

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

## ПРОСТОРНА ДИСТРИБУЦИЈА ПРИРОДНИХ РАДИОНУКЛИДА МЕРЕНА У СРБИЈИ УПОТРЕБОМ БИОМОНИТОРА

Миодраг КРМАР<sup>1</sup>, Драган РАДНОВИЋ<sup>2</sup>, Јан ХАНСМАН<sup>1</sup>, Минучер МЕСАРОШ<sup>3</sup>, Chrisoula ВЕТСОУ<sup>4</sup>, Татјана ЈАКШИЋ<sup>5</sup> и Предраг ВАСИЋ<sup>5</sup>

- 1) Универзитет у Новом Саду, Департман за физику, Нови Сад, Србија, [krmar@df.uns.ac.rs](mailto:krmar@df.uns.ac.rs)
- 2) Универзитет у Новом Саду, Департман за биологију и екологију, Нови Сад, Србија, [dragan.radnovic@dbe.uns.ac.rs](mailto:dragan.radnovic@dbe.uns.ac.rs)
- 3) Универзитет у Новом Саду, Департман за географију, туризам и хотелијерство, Нови Сад, Србија, [minucer.mesaros@dgt.uns.ac.rs](mailto:minucer.mesaros@dgt.uns.ac.rs)
- 4) Aristotle University of Thessaloniki, Physics Department, Thessaloniki, Greece, [chbetsou@physics.auth.gr](mailto:chbetsou@physics.auth.gr)
- 5) Универзитет у Приштини, Природно-математички факултет, Приштина, Србија, [tatjana.jaksic@pr.ac.rs](mailto:tatjana.jaksic@pr.ac.rs), [predrag.vasic@pr.ac.rs](mailto:predrag.vasic@pr.ac.rs)

### САДРЖАЈ

Активност природних радионуклида је мерена у 217 узорака маховина *Nurpiti cypressiforme* које су сакупљене крајем лета 2015. године на комплетној територији Републике Србије са циљем да се установи просторна дистрибуција радионуклида. Мерења су вршена  $\text{NaI}$  детектором облика јаме. Посебна пажња је посвећена  $^7\text{Be}$  који се већ деценијама користи као природни обележивач у изучавању транспортних процеса у атмосфери. Добијено је да је дистрибуција атмосферске депозиције  $^7\text{Be}$  неуниформна и да се најмања и највећа измерена вредност разликују девет пута. Просторна дистрибуција  $^7\text{Be}$  не показује корелацију са рељефом терена за разлику од  $^{137}\text{Cs}$  кога има више у планинским и шумовитим пределима. Присутност радионуклида из урановог и торјумовог низа у доброј мери зависи од структуре и састава тла на локацијама са којих су узимани узорци.

### 1. УВОД

Космогени радионуклид  $^7\text{Be}$  се већ деценијама употребљава као природни обележивач у изучавању транспортних процеса у атмосфери [1,2]. До стварања овог радионуклида долази у интеракцијама космичког зрачења са језгрима кисеоника и азота у доњим слојевима стратосфере и вишој тропосфери. Непосредно након настанка  $^7\text{Be}$  се везује за честице аеросола и на тај начин учествује у атмосферским транспортним процесима. Маховине се као биомонитори преко педесет година користе за мапирање просторне депозиције тешких метала [3] али је до сада учињено само неколико пионирских покушаја [4] да се овом техником проучи просторна дистрибуција радионуклида који се депонују из атмосфере на тло. Осим  $^7\text{Be}$  у маховинама се може наћи и  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ , као и чланови низова  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$  [5]. За разлику од  $^7\text{Be}$  који до маховина може стићи искључиво преко аеросола сувом и влажном депозицијом, остали радионуклиди у ткивима маховина бивају унесени растварањем прашине. То се у великој мери односи и на  $^{137}\text{Cs}$  коме је ресуспензија из тла доминантан механизам транспорта [6]. С обзиром на то да до сада није мерена просторна дистрибуција концентрације активности  $^7\text{Be}$

у биоиндикаторима на великој области, ово је први покушај да се установи до које је мере она изотропна. Будући да остали поменути радионуклиди до маховина доспевају путем суве депозиције прашине, занимљиво је погледати на који начин њихове концентрације у маховинама осликавају састав и структуру тла.

