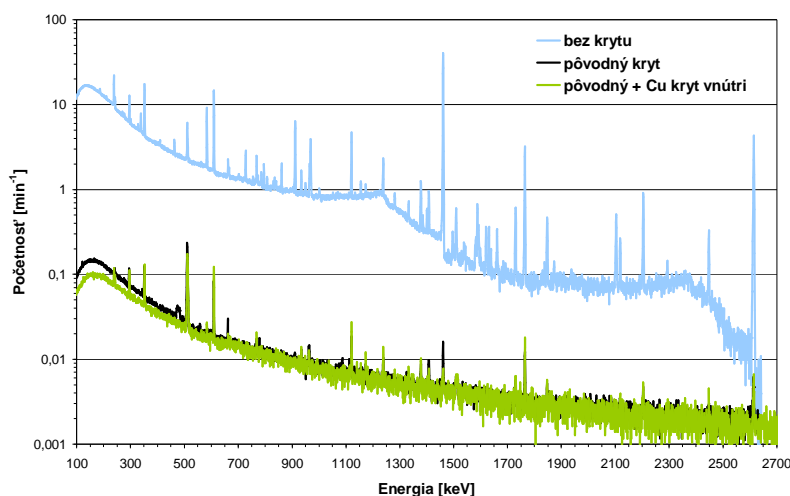
Obr. 2.1 Spektrá pozadia detektoru HPGe mimo krytu (modrá), v olovenom kryte (zelená) a v kombinovanom oloveno-medenom kryte (sivá).

Pri nízkych energiách je situácia komplikovanejšia. Vidíme, že pridaním oloveného krytu, nám v spektre pribudli píky s nízkymi energiami (75 keV, 84,8 keV a 87,4 keV na Obr. 2.1), ktoré pochádzajú z röntgenovho žiarenia v olove. Pridaním vnútornej vrstvy medi s hrúbkou 2 cm, sa ich príspevok k pozadiu znížil približne 10-80 násobne.

Rádionuklid  $^{40}\text{K}$  je veľmi ťažké odtieniť, pretože môže byť súčasťou materiálov použitých pri tienení. Hlavný príspevok k pozadiu tvoria príspevky od draslíka v podloží a okolitých stavebných materiáloch, pretože pridávaním ďalších tieniacich vrstiev sa jeho príspevok znižuje.

Posledným rádionuklidom, ktorý významne ovplyvňuje pozadie detektora je antropogénne  $^{137}\text{Cs}$ . V našich zemepisných šírkach sa dostalo do prostredia prevažne pri havárii Černobyľskej jadrovej elektrárne. Odvtedy môže tvoriť povrchovú kontamináciu rôznych materiálov. Príspevok k pozadiu  $^{137}\text{Cs}$  bol po mechanickom čistení a následnom lúhovaní v kyseline dusičnej a kyseline fosforečnej takmer úplne eliminovaný.

Na analýzu vzoriek s veľmi nízkymi koncentraciami rádionuklidov bol použitý detektor HPGe280, ktorý je umiestnený v nízkopozad'ovom tieniacom kryte. Na obrázku 2.2 sú porovnané pozad'ové spektrá HPGe280 detektora mimo tieniaceho krytu a v tieniacom kryte. Vidíme, že potlačenie pozadia vo vnútri tieniaceho krytu je približne 100 násobné. Aby bolo možné použiť koincidenčné a antikoincidenčné zapojenia s požadovanou úrovňou pozadia od produktov premeny  $^{222}\text{Rn}$ , bol vo vnútri veľkého krytu vybudovaný ďalší menší medený kryt.



**Obr. 2.2** Porovnanie pozad'ových spektrier pre detektro HPGe280 mimo krytu, vo vnútri pôvodného krytu a vo vnútri nového krytu.

Zloženie nízkopozad'ového krytu pre detektor HPGe280 je navrhnuté tak, aby eliminovalo prevažnú časť zdrojov pozadia. Vrstva olova, železa a medi dostatočne odtieni gama kvantá z okolitých zdrojov. Vrstva polyetylénu s prímiesou bóru spomalí produkované neutróny kozmickým žiarením a vrstva cadmia a medi takto termalizované neutróny odtieni. Ako zdroj pozadia ostanú iba rádionuklidy v materiály detektora a jeho tesnej blízkosti, rádionuklidy vo vnútornom priestore a mióny kozmického žiarenia. Pre daný detektor nie je už možné ďalej znížiť príspevok k pozadiu od rádionuklidov, ktoré sa

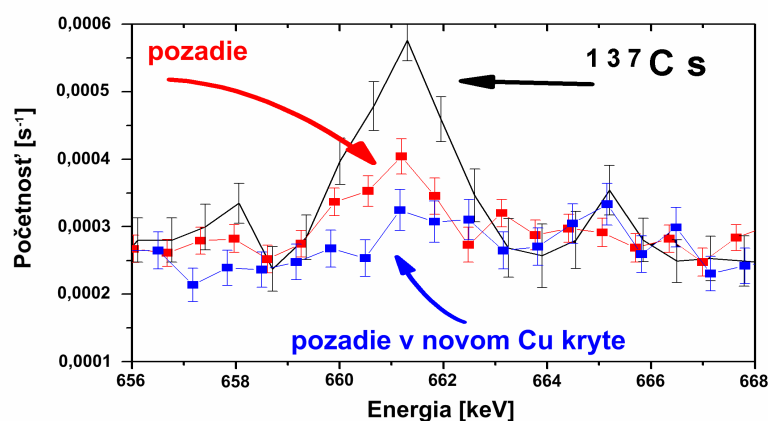
nachádzajú v jeho materiáloch. Podobne aj miónovú komponentu je ťažko pasívne odtieniť, ostáva eliminovať iba rádionuklidy vo vnútri krytu.

Povrchová kontaminácia  $^{137}\text{Cs}$  a z menšej časti aj  $^{40}\text{K}$  bola odstránená mechanicky a následne lúhovaním v kyseline fosforečnej a kyseline dusičnej. Ďalším zdrojom je  $^{222}\text{Rn}$  a jeho produkty premeny, ktoré sa do priestoru krytu dostávajú z laboratória. Na ich zníženie je možné použiť hermetizáciu krytu, pričom do hermetizovanej časti sa môže uvoľňovať plynný dusík z Dewarovej nádoby. Takto vznikne objem s vyšším tlakom, ktorý sťažuje prenikaniu radónu vo vzduchu do vnútorných priestorov krytu, pričom produkty premeny, ktoré sa do objemu už dostali sa pomerne rýchlo premieňajú.

Aby sme mohli použiť antikoincidenčné tienenie vnútri a tieniaci kryt nemusel byť stále hermetizovaný (problémy pri manipulácii so vzorkami, pri plnení tekutým dusíkom) bol pridaný malý vnútorný medený kryt. Na obrázku 2.2 vidíme potlačenie miónovej komponenty pozadia a komptonovsky rozptýlených gama kvánt pri starej konfigurácii a s pridaným vnútorným medeným krytom. Vidíme, že miónová komponenta bola mierne potlačená, čo sme aj očakávali. Zníženie spojitého kontinua v nižších energiách indikuje zníženie komptonovských kvánt od potlačených píkov úplnej absorpcie.

Pri porovnaní jednotlivých príspevkov v rôznych konfiguráciách tieniaceho krytu vidíme, že početnosti píkov jednotlivých produktov premeny  $^{222}\text{Rn}$  sú porovnateľné pre hermetizovaný kryt a pre novú konfiguráciu s medeným krytom. Výraznejšie zníženie bolo pozorované iba pre  $^{137}\text{Cs}$  (2,5 násobné potlačenie) a pre  $^{40}\text{K}$  (3 násobné). Pri kombinácii novej konfigurácie (s medeným krytom) tieniaceho krytu s jeho hermetizáciou boli početnosti v píkoch dcérskych rádionuklidov potlačené ďalším faktorom 3.

Vplyv novej konfigurácie s vnútorným medeným krytom na detekčný limit pri stanovovaní koncentrácií  $^{137}\text{Cs}$  vo vzorkách vidíme na obrázku 2.3.



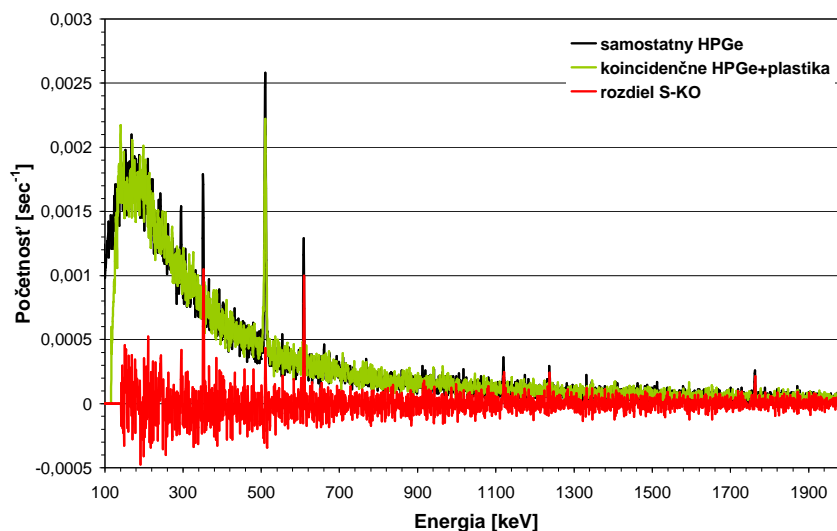
Obr. 2.3 Porovnanie početností v píku 661,5 keV pre rádionuklid  $^{137}\text{Cs}$  vo vzorke (čiernou), pre starú konfiguráciu krytu (červená) a pre novú konfiguráciu krytu (modrá) [Sykora2008].

S cieľom odtienenia miónovej komponenty kozmického žiarenia z pozadia detektoru HPGe280 bola testovaná možnosť použitia aktívneho tienenia vo forme antikoincidenčného zapojenia detektoru s plastickým scintilátorom.

Výhodou antikoincidenčného zapojenia oproti koincidenčným technikám je možnosť jeho použitia aj pre monoenergetické žiariče, ako sú napr.  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$ . Aby sme



dokumentovali potenciálne možnosti takéhoto usporiadania a preto, že sme mali k dispozícii len jednu platňu plastického scintilátora o rozmeroch (šxvxh) 35×35×5cm, realizovali sme koincidenčné merania z jednotlivých smerov. Možnosti dokumentuje obrázok 2.4, kde rozdiel medzi pozadím meraným samostatným HPGe280 detektorom a koincidenčným zapojením plastického scintilátora a HPGe280 detektora odzrkadľuje schopnosť antikoincidenčného zapojenia plastických scintilátorov potlačiť pozadie z každého smeru.



**Obr. 2.4** Porovnanie pozad'ových spektier pri použití pasívneho tienenia (čierne), koincidenčného zapojenia plastického scintilátora a HPGe280 (zelené), rozdiel v nameraných spektrách (červená).

Ak by bolo možné použiť zapojenie scintilátorov v  $2\pi$  konfigurácii, dosiahli by sme pri dlhodobejšom meraní lepšie detekčné limity pre  $^{137}\text{Cs}$  a pre  $^{40}\text{K}$ . To si však vyžaduje ďalšie plastické scintilátory s potrebnou elektronikou a antikoincidenčnými obvodmi, ktoré neboli k dispozícii.

Pri použití koincidenčného zapojenia z kapitoly 2.3 je situácia výrazne lepšia, kedy bolo dosiahnuté 65 násobné potlačenie. Hodnoty pozadia pre tieto merania zodpovedajú meraniam laboratórií v podobných konfiguráciách. Nevýhodou tejto koincidenčnej metódy je, že ju nie je možné použiť pre všetky rádionuklidy, ale iba pre kaskádne a  $e^+$  žiariče.

## 2.2 Vzorka meteoritu „Rumanová“

Pri svojej ceste medziplanetárnym priestorom je meteorit vystavený kozmickému žiareniu. Interakciami kozmického žiarenia s atómami meteoritu vzniká rádionuklid  $^{26}\text{Al}$ . Reakcie, ktoré sa najviac podieľajú na tvorbe  $^{26}\text{Al}$  sú  $^{28}\text{Si} (p, 2pn) ^{26}\text{Al}$ ,  $^{27}\text{Al} (p, pn) ^{26}\text{Al}$ ,  $^{56}\text{Fe} (p, xp yn) ^{26}\text{Al}$  (pričom  $x, y \in Z$ ). Tento rádionuklid sa následne premieňa elektrónovým záchyтом. Bol analyzovaný úlomok meteoritu, ktorý bol niekoľkokrát meraný na HPGe280 detektore z rôznych strán. V spektre pozorujeme okrem jasného píku 1808,7 keV a slabšieho 1129,7 keV, ktoré patria  $^{26}\text{Al}$ , aj ďalšie píky. Tieto patria prevažne do pozadia, no niektoré majú oveľa vyššiu početnosť ako v pozadí, medzi ne patria aj píky od rádionuklidov

$^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$ . Tieto rádionuklidy, alebo ich materské rádionuklidy, sa s veľkou pravdepodobnosťou taktiež nachádzajú v alebo na povrchu meteoritu. Pomocou Monte Carlo modelu bola stanovená detekčná účinnosť pre tieto geometrie meteoritu a následne stanovená hmotnostná aktivita pre  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  vo vzorke.

V tabuľke 2.1 vidíme výsledné hmotnostné aktivity pre rádionuklidy  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v niektorých geometriách.

**Tab. 2.1 Hmotnostné aktivity  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  pre rôzne geometrie merania meteoritu.**

	A( $^{226}\text{Ra}$ ) [Bq/kg]	A( $^{137}\text{Cs}$ ) [Bq/kg]	A( $^{40}\text{K}$ ) [Bq/kg]
GEOM1	0,24±0,015	0,514±0,069	20,1±2,6
GEOM2	-	0,502±0,065	21,7±2,8
GEOM3	0,175±0,013	0,666±0,087	16,5±2,2
GEOM4	-	1,23±0,16	14,6±1,6
Priemer	0,208±0,033	0,728±0,17	18,21±1,63

Pozn.

GEOM1 – podstava je zrezaná plocha tzn. smeruje dovnútra meteoritu (časti v rade 4)

GEOM2 – podstava je zrezaná plocha, bola z nej odbrúsená 1,5 cm vrstva na ďalšiu analýzu, podobne ako GEOM1 smeruje dovnútra meteoritu

GEOM3 – podstava je nepravidelný úlom (časti v rade D)

GEOM4 – podstava je zrezaná plocha, smeruje von z meteoritu (časti v rade A)

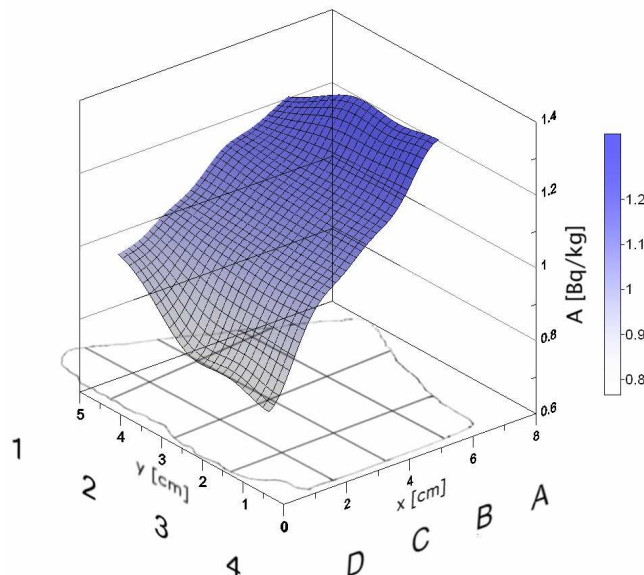
Môžeme si všimnúť, že hmotnostné aktivity nie sú rovnaké pre všetky geometrie, čiastočne je to spôsobené zjednodušenou geometriou meteoritu pri výpočte účinnosti. Ďalším vysvetlením je nerovnomerné rozdelenie rádionuklidov vo vzorke. Keď si uvedomíme, čo jednotlivé geometrie znamenajú, vidíme, že GEOM1 a GEOM2 sú si dosť podobné a predstavujú vnútornú časť meteoritu, GEOM3 predstavuje úlom keď sa meteorit rozpadol a GEOM4 predstavuje vonkajšiu vrstvu. Z tabuľky vidíme, že aktivita  $^{226}\text{Ra}$  je vo všeobecnosti rovnomerná (GEOM3 nemá pravidelnú podstavu a je naklonená, čo môže ovplyvňovať aktivitu). Keď si navyše uvedomíme, že meteorit má približne 4,3 miliardy rokov [Povinec2009], môžeme predpokladať stav rádioaktívnej rovnováhy medzi  $^{226}\text{Ra}$  a jeho materským rádionuklidom  $^{238}\text{U}$ . Potom aktivita  $^{226}\text{Ra}$  predstavuje aktivitu  $^{238}\text{U}$ . Najvýraznejšie rozdiely vykazuje aktivita rádionuklidu  $^{137}\text{Cs}$ . Tento sa mohol na meteorit dostať pri prelete atmosféry zo vzduchu, alebo následne po dopade z pôdy. Predstavuje preto povrchovú kontamináciu meteoritu, čo vidíme aj z výsledkov, kedy najväčšia aktivita je stanovená pre GEOM4, ktorá predstavuje vonkajšiu vrstvu. Naopak aktivity rádionuklidu  $^{40}\text{K}$  dosahujú zvýšené hodnoty oproti priemernej aktivite vo vnútri meteoritu. Znamená to, že tento rádionuklid sa nachádza v meteorite prevažne vo vnútornej časti, kde bol jeho súčasťou už pri vzniku. Menšia aktivita v povrchovej vrstve sa dá vysvetliť odparením minerálov obsahujúcich  $^{40}\text{K}$  pri prelete atmosférou.

Keďže je  $^{26}\text{Al}$  pozitronový žiarič, môže dochádzať k sumácii 511 keV a 1808,7 keV kvánt, čím vznikne pík 2319,7 keV. Pri stanovení aktivity tak môže dochádzať k nepresnostiam v dôsledku straty početnosti v píku 1808,7 keV. Straty v početnosti môžeme odhadnúť porovnaním hmotnostných aktivít, ktoré sme získali dvomi metódami a to Monte Carlo modelovaním píkovej účinnosti a použitím fantómu meteoritu.

Pomocou etalónu známej aktivity  $^{26}\text{Al}$  a  $^{40}\text{K}$  bol vytvorený z odliatku meteoritu jeho fantóm. Rádionuklid  $^{40}\text{K}$  sa premieňa beta premenou a emituje jedno gama kvantum s energiou 1460,5 keV, nevznikajú preto sumačné efekty. Fantóm bol podobne ako meteorit meraný v niekoľkých geometriách (rotovaním jednotlivých strán).

Porovnaním pomerov aktivít stanovených rôznymi metódami vidíme, že pri týchto geometriách nedochádza k strate početnosti v píku s energiou 1808,7 keV pre  $^{26}\text{Al}$  v dôsledku sumačného efektu. Vidíme, že približne 20% straty v stanovení účinnosti pre geometrie GEOM2 a GEOM3 sú spôsobené jednak zjednodušením geometrie modelu pri výpočte detekčnej účinnosti a taktiež pravdepodobne nerovnomerným rozložením rádionuklidov vo vzorke (obidve metódy – Monte Carlo model a použitie etalónu predpokladajú rovnomerné rozloženie rádionuklidov vo vzorke).

S cieľom zistiť rozloženie koncentrácie  $^{26}\text{Al}$  v meteorite, bola odrezaná približne 1,5 cm vrstva, ktorá bola ďalej rozdelená na menšie časti. Boli porovnané výsledné hmotnostné aktivity  $^{26}\text{Al}$  v jednotlivých dvojiciach častí, ktoré boli stanovené z meraní na HPGe280 a z koincidenčných meraní.