### 2. УЗОРКОВАЊЕ, МЕРЕЊЕ И ОБРАДА ПОДАТАКА

Крајем лета 2015. године, 217 узорака маховина је сакупљено на територији Републике Србије са циљем да се установи просторна дистрибуција свих мерљивих радионуклида. Узорковање је вршено на отвореним површинама довољно удаљеним од дрвећа и осталих препрека које би могле утицати на вертикални транспорт аеросола. Узимано је до десетак мањих количина маховина *Hypnum Cupressiforme* на једној локацији величине 50 x 50 m<sup>2</sup> да би се од њих формирао коначан узорак. Водило се рачуна да тачке узорковања буду равномерно распоређене на целој територији Републике Србије, што се може видети на сликама 4 и 5.

Из узорака су одстрањене механичке нечистоће да би након тога били сушени до константне масе на 104 °C. Суви узорци су паковани у пластичне цилиндри (пречник 69 mm, висина 62 mm). Маса ових сувих узорака маховина је била до 60 грама. Непосредно након паковања, узорци су мерени у NaI детектору облика јаме. Најкраћи период од момента узорковања до мерења био је мањи од две недеље. Дужина мерења је била 5000 s за све узорке. У истој дужини трајања је мерен и фон, да би тај спектар био одузиман од спектра добијеног мерењем неколико узорака. Калибрација NaI детектора је извршена на тај начин што је одабрано 20 узорака из другог сета намењеног сличној анализи па су им гама спектри снимљени на High Purity германијумском (HPGe) детектору релативне ефикасности 32%, као и NaI детектору облика јаме. Ефикасност HPGe детектора је установљена уз помоћ референтних материјала IAEA-327, IAEA-330 и IAEA-447 сличног састава, што је омогућило да се добију апсолутне вредности активности посматраних радионуклида у одабраним узорцима. Ови су узорци послужили као интерни стандарди да се калибрише NaI детектор. Посебна је пажња посвећена избору узорака који су мерени на оба детектора. Наиме, неопходно је било да се избором покрије што је могуће већи опсег величина мерених концентрација активности. У свим од 217 спектра је била видљива гама линија <sup>7</sup>Be од 477 keV, као и гама линија <sup>40</sup>K од 1460 keV. Присуство <sup>137</sup>Cs није детектовано у свим узорцима. У анализи су употребљене и следеће гама линије видљиве у готово свим спектрима: 239 keV (<sup>212</sup>Pb), 295 keV и 352 keV (<sup>214</sup>Pb), 609 keV, 1120 keV, 1764 keV и 2204 keV (<sup>214</sup>Bi). Интензитети одабраних гама линија у спектрима (од којих је одузет фонски спектар) су одређени ручно уз помоћ софтвера GENIE-2000. С обзиром на то да је императив био да се измери присуство <sup>7</sup>Be (период полураспада 53 дана) у сакупљеним узорцима, није било времена да се чека радиоактивна равнотежа пост-радонских чланова урановог низа, тако да се добијени резултати концентрација активности односе на <sup>214</sup>Pb и <sup>214</sup>Bi. Уз претпоставку да је у низу <sup>232</sup>Th радиоактивна равнотежа у доброј мери очувана, активности добијене мерењем гама линије <sup>212</sup>Pb се могу генерализовати на читав низ. Период времена између узорковања и мерења је био довољно дуг да се сав гасовити <sup>222</sup>Rn који би се налазио у узорку у потпуности распадне. Добијене вредности концентрација активности су анализирани помоћу програмског пакета ArcGIS 10. За процену просторне дистрибуције коришћена је метода интерпола-