**Obr. 2.5** Profil rozloženia hmotnostnej aktivity  $^{26}\text{Al}$  v reze meteoritu.

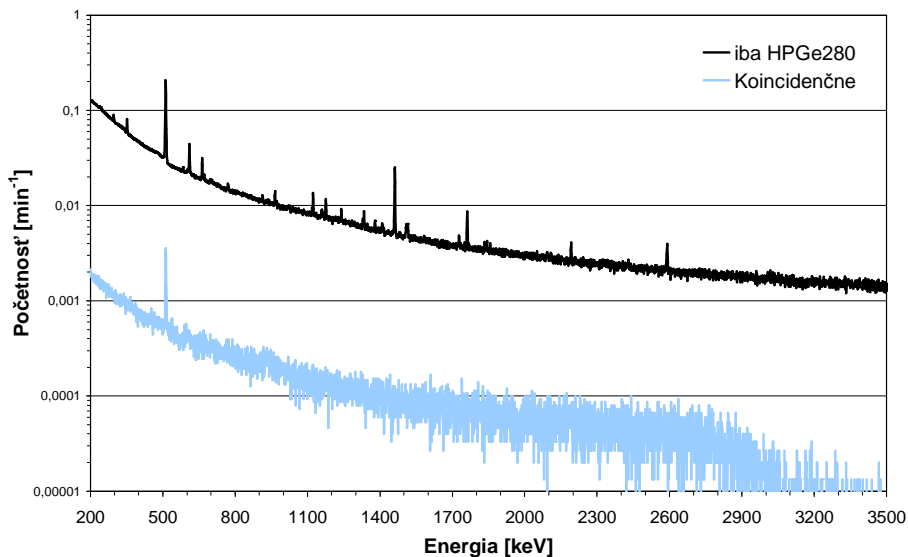
Napriek miernym rozdielom vrámci štatistických nepresností bol pozorovaný klesajúci trend v aktivite  $^{26}\text{Al}$ . Preto bol vytvorený profil rozloženia hmotnostnej aktivity  $^{26}\text{Al}$  v meteorite, ktorý je na obrázku 2.5. Z profilu možno vidieť, že najväčšia koncentrácia  $^{26}\text{Al}$  je na strane rezu, ktorá zodpovedá povrchu meteoritu. Postupne do stredu meteoritu sa koncentrácia  $^{26}\text{Al}$  znižuje. Toto rozloženie  $^{26}\text{Al}$  je spôsobené veľkosťou meteoritu, kedy hadrónová kaskáda, pri ktorej vznikajú ďalšie atómy  $^{26}\text{Al}$  nemá dostatok priestoru (objem meteoritu) na ďalší vývoj. Priemerná hodnota koncentrácie  $^{26}\text{Al}$  v celom meteorite je na úrovni  $0,82 \pm 0,03$  Bq/kg. Táto hodnota koncentrácie je v zhode s koncentraciami v ostatných chondritoch typu H5 ako boli tie, ktoré sa našli v Příbrame, v Saratove a v Estacade [Usacev1977, Sykora1992].

## 2.3 Vzorka prírodného selénu

Jedným z možných využití nízkopozad'ových systémov je aj hľadanie bezneutrínovej dvojitej beta premeny ( $0\nu\beta\beta$ ) v rádionuklide  $^{74}\text{Se}$  pomocou excitovaných stavov dcérskeho jadra  $^{74}\text{Ge}$ .  $^{74}\text{Se}$  vo vzorke sa môže premieňať niekoľkými módmi (bližšie rozoberá napr. [Barabash2007]), no bol sledovaný iba mód bezneutrínového dvojitého elektrónového záchytu ( $ECEC(0\nu)$ ) pri prechode na hladinu  $2_2^+$  germánia  $^{74}\text{Ge}$ . V tomto prípade sú dva elektróny zachytené z  $L$  sféry a sú emitované dve deexcitačné gama kvantá s energiami 595,8 keV a 608,4 keV s pravdepodobnosťou 66%, alebo jedno deexcitačné gama kvantum s energiou 1204,2 keV a pravdepodobnosťou 34%.

Vzorka prírodného selénu bola paralelene meraná na HPGe280 detektore a na koincidenčnom zapojení HPGe280 a NaI(Tl) detektora.

Na obrázku 2.6 sú zobrazené obidve merané spektrá, pričom celkový čas merania každého bol viac ako 100 dní. Výsledné detekčné limity pre obidve spektrá v intervaloch hľadaných energií sú v tabuľke 2.2.



Obr. 2.6 Namerané spektrá pri analýze vzorky prírodného selénu pomocou samostatného HPGe280 detektora (čierne) a pomocou koincidenčného zapojenia HPGe280+NaI(Tl) detektorov (modré).

Tab. 2.2 Detekčné limity (v cps/kg) pre vzorku prírodného selénu v obidvoch konfiguráciách detektorov.

Energia	595,9 keV	608,4 keV	1204,2 keV
$L_D$ (HPGe280)	$50,03 \times 10^{-6}$	$51,5 \times 10^{-6}$	$58,5 \times 10^{-6}$
$L_D$ (KO)	$8,14 \times 10^{-6}$	$7,62 \times 10^{-6}$	-

Vidíme, že použitím koincidenčného zapojenia bol dosiahnutý 5 násobne lepší detekčný limit v sledovaných intervaloch energií. Pre jednotlivé hodnoty pozadia pod virtuálnymi píkmami (v spektre sa jednoznačne nenachádzali žiadne píky z  $ECEC(0\nu)$  premeny  $^{74}\text{Se}$ ) boli spočítané doby polpremeny pre obidve energie. Pri koincidenčnom zapojení sme predpokladali, že by v prípade premeny bola registrovaná energia buď 595,9

keV alebo 608,4 keV (pri premene sú emitované v približne 180° uhle). Potom by doby polpremeny boli nasledovné

$$T_{1/2}(596) > (1,41 \pm 0,15) \times 10^{17} \text{ rokov}$$

$$T_{1/2}(608) > (1,40 \pm 0,15) \times 10^{17} \text{ rokov.}$$

V prípade samostatného HPGe280 detektoru by pri premene mohli byť registrované energie buď 1204,2 keV alebo niektorá z dvojice 595,9 keV a 608,4 keV. Na rozdiel od koincidenčného merania boli v pozadí samostatného HPGe280 detektora registrované aj píky s energiami 583,2 keV od  $^{208}\text{Tl}$  a 609,3 keV od  $^{214}\text{Bi}$ . Za daných predpokladov boli potom stanovené nasledovné doby polpremy

$$T_{1/2}(596) > (9,64 \pm 1,05) \times 10^{18} \text{ rokov}$$

$$T_{1/2}(608) > (7,02 \pm 0,77) \times 10^{18} \text{ rokov}$$

$$T_{1/2}(1204) > (1,52 \pm 0,17) \times 10^{19} \text{ rokov.}$$

Aj napriek niekoľkonásobne nižšiemu pozadiu detektorov v koincidenčnom zapojení je limit doby polpremeny lepší pre samostatné HPGe280 meranie. Je to z toho dôvodu, že doba polpremeny priamo závisí od detekčnej účinnosti ( $T_{1/2} \approx \varepsilon$ ) a nepriamo pod druhou mocninou od pozadia ( $T_{1/2} \approx 1/\sqrt{b}$ ). Použitím koincidenčného zapojenia HPGe280 + NaI(Tl) bola znížená detekčná účinnosť natoľko, že zníženie pozadia pod obidvomi píkmami nebolo dostatočné pre lepší limit doby polpremeny.

Doteraz publikovaný limit na  $ECEC(0\nu)$  v rádionuklide  $^{74}\text{Se}$  sa pohybuje na úrovni  $5,5 \times 10^{18}$  rokov [Barabash2007], pričom bola vzorka meraná v podzemnom laboratóriu v Modane. Je jasné, že  $^{74}\text{Se}$  nie je veľmi dobrým kandidátom na hľadanie  $\beta^+ EC(0\nu)$  a  $ECEC(0\nu)$  premeny a že šanca na registráciu týchto procesov je veľmi malá. Napriek tomu sú dosiahnuté experimentálne limity celkom zaujímavé.

## 2.4 Vzorky vôd Indického oceánu

Pri analýzach vzoriek životného prostredia sa kladie veľký dôraz na veľmi nízke detekčné limity. Nie je tomu inak ani pri analýze vzoriek vôd [Semkow2002]. V rámci štúdia distribúcie a vlastností antropogénnych rádionuklidov v oceánoch sme boli zapojení do projektu SHOTS (Southern Hemisphere Ocean Tracer Study). Jednalo sa o vzorky vôd z Indického oceánu, ktoré boli odobrané v rámci expedície BEAGLE (Blue Earth Global Expedition).

Vzorky vôd z Indického oceánu boli merané na polovodičovom HPGe280 detektore, kvôli jeho vysokej detekčnej účinnosti a nízkemu pozadiu. Detekčná účinnosť pre jednotlivé vzorky bola stanovená pomocou Monte Carlo modelu detektora.

Výsledné hodnoty aktivít pre jednotlivé vzorky vôd sú uvedené v tabuľke 2.3, sú tu uvedené iba celkové aktivity vzoriek  $^{137}\text{Cs}$ , pretože sme nemali k dispozícii jednotlivé objemy, z ktorých bola vzorka extrahovaná a ani výťažky rádionuklidov pre danú metódu spracovania vzoriek.

Tab. 2.3 Výsledné hodnoty nameranej aktivity  $^{137}\text{Cs}$  pre jednotlivé vzorky vôd z Indického oceánu.