ције инверзног растојања (IDW – Inverse Distance Weight). За интерполацију су коришћени следећи параметри који су дали резултате са најмањим вредностима средње квадратне грешке: пречник области узорковања – 1 степен, максимални број суседних вредности – 15, минималан број суседних вредности – 10, експонент удаљености – 2. Интерполирана површ је приказана на тематским картама методом боја унутар изо-линија које су сврстане у неколико категорија. Интервали категорија су одређени према учесталости појаве вредности, да би локалне варијације мањег интензитета биле што уочљивије. Захваљујући равномерном просторном распореду тачака узорковања и коришћењу већег броја блиских тачака које су узете у обзир приликом интерполације, може се сматрати да је добијен задовољавајући интерполирани модел.

### 3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Опсези детектованих вредности концентрација активности посматраних радионуклида, њихове средње вредности као и медијане су дати у табели 1. Сличне вредности су добијене и од стране других аутора [5-7]. Из табеле се може видети да се најмања и највећа вредност концентрације активности  ${}^7\text{Be}$  међусобно разликују за фактор девет. С обзиром на то да се  ${}^7\text{Be}$  ствара у вишим слојевима атмосфере готово униформно у области величине Србије, ваздушна струјања као и поједини локални фактори имају знатан утицај на депозицију овог радионуклида [8]. Мала разлика између средње вредности и медијане указују да је дистрибуција  ${}^7\text{Be}$  највероватније нормална. У 83 узорка (38%) није примећен садржај  ${}^{137}\text{Cs}$  који превазилази праг детекције. Но у појединим узорцима детектована је прилично висока концентрација овог радионуклида.

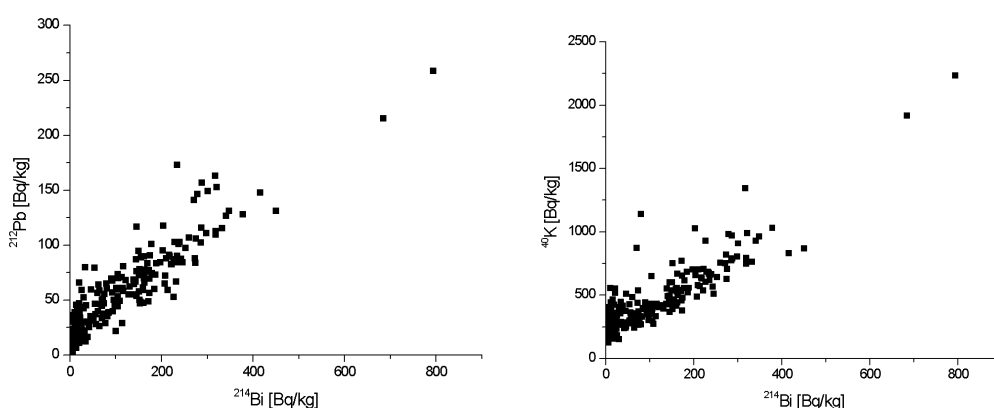
Из табеле 1 се може видети да међусобни однос медијана  ${}^{40}\text{K}$ ,  ${}^{212}\text{Pb}$  и  ${}^{214}\text{Bi}$  одражава вредности концентрација активности  ${}^{40}\text{K}$ ,  ${}^{232}\text{Th}$  и  ${}^{238}\text{U}$  у земљишту мереном на неким деловима територије Републике Србије [9]. Ова чињеница указује на пасивни захват ових радионуклида путем суве депозиције. На слици 1 се може видети да концентрације активности три радионуклида, који су карактеристични за земљиште, показују добре корелације. Линеарни фит за  ${}^{214}\text{Bi}$  и  ${}^{40}\text{K}$  је дао вредност  $r = 0,88$ , док је за  ${}^{214}\text{Bi}$  и  ${}^{212}\text{Pb}$  та вредност  $r = 0,91$ . Између  ${}^7\text{Be}$  и радионуклида карактеристичних за земљиште није уочена корелација.