Vzorka	Hĺbka	A [Bq]	$T_{\text{mer}}$ [min]
103-450	Povrch	0,117±0,004	4035
	200 m	0,023±0,004	4459
	600 m	$L_D=0,012$	7259
	1000 m	$L_D=0,013$	4000
103-454	Povrch	0,113±0,006	2692
	600 m	$L_D=0,012$	8322
103-462	Povrch	0,108±0,005	4247
103-467	Povrch	0,108±0,005	5625
103-473	Povrch	0,121±0,007	2699
	600 m	$L_D=0,015$	4119
103-479	Povrch	0,111±0,007	2745
	600 m	$L_D=0,011$	8663
	1000 m	$L_D=0,013$	5696
103-487	Povrch	0,084±0,005	4070
103-494	Povrch	0,100±0,006	4310
	600 m	0,015±0,003	6895
103-502	Povrch	0,098±0,005	4307
	200 m	0,017±0,003	5765
	Dno	$L_D=0,01$	9736
103-507	Povrch	0,052±0,006	4285
103-512	Povrch	0,024±0,004	7257
	200 m	0,028±0,004	5901
	600 m	$L_D=0,012$	5705
	800 m	$L_D=0,012$	6871
	1000 m	$L_D=0,018$	2885
103-518	Povrch	0,080±0,005	4286
	200 m	0,028±0,004	6938
	800 m	$L_D=0,012$	9925
	1000 m	$L_D=0,010$	14166
103-525	Povrch	0,107±0,006	3026

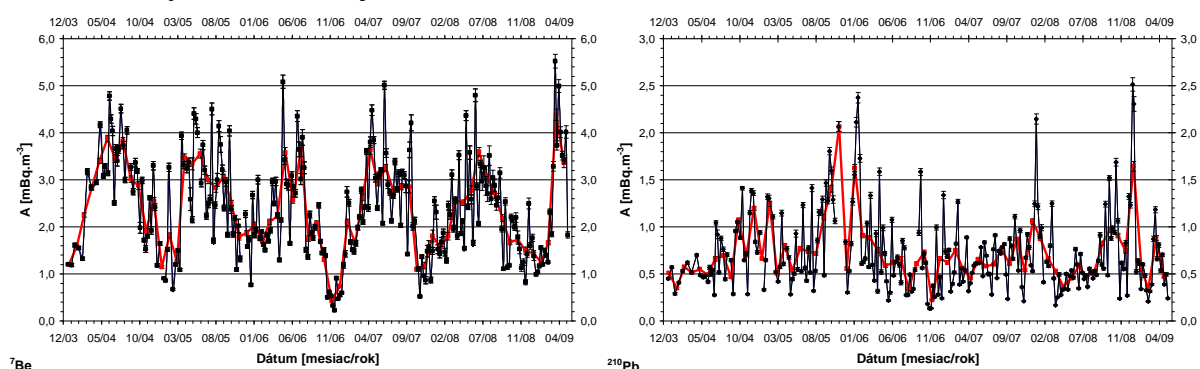
Z výsledkov vidíme, že použitý spektrometrický systém je dostatočne citlivý iba pre vzorky s aktivitou väčšou ako je 0,012 Bq, ktorá predstavuje detekčný limit pre tento systém. Vzorky, ktoré mali vyššiu aktivitu boli prevažne z hĺbky menšej ako 500m. Na gamaspektrometrickú analýzu vzoriek odobratých z väčších hĺbok je potrebné umiestniť spektrometrický systém pod zemský povrch, ako je to napr. v [Hirose2005]. Gamaspektrometrická analýza koncentrácií rádionuklidu  $^{137}\text{Cs}$  v morských vodách je vhodná do hĺbky približne 1500m [Park2008]. Na stanovenie koncentrácií  $^{137}\text{Cs}$  vo väčších hĺbkach je potrebné použiť citlivejšie metódy ako napr. ICP-MS, beta alebo alfa /beta spektrometriu [Park2008].

V poslednej dobe sa nemalá pozornosť venuje emisám oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) do atmosféry, kde ako sa predpokladá spôsobuje skelníkový efekt. Oxid uhličitý emitovaný do atmosféry je zo štvrtiny pohltенý rastlinami a ďalšia štvrtina je absorbovaná svetovými oceánmi. Oceán absorbuje z atmosféry  $\text{CO}_2$  kým nenastane rovnováha medzi koncentráciou  $\text{CO}_2$  vo vzduchu a morskej vode. Tento proces je veľmi pomalý a meria sa v stovkách až tisícoch rokov. Akonáhle sa však  $\text{CO}_2$  dostane do oceánu, ostáva tu podľa McElroya až 500 rokov [McElroy2002]. Svetové oceány sú preto najväčším prírodným rezervoárom  $\text{CO}_2$ .

K stopovačom, ktorý by pomohol lepšie pochopiť cirkuláciu v oceánoch a zmeny klímy patrí aj antropogénny rádionuklid  $^{137}\text{Cs}$ . Zo svojou dlhou dobou polpremeny (okolo 30 rokov) je veľmi dobrým stopovačom dlhodobých oceánskych procesov. Analýzou niekoľkých vzoriek vôd z Indického oceánu sme prispeli k lepšiemu zmapovaniu a pochopeniu premiešavacích procesov v oceánoch a moriach.

## 2.5 Aerosóly

V období od januára 2004 po máj 2009 boli sledované objemové aktivity rádionuklidov  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$  v prízemnej vrstve atmosféry Bratislavy. Výsledné hodnoty koncentrácií rádionuklidov sú na obrázku 2.7. Podobne v mesačných intervaloch boli sledované objemové aktivity  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$ , ale iba do marca 2008.



Obr. 2.7 Priebek objemovej aktivity  $^7\text{Be}$  v prízemnej vrstve atmosféry Bratislavy. Červenou farbou sú znázornené mesačné priemery.

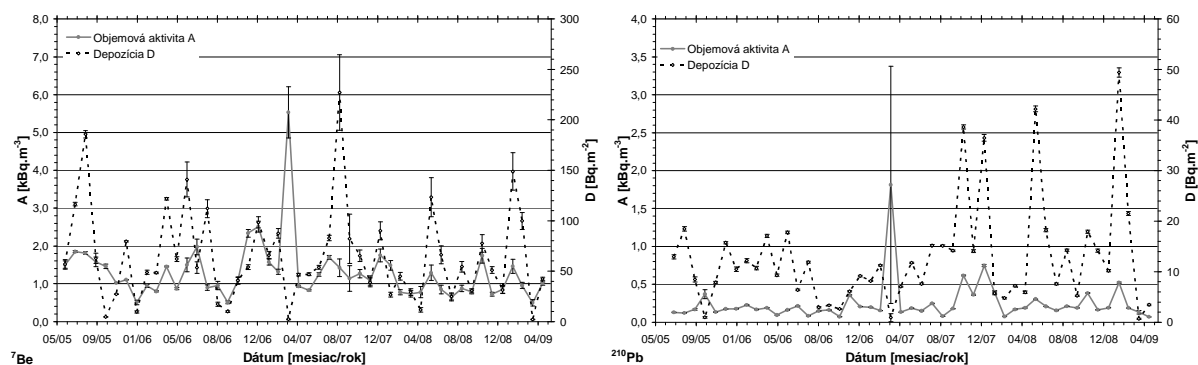
Hodnoty objemových aktivít  $^7\text{Be}$  v prízemnej vrstve Bratislavy sa pohybujú v intervale  $0,23\text{--}5,52\text{ mBq/m}^3$  s priemernou hodnotou  $2,41\text{ mBq/m}^3$ . Koncentrácie  $^7\text{Be}$  vykazujú periodické striedanie maxim v jarých a letných mesiacoch a minim v jesenných a zimných mesiacoch. Toto striedanie je spôsobené zmenou výšky tropopauzy a meteorologickými charakteristikami jednotlivých ročných období, ako sú napr. teplota a zrážky. V jarých a letných mesiacoch, kedy je tropopauza vo vyššej výške ako v jesenných a zimných mesiacoch, je do troposféry transportované väčšie množstvo rádionuklidov zo stratosféry. Koncentrácie  $^{210}\text{Pb}$  v prízemnej vrstve atmosféry Bratislavy sa pohybujú v intervale  $0,13\text{--}2,51\text{ mBq/m}^3$  s priemernou hodnotou  $0,72\text{ mBq/m}^3$ . Na rozdiel od  $^7\text{Be}$  sa olovo do atmosféry dostáva zo zemského povrchu. Vidíme, že jeho priebek taktiež naznačuje sezónne variácie s maximami v zimných mesiacoch a minimami v letných mesiacoch. Tieto variácie sú dôsledkom častých inverzií v zimných mesiacoch. V zimnom období na prelome rokov 2006 a 2007 nie je pozorované výraznejšie maximum v objemových aktivitách  $^{210}\text{Pb}$ . Bolo to pravdepodobne spôsobené teplejšou zimou bez výraznejších teplotných inverzií, ktoré by zabránili rozptylu aerosólov s  $^{210}\text{Pb}$  do atmosféry.

Priemerná hodnota objemových aktivít v prízemnej vrstve pre  $^{137}\text{Cs}$  je  $0,51\text{ }\mu\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  s intervalom hodnôt  $0,06\text{--}1,25\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$  a pre  $^{40}\text{K}$  je to  $4,94\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$  s intervalom hodnôt  $1,35\text{--}11,82\text{ }\mu\text{Bq/m}^3$ . Objemové aktivity týchto rádionuklidov sú v atmosfére na veľmi nízkej

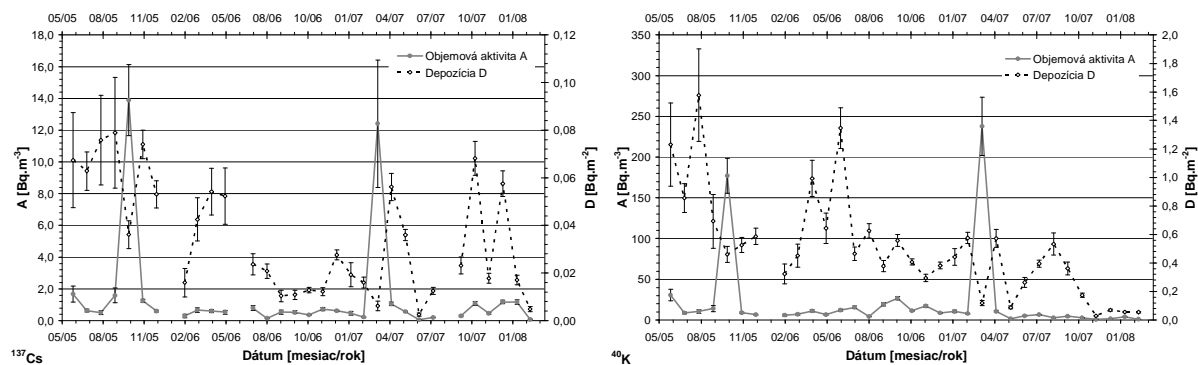
úrovni a môžeme si taktiež všimnúť náznakov sezónnych variácií s maximami v zime a minimami v lete, ktoré sú pravdepodobne spôsobené inverziami v zimných mesiacoch podobne ako pri  $^{210}\text{Pb}$ .

## 2.6 Zrážky

V období od júna 2005 do mája 2009 boli okrem aerosólov sledované objemové aktivity rádionuklidov  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  aj v zrážkach. Tieto rádionuklidy sú vymývané z oblakov pri tvorbe kvapiek a pri samotnom spade zrážok, kedy sú aerosóly s nuklidmi strhávané do kvapiek. Odberové zariadenie neumožňuje separovať rádionuklidy zo zrážok a rádionuklidy, ktoré sa dostanú na povrch v dôsledku gravitačného spadu, preto sú v udávaných hodnotách objemových aktivít a depozícií zahrnuté obidva procesy.



Obr. 2.8 Hodnoty objemovej aktivity a depozície  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$  v napadanej dažďovej vode pre oblasť Bratislavy.



Obr. 2.9 Hodnoty objemovej aktivity a depozície  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v napadanej dažďovej vode pre oblasť Bratislavy.

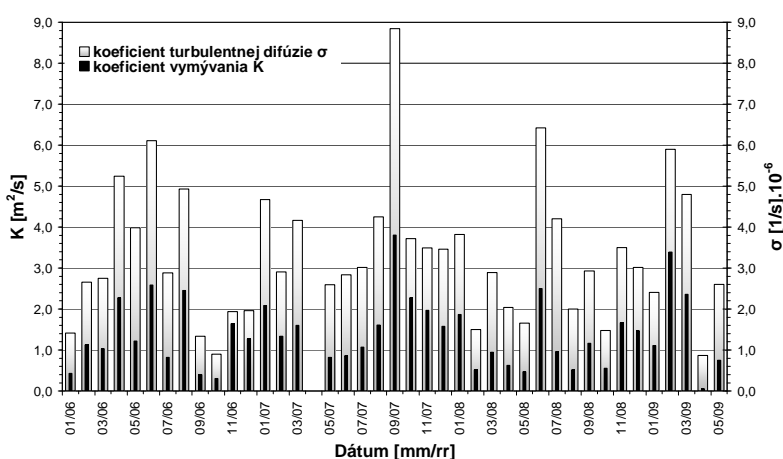
Na obrázkoch 2.8 a 2.9 sú zobrazené hodnoty objemovej aktivity [ $\text{Bq}/\text{m}^3$ ] a depozície [ $\text{Bq}/\text{m}^2$ ] sledovaných rádionuklidov v dažďovej vode. Z grafov vidieť, že na rozdiel od aerosólov, objemové aktivity a depozície rádionuklidov v zrážkach nevykazujú skoro žiadne sezónne variácie. Môže to byť spôsobené tým, že objemová aktivita rádionuklidov v zrážkach závisí od koncentrácie rádionuklidov v atmosfére a od množstva a intenzity zrážok. Hoci koncentrácie  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  na aerosóloch vykazujú v atmosfére sezónne variácie, charakter a množstvo zrážok nie je tak silno závislé od ročných období aj keď vo všeobecnosti sa zima a jar považujú za obdobia s väčším počtom zrážok a leto s menším.



Keďže zrážky redukujú koncentráciu rádionuklidov v atmosfére, či už pri samotnej tvorbe kvapiek alebo vymývaním pri ich páde, mení sa aj koncentrácia rádionuklidov v zrážkach. Čím je dážď dlhší, tým viac je koncentrácia rádionuklidov v zrážke viac zriedovaná. Bolo tiež pozorované, že hmly a slabý dážď majú väčšiu schopnosť vymývania rádionuklidov ako prudký dážď alebo búrka [Ioanidou2006]. V grafoch si taktiež môžeme všimnúť obdobia s nízkou depozíciou, čomu odpovedá malé množstvo zrážok, a s veľkou objemovou aktivitou. Je to pravdepodobne spôsobené niekoľkými faktormi. Po zrážkach narastá koncentrácia rádionuklidov v atmosfére do ďalšej zrážky a v prípade dlhšieho obdobia bez alebo len s malým množstvom zrážok dochádza k zvyšovaniu koncentrácie rádionuklidov v prízemnej vrstve atmosféry. V dôsledku gravitačnej sily sa rádionuklidy na aerosóloch dostávajú na zemský povrch a aj malé množstvo zrážok vymyje podstatne väčšiu aktivitu ako pri pravidelných dažďoch. Ďalším faktorom, ktorý môže ovplyvňovať koncentráciu rádionuklidov v zrážkach, je hrúbka a výška oblakov. Bolo pozorované, že koncentrácia  $^{7}\text{Be}$  v zrážkach z oblakov v nadmorskej výške 1-2 km je významne vyššia ako pri zrážkach z oblakov v nižších nadmorských výškach. [Talpos1997]

## 2.7 Model vertikálneho profilu $^{7}\text{Be}$ v atmosfére

Získané experimentálne dáta koncentrácií  $^{7}\text{Be}$  v zrážkach a na aerosóloch boli použité ako vstupné parametre v modeli vertikálneho transportu vzdušných mäs, ktorý sme vytvorili pre aplikáciu namerných hodnôt prízemných koncentrácií [Meresova2008], [Simon2009]. Model predpokladá vertikálne premiešavanie v troposfére a stratosfére, rádioaktívnu premenu, tak ako aj fyzikálne procesy vo forme suchého a mokrého spad. Na vertikálne rozloženie teploty, tlaku a hustoty vzduchu bol použitý štandardný model atmosféry U.S Standard Atmosphere. [USSA1962] Keďže hlavná časť hmotnosti atmosféry (okolo 99%) je rozptýlených do nadmorskej výšky 30 km, model je limitovaný touto výškou.



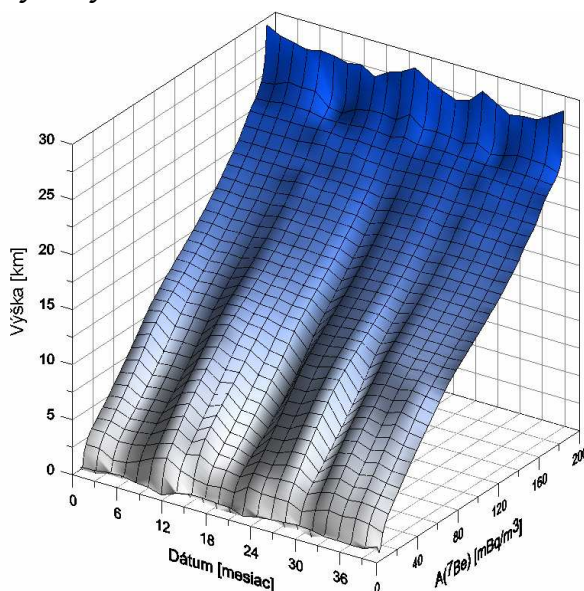
Obr. 2.10 Vypočítané koeficienty turbulentnej difúzie a koeficienty vymývania z modelu vertikálneho premiešavania vzdušných mäs.

Vypočítané hodnoty koeficientov turbulentnej difúzie a koeficientov vymývania, ktoré boli stanovené z hodnôt objemovej aktivity  $^{7}\text{Be}$  v aerosóloch a z depozície  $^{7}\text{Be}$  vo

forme zrážok na zemský povrch v oblasti Bratislavy sú na obrázku 2.10. Hodnoty týchto koeficientov boli použité na výpočet rozloženia koncentrácie  ${}^7\text{Be}$  v atmosfére do výšky 30km. Výsledný profil priebehu koncentrácií  ${}^7\text{Be}$  v atmosfére Bratislavy je na obrázku 2.11.

Z profilu vidíme, že koncentrácie  ${}^7\text{Be}$  variujú v prízemnej vrstve atmosféry do výšky približne 15 km. Tropopauza sa nachádza vo výške približne 10–12 km, čo naznačuje tomu, že prevažná časť premiešavania vzdušných mäs je ohraničená touto výškou. Variácie v prízemnej vrstve majú jednoznačný sezónny charakter, ako už bolo pozorované z experimentálnych dát.

Porovnaním modelovaných hodnôt so skutočnými hodnotami pozorovanými na niektorých vyššie položených miestach (vysokohorské stanice s nadmorskou výškou približne 4000m) [Gerasopoulos2001], [Igarashi1999] môžeme povedať, že popísaný model je v dobrej zhode s experimentálnymi dátami. Na dôkladnejšie overenie modelu sú potrebné dáta z väčších nadmorských výšok.



Obr. 2.11 Rozloženie koncentrácie  ${}^7\text{Be}$  v atmosfére za obdobie od januára 2006 po máj 2009 (jednotlivé mesiace sú číslované od 1 po 41 mesiac).

## 2.8 Korelácie s meteorologickými faktormi

Pozorované objemové aktivity rádionuklidov v zrážkach a na aerosóloch boli porovnávané s niektorými meteorologickými faktormi s cieľom ohodnotiť vplyv týchto faktorov na obsah rádionuklidov vo vzorkách. Na ohodnotenie bezparametrickej korelácie bol zvolený Spearmanov poradový korelačný koeficient  $\rho_{sp}$ . V tabuľke 2.4 sú porovnané jednotlivé meteorologické faktory s objemovými aktivitami sledovaných rádionuklidov na vzorkách atmosférických aerosólov. Kladná a záporné korelácie rádionuklidov boli okrem  ${}^{210}\text{Pb}$  pozorované pri teplote. Tieto korelácie nasvedčujú zvyšovaniu (pri  ${}^7\text{Be}$ ), resp. znižovaniu (pri  ${}^{137}\text{Cs}$  a  ${}^{40}\text{K}$ ) koncentrácie rádionuklidov so zmenou výšky tropopauzy, kedy sa  ${}^7\text{Be}$  dostáva zo stratosféry do troposféry a stúpanie teplého vzduchu od povrchu odnáša aerosóly s rádionuklidmi  ${}^{137}\text{Cs}$  a  ${}^{40}\text{K}$  do väčších výšok. Nasvedčujú tomu aj korelácie

objemových aktivít s výškou tropopauzy. Faktory ovplyvňujúce tvorbu aerosólov v atmosfére záporne korelujú s objemovou aktivitou  $^7\text{Be}$ , čo nasvedčuje tomu, že čím viac aerosólov sa vytvorí, tým je aktivita  $^7\text{Be}$  v nich menšia. Signifikantná kladná korelácia bola pozorovaná aj medzi objemovou aktivitou  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  a prašnosťou. Nasvedčuje to tomu, že sa do atmosféry dostávajú zo zemského povrchu,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  resuspenziou a  $^{210}\text{Pb}$  ako produkt premeny  $^{222}\text{Rn}$  z pôdneho vzduchu, pričom je zachytávaný na atmosférické aerosóly (čím viac aerosólov je pri zemskom povrchu, tým viac atómov  $^{210}\text{Pb}$  zachytia). Slabá záporná korelácia koncentrácie  $^{210}\text{Pb}$  so zrážkami naznačuje, že mokrá pôda ťažšie emanuje  $^{222}\text{Rn}$  a jeho produkty do atmosféry.