**Табела 1. Опсег измерених концентрација активности, средње вредности и медијане (у загради иза средње вредности су дате стандардне девијације)**

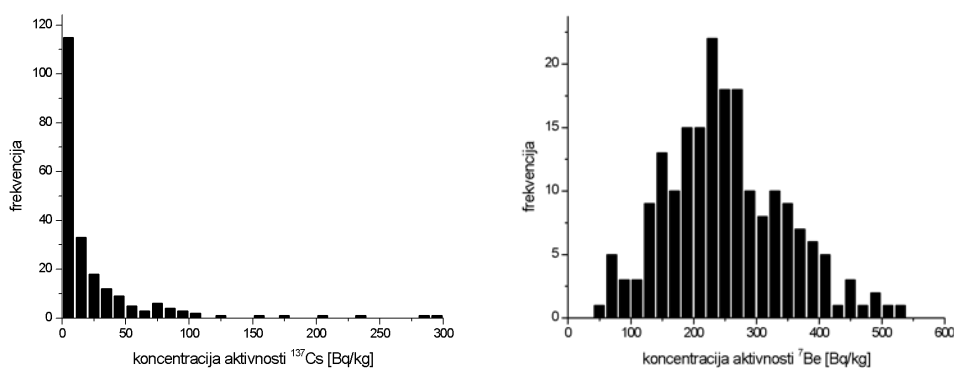
радионуклид	опсег [Bq/kg]	средња вредност [Bq/kg]	медијана [Bq/kg]
${}^7\text{Be}$	60 - 538	251(94)	244
${}^{40}\text{K}$	128 - 2235	465(268)	400
${}^{137}\text{Cs}$	0 - 296	23(43)	8
${}^{212}\text{Pb}$	3 - 259	58(40)	50
${}^{214}\text{Bi}$	0 - 793	114(116)	79

Веома је занимљиво погледати и како изгледају дистрибуције измерених концентрација активности посматраних радионуклида. Дистрибуција свих радионуклида осим  ${}^7\text{Be}$  изразито лог-нормална. Очигледан пример лог-нормалне

дистрибуције се уочава код  $^{137}\text{Cs}$ . На слици 2 је приказана дистрибуција концентрације активности  $^{137}\text{Cs}$ , као и релативно широка, али ипак нормална дистрибуција мерених вредности концентрације активности  $^7\text{Be}$ . Суштинска разлика између ове две дистрибуције се огледа у томе да се по нормалној дистрибуцији распоређују мерене вредности које су резултат збира дејстава фактора који утичу на статистички растур вредности, док се лог-нормална дистрибуција добија у случајевима када је вредност неке величине зависна од производа дејстава. У конкретном случају се то може објаснити чињеницом да на вредности концентрација краткоживећег  $^7\text{Be}$  делује истовремено неколико фактора, док на пример на радионуклиде карактеристичне за земљиште пресудан утицај има геолошка дистрибуција, па затим низ фактора типа ерозије, растварања, транспорта, итд.



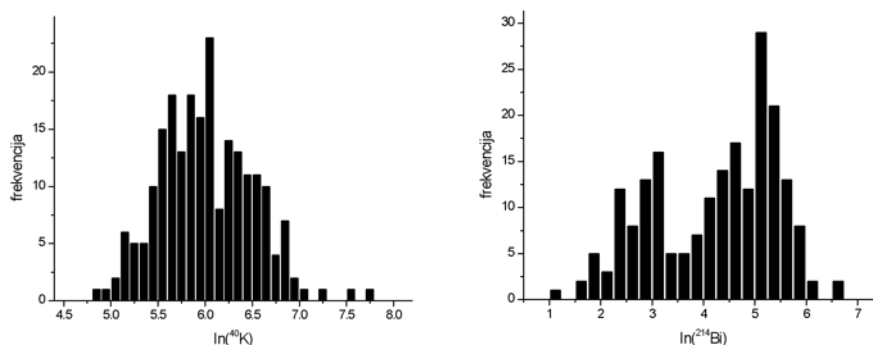
Слика 1. Корелације мерених вредности концентрација активности одабраних радионуклида