**Tab. 2.4 Spearmanove korelačné koeficienty s mierou štatistickej spoľahlivosti pre testovanie korelácie medzi objemovou aktivitou rádionuklidov na aerosóloch a meteorologickými faktormi.**

Aktivita	Teplota	Tlak	Vlhkosť	Zrážky	Oblačnosť	Tropopauza	Prašnosť
$^7\text{Be}$	0,61 p<0,001	-0,01 p>0,05	-0,60 p<0,001	-0,14 p<0,05	-0,53 p<0,001	0,38 p<0,001	0,10 p>0,05
$^{210}\text{Pb}$	-0,09 p>0,05	0,27 p<0,001	0,17 p<0,01	-0,37 p<0,001	-0,19 p<0,01	0,29 p<0,001	0,56 p<0,001
$^{137}\text{Cs}$	-0,55 p<0,001	0,30 p<0,05	0,32 p<0,05	-0,08 p>0,05	0,39 p<0,01	-0,40 p<0,01	0,61 p<0,001
$^{40}\text{K}$	-0,66 p<0,001	0,18 p>0,05	0,30 p<0,01	-0,19 p>0,05	0,34 p>0,05	-0,45 p<0,01	0,58 p<0,001

Pozn.

p>0,05 – CL<95% predstavuje nezávislosť testovaných premenných

p<0,05 – CL>95% predstavuje štatisticky málo významnú závislosť

p<0,01 – CL>99% predstavuje štatisticky významnú závislosť

p<0,001 – CL>99,9% predstavuje štatisticky vysoko významnú závislosť

Podobne boli porovnané aj meteorologické faktory s objemovou aktivitou a depozíciou rádionuklidov v zrážkach. Okrem slabej korelácie objemovej aktivity rádionuklidu  $^{40}\text{K}$  nebola pozorovaná žiadna významnejšia korelácia meteorologických faktorov s objemovou aktivitou. Výrazná korelácia bola pozorovaná medzi množstvom zrážok a depozíciou  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$ , menej významná je aj medzi množstvom zrážok a depozíciou  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$ . Táto závislosť iba poukazuje na to, že rádionuklidy sú vo veľkej miere vymývané zrážkami, pričom pre rádionuklidy  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$  je toto vymývanie významnejšie ako pre  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$ .

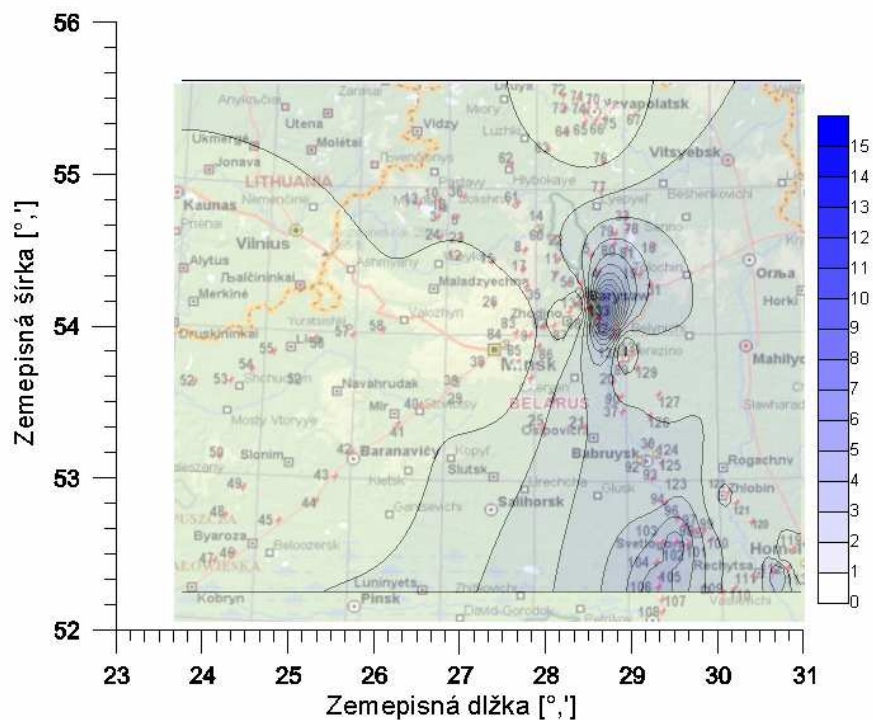
## 2.9 Machy

V spolupráci s JINR Dubna boli analyzované vzorky machov z rôznych lokalít Bieloruska. Jednalo sa prevažne o oblasť, ktorou prechádzali rádioaktívne oblaky pri havárii jadrovej elektrárne v Černobyle z roku 1986. Detekčný limit  $L_D$  bol pre  $^{210}\text{Pb}$  8 Bq/kg a pre  $^{137}\text{Cs}$  1,1 Bq/kg.

Keďže machy nemajú koreňovú sústavu, živiny potrebné na rast čerpajú z ovzdušia, preto aj koncentrácie rádionuklidov svedčia o znečistení ovzdušia. Dokazujú to aj doterajšie pozorovania, kedy nebola pozorovaná žiadna korelácia medzi koncentraciami rádionuklidov v pôde a v machoch [Eckl1986]. Podobne aj porovnanie koncentrácií  $^{214}\text{Bi}$

(ako premenový produkt  $^{222}\text{Rn}$  s krátkou dobou polpremeny pochádza prevažne z pôdy) a  $^{210}\text{Pb}$  (zachytáva sa prevažne na aerosóly a so svojou dlhou dobou polpremeny predstavuje prevažne koncentráciu vo vzduchu), ktoré sú v rádioaktívnej rovnováhe, ukázalo na 20 násobne vyššiu koncentráciu  $^{210}\text{Pb}$  v machoch [Krmar2007].

Koncentrácia  $^{210}\text{Pb}$  v machoch sa veľmi nemenila. Hodnoty koncentrácií  $^{210}\text{Pb}$  v machoch sa v literatúre značne líšia v závislosti od lokality a od priemyselnej aktivity v okolí. Rozsah nameraných hodnôt  $^{210}\text{Pb}$  92-227 Bq/kg s priemernou hodnotou 146 Bq/kg, v machoch Bieloruska nevykazuje zvýšené hodnoty, ktoré by mohli svedčiť o priemyselnom znečistení. Zastúpenie rádionuklidu  $^{137}\text{Cs}$  vo vzorkách je pomerne odlišné. Na obrázku 2.12 vidíme rozloženie koncentrácie  $^{137}\text{Cs}$  vo vzorkách machov. Vidíme, že jeho koncentrácia je v niektorých lokalitách pomerne vysoká napríklad pri meste Barysau a Svyetlahorsk. Pri porovnaní týchto hodnôt z hodnotami koncentrácie z ďalších lokalít zodpovedajú koncentrácie v týchto miestach koncentráciám pozorovaným po rádioaktívnom spade  $^{137}\text{Cs}$  z Černobyľskej havárie.



Obr. 2.12 Rozloženie aktivity  $^{137}\text{Cs}$  [kBq/kg] vo vzorkách machov na území Bieloruska.

### 3. Záver

V práci sú analyzované možnosti použitia pasívnych a aktívnych metód potlačenia pozadia. Dosažené stupne potlačenia sú následne použité pri analýze rôznorodých vzoriek. Medzi vzorky s nízkou aktivitou patrí vzorka meteoritu „Rumanová“, kde bolo sledované rozloženie koncentrácie rádionuklidu  $^{26}\text{Al}$ . Medzi štúdiom zriedkavých procesov môžeme zaradiť hľadanie bezneutrínového dvojitého elektrónového záchytu v rádionuklide  $^{74}\text{Se}$ . Na základe dlhodobého merania bol stanovený limit pre dobu polpremeny tohto procesu v rádionuklide  $^{74}\text{Se}$  na úrovni  $10^{19}$  rokov. Práca sa zaoberá aj štúdiom stopovačov

rôznych procesov v životnom prostredí. Na štúdium výmenných procesov medzi atmosférou a oceánom bol použitý rádionuklid  $^{137}\text{Cs}$ , ktorý sa do atmosféry a následne aj do hydrosféry dostal antropogénnou činnosťou. Na štúdium atmosférických procesov boli použité rádionuklidy  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  vo vzorkách aersólov, zrážok a machov. Pre lepšie pochopenie rozloženia koncentrácií  $^7\text{Be}$  v atmosfére a na ohodnotenie procesov, ktoré túto koncentráciu ovplyvňujú, bol vytvorený model vertikálneho profilu koncentrácie  $^7\text{Be}$  v atmosfére.