Слика 2. Фреквенције појављивања мерених вредности концентрација активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^7\text{Be}$

Слика 3 показује дистрибуције логаритма измерених концентрација активности  $^{40}\text{K}$  и  $^{214}\text{Bi}$ . Може се видети да је логаритам концентрација активности  $^{40}\text{K}$  распоређен по готово правилној нормалној дистрибуцији. Вредности логаритма мерених концентрација активности  $^{214}\text{Bi}$  се групишу у две нормалне дистрибуције које се делимично преклапају. У мањој дистрибуцији се налазе сви они узорци којима је вредност концентрације активности  $^{214}\text{Bi}$  мања од  $33 \text{ Bq/kg}$ , док су све

више вредности груписане у другу дистрибуцију нормалног облика. Из претходно реченог следи да се на територији са које су узорци узимани налазе две одељене групе узорака, са нижом и вишом концентрацијом  $^{214}\text{Bi}$  и да је лог-нормална дистрибуција карактеристична за обе групе узорака.

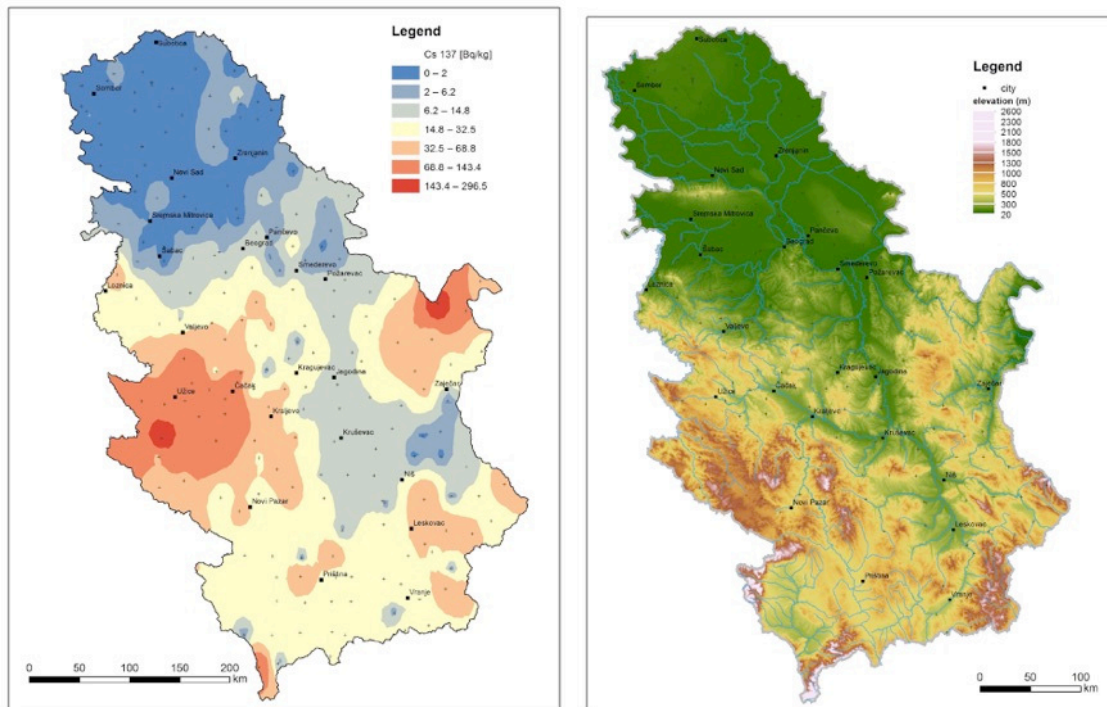


**Слика 3. Фреквенције појављивања мерених вредности логаритама концентрација активности  $^{40}\text{K}$  и  $^{214}\text{Bi}$**

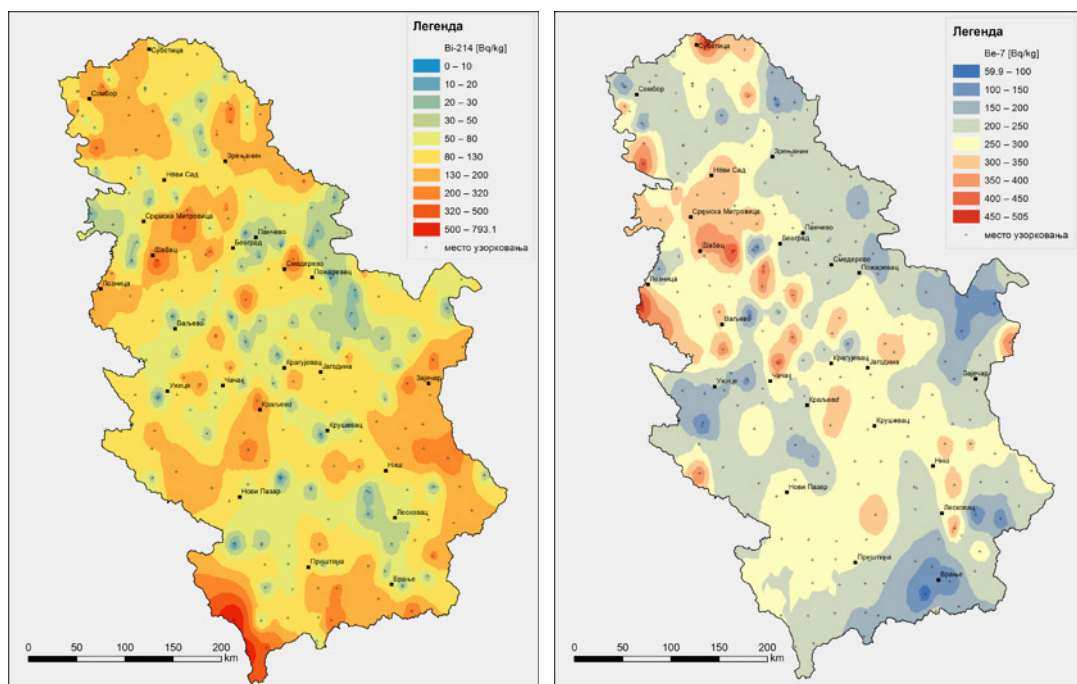
На слици 4 приказана је просторна дистрибуција мерених вредности концентрација активности  $^{137}\text{Cs}$ , паралелно са мапом рељефа Републике Србије одакле се види да су најниже концентрације  $^{137}\text{Cs}$  измерене на северу, у равничарским пределима, где је земљиште у потпуности култивисано. Тај се тренд уочава и у нижим и обрађиваним пределима у долини реке Мораве и Тимока. Највише вредности концентрација активности  $^{137}\text{Cs}$  су измерене у узорцима који су покупљени у планинским крајевима јужно од Ужица као и у планинама у околини Ђердапа. Једно од могућих објашњења би могло бити и то да је обрађивана земља у већој мери била изложена утицају падавина, које су могле добрим делом и да исперу адсорбовани цезијум. Такође се орањем преврће земљиште што доводи до мешања и смањења концентрације  $^{137}\text{Cs}$  у површинском слоју са кога прашина доспева до маховина. Постоји могућност да се у планинским пределима где се земљиште не меша орањем, нити се уклања биљни материјал,  $^{137}\text{Cs}$  остаје на површини што даје већу могућност да се ресуспензијом транспортује до маховина.

На слици 5 приказана је просторна дистрибуција измерених концентрација активности  $^{214}\text{Bi}$  и  $^7\text{Be}$ . Највише концентрације активности  $^{214}\text{Bi}$  детектоване су у маховинама узоркованим непосредно уз границу са Албанијом. На територији Војводине где је све земљиште култивисано без сталног травнатог покривача па је самим тим и миграција прашине знатно вероватнија него у другим деловима Србије су детектоване више вредности концентрација активности  $^{214}\text{Bi}$ . У обе ове области су детектоване и повишене вредности  $^{40}\text{K}$ , тако да се може сматрати да су ту маховине биле изложене прашини у већој мери него на другим локацијама. Трећа област са повишеним концентрацијама  $^{214}\text{Bi}$  у маховинама се уочава на истоку земље, непосредно уз границу са Бугарском, у регији где тло поседује повишену концентрацију уранијума. Једини рудник уранијума у Србији је био у тој области, а познато је да се у водама из околине Ниша налазе повишене концентрације радона [10].