## 4. Zoznam použitej literatúry

- [Barabash2006] A.S. Barabash, hep-ex/0602037v1
- [Eckl1986] P. Eckl, W. Hofmann, R. Turk (1986) Uptake of natural and man-made radionuclides by lichens and mushrooms: Radiation and Environmental Biophysics 25, s. 43-54
- [Gerasopoulos2001] E. Gerasopoulos, P. Zanis, A. Stohl, C.S. Zerefos, C. Papastefanou, W. Ringer, L. Tobler, S. Hubener, H.W. Gäggeler, H.J. Kanter, L. Tositti, S. Sandrini (2001) A climatology of  $^7\text{Be}$  at four high-altitude stations at the Alps and the Northern Apennines: Atmospheric Environment 35, s. 6347–6360
- [Hirose2005] K. Hirose, M. Aoyama, Y. Igarashi, K. Komura (2005) Extremely low background measurements of  $^{137}\text{Cs}$  in seawater samples using an underground facility (Ogoya): Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 53, s. 263-349
- [Igarashi1999] Y. Igarashi, K. Komura, Y. Tsutsumi, M. Aoyama, M. Yamamoto, K. Hirose (1999)  $^7\text{Be}$  concentrations observed at the summit of Mt. Fuji, comparison with those of  $\text{O}_3$ : Abstracts of Papers. Symposium on Radiochemistry 43, s. 171
- [Ioannidou2006] A. Ioannidou, C. Papastefanou (2006) Precipitation scavenging of  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in air: Journal of Environmental Radioactivity 85, s. 121-136
- [Krmár2007] M. Krmár, D. Radnovič, S. Rakič, M. Matavuly (2007) Possible use of terrestrial mosses in detection of atmospheric deposition of  $^7\text{Be}$  over large areas: Journal of Environmental Radioactivity 95, s. 53-61
- [McElroy2002] M.B. McElroy (2002) The Atmospheric Environment: Effects of Human activity: Princeton University Press
- [Merešová2008] J. Merešová (2008) Radioactivity of atmospheric aerosol particles and their elemental content: Dizertačná práca, Bratislava
- [Park2008] J.H. Park, B.U. Chang, Y.J. Kim, J.S. Seo, S.W. Choi, J.Y. Yun (2008) Determination of low  $^{137}\text{Cs}$  concentration in seawater using ammonium 12-molybdophosphate adsorption and chemical separation Metod: Jour. of Envir. Rad. 99, s. 1815–1818
- [Povinec2009] P. P. Povinec, I. Sýkora, V. Porubčan, M. Ješkovský (2009) Analysis of  $^{26}\text{Al}$  in meteorite samples by coincidence gamma-ray spectrometry: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, in print
- [Semkow2002] T.M. Semkow, P.P. Parekh, C.D. Schwenker, A.J. Khan, A. Bari, J.F. Colaresi, O.K. Tench, G. David, W. Gurynd (2002) Low-background gamma spectrometry for environmental radioactivity: Applied Radiation and Isotopes 57, s. 213-223
- [Simon2009] J. Šimon, J. Merešová, I. Sýkora, M. Ješkovský, K. Holý (2009) Modeling of temporal variations of vertical concentration profile of  $^7\text{Be}$  in the atmosphere: Atmospheric Environment 43 Issue 12, s. 2000-2004
- [Sýkora1992] I. Sýkora, M. Ďurčík, J. Staníček, P. Povinec (1992) Rare Nuclear Processes (P. Povinec, Ed): World Scientific, Singapore, s. 321
- [Sýkora2008] I. Sýkora, M. Ješkovský, R. Janík, K. Holý, M. Chudý, P.P. Povinec (2008) Low-level single and coincidence gamma-ray spectrometry: Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 276 No.3, s. 779–787
- [Talpos1997] S. Talpos, V. Cuculeanu (1997) A Study of the Vertical Diffusion of  $^7\text{Be}$  in the Atmosphere: Journal of Environmental Radioactivity 36, s. 93-106
- [Usacev1977] S. Usačev, P. Povinec, M. Chudý, V. Hlinka, J. Vanko, N. Pišútová (1977) Low Radioactivity Measurements and Applications (S. Usačev, P. Povinec Ed.): Slovenské Pedagogické Nakladateľstvo, Bratislava, p. 183.
- [USSA1962] U.S. Standard Atmosphere (1962) U.S. Standard Atmosphere Supplements 1966: U.S. Government Printing Office, Washington

## 5. Publikácie

### 5.1 Zoznam publikovaných prác dizertanta

#### ADC - Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch

1. I. Sýkora, **M. Ješkovský**, R. Janík, K. Holý, M. Chudý, P. P. Povinec: Low-level single and coincidence gamma-ray spectrometry; Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 276, No. 3, 2008, s. 779-787
2. J. Merešová, M. Florek, K. Holý, **M. Ješkovský**, I. Sýkora, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, M. Bujdoš: Evaluation of elemental content in air-borne particulate matter in low-level atmosphere of Bratislava; Atmospheric Environment, Vol. 42, No. 34, 2008, s. 8079-8085
3. J. Šimon, J. Merešová, I. Sýkora, **M. Ješkovský**, K. Holý: Modeling of temporal variations of vertical concentration profile of  $^7\text{Be}$  in the atmosphere; Atmospheric Environment, Vol. 43, No. 12, 2009, s. 2000-2004
4. P. P. Povinec, I. Sýkora, V. Porubčan, **M. Ješkovský**: Analysis of  $^{26}\text{Al}$  in meteorite samples by coincidence gamma-ray spectrometry; Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 2009, *in press*, published online: DOI 10.1007/s10967-009-0211-7

#### AFC - Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

1. I. Sýkora, J. Merešová, **M. Ješkovský**: Radioactivity of the atmospheric aerosol in Bratislava; Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine: Fourth International Summer School on Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine : Proceedings. - New York : American Institute of Physics, 2007, s. 228-229
2. M. Müllerová, K. Holý, **M. Ješkovský**, A. Polášková, L. Baťková, O. Holá, Z. Kalaninová: Study of the radon emanation from building materials; 16th Conference of Czech and Slovak Physicists: Proceedings. - Hradec Králové : MAFY, 2009, s. 118-123 (Vyšlo aj ako poster - 16th Conference of Czech and Slovak Physicists: Proceedings of Abstracts . - [Hradec Králové] : [University of Hradec Králové], 2008 . - s. 43-44)
3. J. Šimon, J. Merešová, I. Sýkora, **M. Ješkovský**, K. Holý: Modelling of  $^7\text{Be}$  vertical concentration profiles and investigation of atmospheric mixing; 16th Conference of Czech and Slovak Physicists: Proceedings. - Hradec Králové : MAFY, 2009, s. 104-111 (Vyšlo aj ako poster - 16th Conference of Czech and Slovak Physicists: Proceedings of Abstracts . - [Hradec Králové] : [University of Hradec Králové], 2008 . - s. 22)

#### AFD – Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

1. **M. Ješkovský**, I. Sýkora, K. Holý: Examination of express determination of  $^{226}\text{Ra}$  in buildings materials using gamma spectrometry; Acta Facultatis Ecologiae, Vol. 14, Suppl. 1, 2006, s. 59-63
2. **M. Ješkovský**, K. Holý, I. Sýkora, J. Merešová, M. Müllerová, M. Bulko, A. Polášková: Concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  and its progeny  $^{210}\text{Pb}$  in lower atmosphere in Bratislava; Acta Facultatis Ecologiae, Vol. 16, Suppl. 1, 2007, s. 125-128
3. M. Florek, J. Merešová, K. Holý, **M. Ješkovský**, I. Sýkora, C. Burda, T. Melicherová, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov: Comparison of elemental concentrations in the atmosphere in Bratislava with other Slovakian and European

- sites; Contaminated Sites Bratislava 2008. Conference Proceedings, Vol. 2: Scientific Articles. - Ivanka pri Dunaji : Ekotoxikologické centrum Bratislava, 2008, s. 147-151 (Vyšlo aj ako abstrakt - Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics : XVII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei . - Dubna : JINR, 2009, s. 28)
4. **M. Ješkorský**, I. Sýkora, J. Merešová, K. Holý: Concentrations of  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in precipitations of Bratislava; Priemyselná toxikológia '08. Bratislava : Slovak University of Technology, 2008, s. 90-95
  5. **M. Ješkorský**, I. Sýkora, J. Merešová, K. Holý: Rádionuklidy  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  a  $^{40}\text{K}$  v atmosfére Bratislavy; 10. Banskoštiavnické dni : Zborník referátov. - Nitra : Environment, 2008, s. 73-78 (Vyšlo aj ako abstrakt - 10. Banskoštiavnické dni : Zborník anotácií . - Nitra : Environment, 2008, s. 7)
  6. I. Sýkora, P. P. Povinec, **M. Ješkorský**, D. Frekers, F. Šimkovic: Experimental search for neutrinoless double electron capture process of  $^{74}\text{Se}$ ; 17th Conference of Slovak Physicists Proceedings (CD ROM). - Bratislava : Slovak Physical Society, 2009, s. 73-74
  7. I. Sýkora, P. P. Povinec, V. Porubčan, **M. Ješkorský**: Analysis of Rumanova meteorite  $^{26}\text{Al}$  concentration using coincidence gamma-ray spectrometry; 17th Conference of Slovak Physicists Proceedings (CD ROM). - Bratislava : Slovak Physical Society, 2009, s. 159-160
  8. I. Sýkora, **M. Ješkorský**, K. Holý, A. Kováčik: Radioactivity of Bratislava atmosphere; 17th Conference of Slovak Physicists Proceedings (CD ROM). - Bratislava : Slovak Physical Society, 2009, s. 161-162

#### **AFG - Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií**

1. P. P. Povinec, I. Sýkora, R. Janík, S. Tokár, K. Holý, M. Chudý, **M. Ješkorský**: Low-level coincidence-anticoincidence gamma-ray spectrometry; Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry : Final Program and Abstracts, Marc VII. - La Grange Park : American Nuclear Society, 2006, s. 200
2. I. Sýkora, J. Merešová, **M. Ješkorský**, K. Holý: Variation of Bratislava atmosphere aerosols radioactivity; International Conference on Environmental Radioactivity : From Measurements and Assessments to Regulation. - Vienna : IAEA, 2007, s. 291-292
3. M. Florek, K. Holý, **M. Ješkorský**, J. Merešová, I. Sýkora, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov: Heavy metals in mosses collected in the surroundings of oil plant SLOVNAFT; Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics : XV International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei : Abstracts of the Seminar. - Dubna : JINR, 2007, s. 19
4. P. P. Povinec, M. Aoyama, K. Hirose, J. A. Sanchez-Cabeza, **M. Ješkorský**, I. Levy-Palomo, I. Sýkora: Preliminary spatial distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in South Indian Ocean waters; 2007 SHOTS Workshop. - Monaco : Marine Environmental Laboratories IAEA, 2007, Art. No. 1-4
5. **M. Ješkorský**, M. Müllerová, I. Sýkora, K. Holý, J. Merešová, A. Polášková: Meteorologické vplyvy na koncentráciu  $^{222}\text{Rn}$  a  $^{210}\text{Pb}$  v prízemnej vrstve atmosféry; 29. dny radiačnej ochrany : Sborník rozšírených abstraktů. - Praha : České vysoké učení technické, 2007, s. 321-324
6. P. P. Povinec, M. Aoyama, M. Fukasawa, K. Hirose, K. Komura, J. A. Sanchez-Cabeza, J. Gastaud, **M. Ješkorský**, I. Levy-Palomo, I. Sýkora: Profiles of  $^{137}\text{Cs}$  in South Indian Ocean water along the  $20^\circ\text{S}$  latitude-an evidence for accumulation

of pollutants in the subtropical gyre; 2008 SHOTS Workshop. - Tokyo : Central Research Institute of Electric Power Industry, 2008, Art. No. 1-1

#### **AFE - Abstrakty pozvaných príspevkov zo zahraničných konferencií**

1. M. V. Frontasyeva, Y. V. Aleksiyenak, E. Steinnes, M. Florek, K. Holý, **M. Ješkovský**, I. Sýkora, I. Ramatlhabe, A. Faanhof: Atmospheric deposition of radionuclides in Belarus and Slovakia: 20 years after Chernobyl; Neutron Spectroscopy, Nuclear Structure, Related Topics : XVII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei. - Dubna : JINR, 2009, s. 29