Слика 4. Просторна дистрибуција мерених концентрација активности  $^{137}\text{Cs}$  и рељефна мапа Србије



Слика 5. Просторна дистрибуција мерених вредности концентрација активности  $^{214}\text{Bi}$  и  $^7\text{Be}$

Просторна дистрибуција  $^7\text{Be}$  такође показује неуниформност. Може се видети да се локације на којима су узорковане маховине са највишим и најнижим вредностима налазе на малом међусобном растојању, као на пример на линији између Шапца и Београда. Дистрибуција  $^7\text{Be}$  се не може довести у везу са рељефом или расподелом обрадивог земљишта или вегетације. Највероватније велики број локалних фактора утиче на ову дистрибуцију. Повишена концентрација мерених активности  $^7\text{Be}$  по дијагоналном правцу од југоистока ка северозападу може да буде и последица атмосферских кретања или можда продора ваздушних маса из виших слојева атмосфере (стратосферске интрузије), што су фактори за које је показано да имају утицај на концентрацију радионуклида у ваздуху [11].

#### 4. ЗАКЉУЧАК

У гама спектрима узорака маховина мереним NaI детектором облика јаме се уочава гама линија  $^7\text{Be}$  и  $^{40}\text{K}$ , као и гама линије радионуклида чланова низа  $^{232}\text{Th}$  и  $^{238}\text{U}$ . Гама линија  $^{137}\text{Cs}$  је примећена код нешто мало више од пола узорака. Међусобни односи концентрација активности  $^{40}\text{K}$ ,  $^{212}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$  су слични као и одговарајући односи у земљишту, што је и разумљиво пошто ови радионуклиди доспевају до маховина у облику прашине. Из тог разлога дистрибуција ових радионуклида у маховинама може да се доведе у везу са структуром тла на коме расту. Просторна дистрибуција  $^{137}\text{Cs}$  би могла да се доведе у везу са распоредом обрадивог земљишта и рељефом. Мерене вредности концентрација активности  $^7\text{Be}$  се крећу у веома широком опсегу, мада се може сматрати да је продукција овог радионуклида константна изнад целе површине Србије. Велика неуниформност просторне дистрибуције  $^7\text{Be}$  указује на пресудан утицај локалних фактора, а сама дистрибуција се не може довести у везу са рељефом.

#### 5. ЗАХВАЛНИЦА

Овај је рад реализован као део пројеката "Истраживање климатских промена и њиховог утицаја на животну средину – праћење утицаја, адаптација и ублажавање" (43007) и "Биосенсинг технологије и глобални системи за континуирано и интегрисано управљање екосистемима" (43002) финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије као и пројекта "Геотрансформација простора Војводине у функцији регионалног развоја" 142-451-2511/2017-01 Покрајинског секретаријата за високо образовање и научно-истраживачку делатност.

#### 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Vecchi, G. Valli.  $^7\text{Be}$  in surface air: a natural atmospheric tracer. *J. Aerosol Sci.* 28, 1997, 895-900
- [2] M.A. Hernandez-Ceballos, G. Cineli, M. Marin Ferrer, T. Tolefsen, L. De Felice, E. Nweke, P.V. Tognoli, S. Vanzo, M. De Cort. A climatology of  $^7\text{Be}$  in surface air in European Union. *J. Environ. Radioact.* 141, 2015, 62-70
- [3] A. Buse, D. Noris, H. Harmens, P. Buker, H. Ashenden, G. Millis. Heavy Metals in European Mosses: 2000/2001 Survey. UNECE ICP Vegetation

- [4] M. Krmar, D. Radnović, S. Rakić, M. Matavulj. Possible use of terrestrial mosses in detection of atmospheric deposition of  $^7\text{Be}$  over large areas. *J. Environ. Radioact.* 93, 2007, 53-61
- [5] M. Dowdall, J.P. Gwynn, C. Moran, J. O’Dea, C. Davids, B. Lind. Uptake of radionuclides by vegetation at high Arctic location. *Environmental Pollution* 133, 2005, 327–332.
- [6] R. Delfanti, C. Papucci, C. Benco. Mosses as indicators of radioactivity deposition around a coal-fired power station. *The Science of the Total Environment* 227, 1999, 49 – 56.
- [7] J.M. Godoy, L.A. Schuch, D.J.R. Nordemann, V.R.G. Reis, M. Ramalho, J.C. Reico, R.R.A. Brito, M.A. Olech.  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226,228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{40}\text{K}$  concentrations in Antarctic soil, sediment and selected moss and lichen samples. *J. Environ. Radioact.* 41, 1998, 33 – 45.
- [8] R. Vecch, G. Valli.  $^7\text{Be}$  in surface air: a natural atmospheric tracer. *J. Aerosol Sci.* 28(5), 1997, 895–900.
- [9] I. Bikit, J. Slivka, Lj. Čonkić, M. Krmar, M. Vesković, N. Žikić-Todorović, E. Varga, S.Čurčić, D. Mrđa. Radioactivity of the soil in Vojvodina, *J. Environ. Radioact.* 78, 2005, 11-19
- [10] J. Nikolov, N. Todorović, T. Petrović Pantić, S. Forkapić, D. Mrđa, I. Bikit, M. Krmar, M. Vesković. Exposure to radon in the radon spa Niška Banja, Serbia. *Rad. Meas.* 47, 2012, 443-450
- [11] M. Baskaran. Po-210 and Pb-210 as atmospheric tracers and global atmospheric Pb-210 fallout: a review. *J. Environ. Radioact.* 102, 2011, 500 - 513.

**SPATIAL DISTRIBUTION OF NATURAL RADIONUCLIDES  
MEASURED BY THE USE OF MOSSES**

**Miodrag KRMAR<sup>1</sup>, Dragan RADNOVIC<sup>2</sup>, Jan HANSMAN<sup>1</sup>, Minucer  
MESAROS<sup>3</sup>, Chrisoula BETSOU<sup>4</sup>, Tatjana JAKSIC<sup>5</sup> and Predrag VASIC<sup>5</sup>**

1) University Novi Sad, Department of Physics, Novi Sad, Serbia,  
krmar@df.uns.ac.rs

2) University Novi Sad, Department of Biology and Ecology, Novi Sad, Serbia,  
dragan.radnovic@dbe.uns.ac.rs

3) University Novi Sad, Department of Geography, Tourism and Hotel Management,  
Novi Sad, Serbia, minucer.mesaros@dgt.uns.ac.rs

4) Aristotle University of Thessaloniki, Physics Department, Thessaloniki, Greece,  
chbetsou@physics.auth.gr

5) University Pristina, Faculty of Science, Pristina, Serbia, tatjana.jaksic@pr.ac.rs,  
predrag.vasic@pr.ac.rs

**ABSTRACT**

*The activities of natural radionuclide were measured in 217 moss samples that were collected at the entire territory of Serbia. Measurements were taken by well-type NaI detector in order to establish the spatial distribution of radionuclides. Special attention was paid to <sup>7</sup>Be. It is obtained that the distribution of atmospheric deposition of <sup>7</sup>Be is non-uniform; the minimum and maximum measured value differs nine times. No coincidence of the spatial distribution of <sup>7</sup>Be with the relief was observed. It was noticed that higher values of <sup>137</sup>Cs were detected in mountain and wooded areas. The presence of radionuclides from the Uranium and Thorium chains in the large extent depends on the structure of the soil at the sampling site.*