#### **AFI - Preprinty vedeckých prác vydané v zahraničných vydavateľstvách**

1. J. Merešová, M. Florek, K. Holý, **M. Ješkovský**, I. Sýkora, C. Burda, T. Melicherová, B. Maňková, J. Oszlányi, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov Air pollution studies in Slovakia using aerosol filters and biomonitoring technique; Dubna:JINR, 2009

#### **AGI - Správy o vyriešených vedeckovskumných úlohách**

1. M. Florek, K. Holý, I. Sýkora, **M. Ješkovský**: Ohodnotenie environmentálnej záťaže životného prostredia ťažkými kovmi, lantanoidmi a aktinoidmi v okolí závodu Slovnaft, a. s., Bratislava : [s.n.], 2007

#### **GAI - Výskumné štúdie a priebežné správy**

1. K. Holý, A. Šivo, I. Sýkora, M. Bulko, J. Šimon, O. Holá, A. Polášková, M. Richáriková, **M. Ješkovský**, M. Müllerová: Stanovenie objemových aktivít rádionuklidov v prízemnej vrstve atmosféry v širšom okolí areálu výstavby Cyklotrónového centra Slovenskej republiky v roku 2005: Výročná správa, Bratislava: FMFI UK KJFB, 2006, 17 strán
2. K. Holý, M. Chudý, A. Šivo, I. Sýkora, M. Bulko, O. Holá, A. Polášková, M. Richáriková, J. Merešová, J. Šimon, M. Müllerová, **M. Ješkovský**: Stanovenie objemových aktivít rádionuklidov v prízemnej vrstve atmosféry a vo vodách v lokalite výstavby Cyklotrónového centra Slovenskej republiky v roku 2006, Bratislava: FMFI UK KJFB, 2006, 30 strán
3. K. Holý, M. Chudý, A. Šivo, I. Sýkora, M. Bulko, O. Holá, A. Polášková, M. Richáriková, J. Merešová, J. Šimon, M. Müllerová, **M. Ješkovský**: Stanovenie objemových aktivít rádionuklidov v prízemnej vrstve atmosféry a vo vodách v lokalite výstavby Cyklotrónového centra Slovenskej republiky v roku 2007, Bratislava: FMFI UK KJFB, 2007, 42 strán
4. J. Merešová, I. Sýkora, **M. Ješkovský**, K. Holý: Variation of airborne radioactivity in the low-level atmosphere of Bratislava, 2. Zborník príspevkov štipendistov z projektu JPD 3 BA 2005/1-043, Bratislava, Knižničné a edičné centrum FMFI UK, 2008

## **5.2 Zoznam prednášok dizertanta na vedeckých podujatiach a konferenciách**

1. **M. Ješkovský**: Examination of express determination of <sup>226</sup>Ra in buildings materials using gamma spectrometry; VIII. Banskoštiavnické dni 2005 , Banská Štiavnica , 5.-7.10.2005, SK



2. **M. Jeřkovský:** Radioactivity of the atmospheric aerosol in Bratislava; Nuclear Physics Methods and Accelerators in Biology and Medicine : International Summer School , Prague , 8.-19.7.2007, EN
3. **M. Jeřkovský:** Concentrations of  $^{222}\text{Rn}$  and its progeny  $^{210}\text{Pb}$  in lower atmosphere in Bratislava; VIII. Banskoštiavnické dni 2007 , Banská Štiavnica , 3.-5.10.2007, SK
4. **M. Jeřkovský:** Meteorologické vplyvy na koncentráciu  $^{222}\text{Rn}$  a  $^{210}\text{Pb}$  v prízemnej vrstve atmosféry; Dny radiační ochrany 2007 , Kouty nad Desnou , 5.-9.11.2007, SK
5. **M. Jeřkovský:** Concentrations of  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in precipitations of Bratislava; Priemyselná toxikológia : Vedecká konferencia , Tatranská Štrba , 18.-20.6.2008, SK
6. **M. Jeřkovský:** Rádionuklidy  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  A  $^{40}\text{K}$  v atmosfére Bratislavy; Banskoštiavnické dni 2008 , Banská Štiavnica , 8.-10.10.2008, SK
7. **M. Jeřkovský:** Rádionuklidy  $^7\text{Be}$  a  $^{210}\text{Pb}$  ako stopovače vertikálnej výmeny vzdušných mäs v atmosfére, Dni radiační ochrany 2009, Kouty nad Desnou, 2.11.-6.11.2009, SK

### 5.3 Zoznam zistených citácií

1. J. Pey, X. Querol, A. Alastuey: Variations of levels and composition of  $\text{PM}_{10}$  and  $\text{PM}_{2.5}$  at an insular site in the Western Mediterranean; Atmospheric Research 94 (2), 2009, s. 285-299 (citovaná práca: J. Merešová, M. Florek, K. Holý, **M. Jeřkovský**, I. Sýkora, M. V. Frontasyeva, S. S. Pavlov, M. Bujdoš: Evaluation of elemental content in air-borne particulate matter in low-level atmosphere of Bratislava; Atmospheric Environment, Vol. 42, No. 34, 2008, s. 8079-8085)

## 6. Summary

The methods of background reduction in germanium semiconductor detectors was investigated. Simple background shield with 10 cm of lead and 2 cm of copper was made for reduction of main part of background radiation, which is made mainly by cosmic ray and radionuclides in surroundings of detector. Background formed by cosmic rays was reduced by factor 10 with detector placed in background shield. Another passive reduction of cosmic ray background is rather difficult in ground level laboratory. For better results should be used antic cosmic shield i.e. with plastic scintillator. Placing plastic scintillator with 5 cm height on the top of the shield was suppressed background by factor 5, for better reduction should be used  $2\pi$  geometry. Background from daughter decay products of  $^{222}\text{Rn}$  in large shield, with big free air volume, was reduced by placing copper shield with 10 cm depth around the detector. The reduction of background component from daughters  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{208}\text{Tl}$  using copper shield was suppressed comparable with reduction by hermetization of the large shield.

This low background detection system was used for analysis of meteorite „Rumanova“. Average values of activity concentration was estimated as 0,21 Bq/kg for  $^{226}\text{Ra}$ , 0,73 Bq/kg for  $^{137}\text{Cs}$ , 18,2 Bq/kg for  $^{40}\text{K}$ . In the meteorite sample was found also radionuclide  $^{26}\text{Al}$ , that is produced by interaction of cosmic rays with atoms of meteorite and the average activity concentration was estimated as 0,85 Bq/kg. Approximately 1,5 cm thick layer of meteorite was separated from meteorite for the allocation of  $^{26}\text{Al}$  concentration. This layer was divided into small regular pieces. Detection limit for the pair of pieces was 0,38 Bq/kg for  $^{26}\text{Al}$ . decreasing trend in activity concentration of  $^{26}\text{Al}$ , with direction to the centre of the meteorite, was observed despite statistical fluctuations.

For the purpose of determination half-life of neutrinoless double electron capture in  $^{74}\text{Se}$ , the sample from natural selenium was analyzed. Necessary values for half-life calculation were estimated and sample was measured more than 100 days independent with single low-level HPGe detector and with HPGe+NaI(Tl) in coincidence. Detection limit for 595,9 keV gamma rays of  $^{74}\text{Ge}$  was estimated as  $8,14 \times 10^{-6}$  cps/kg and for 608,4 keV as  $7,62 \times 10^{-6}$  cps/kg. Attained limit for half-life of neutrinoless double electron capture in  $^{74}\text{Se}$  was about  $10^{19}$  years.

In surface laboratory with low-level detection system, that was used for analysis of  $^{137}\text{Cs}$  in sea water samples from Indian ocean. The samples were collected during Beagle expedition, which was part of SHOTS project. Activity of  $^{137}\text{Cs}$  in surface water were between 0,054-0,117 Bq. Gammametric method for analysis of this samples was found to be convenient to the depth of 500 m, samples from deeper water were below detection limit of used detection system.

Except samples with very low activity were also analyzed environmental samples from atmosphere, like aerosols, precipitations and mosses. In surface level of Bratislava atmosphere were from January 2004 to May 2009 collected aerosol samples and measured concentrations of  $^7\text{Be}$  (average 2,41 mBq/m<sup>3</sup>),  $^{210}\text{Pb}$  (average 0,72 mBq/m<sup>3</sup>),  $^{137}\text{Cs}$  (average

0,51  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ) and  $^{40}\text{K}$  (average 4,94  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$ ). In concentrations of  $^7\text{Be}$  were observed seasonal variation with maximum in spring and summer and minimum in autumn and winter. This variations is caused by exchange of air masses between stratosphere and troposphere, which suggest also correlation coefficients between concentrations of  $^7\text{Be}$ , temperature and tropopause height. Concentrations of radionuclides  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  are mainly affected by inverse conditions in winter. Correlation of  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{40}\text{K}$  concentration with dust nuisance implies ist origin, when this radionuclides comes to atmosphere mostly from surface.

The procedure for precipitation processing was established, with no evidence of radionuclide losses. From june 2005 to may 2009 were collected and prepared monthly precipitation samples, that were gammaspectrometric analyzed. Concentration and deposition of  $^7\text{Be}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in precipitation were calculated. Between concentrations of radionuclides and meteorological factors wasn't observated any significant correlation. Correlation between deposition of  $^7\text{Be}$  and  $^{210}\text{Pb}$  with precipitation volume was found out.

Experimental data of  $^7\text{Be}$  deposition in precipitations and  $^7\text{Be}$  concentration in atmospheric aerosols were used for calculation of coefficients of turbulent diffusion and washout coefficients from one dimensional model of vertical distribution. These coefficients were used for simulation of concentration distribution of  $^7\text{Be}$  in the atmosphere to the altitude of 30 km, while physical processes as gravitational sedimentation, washout, rainout, radioactive decay and vertical mixing was considered.

In coloboration with JINR Dubna were analyzed concentration of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in mosses from Belarus. Concentration of  $^{210}\text{Pb}$  varied about 145 Bq/kg and values didn't showed any significant polution. Diferent situation were observed in the case of  $^{137}\text{Cs}$  concentrations, that showed in two places 20-100 times higher concentrations (10-15 kBq/kg) as usual.