



ЗБОРНИК РАДОВА



XXX СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

2. - 4. октобар 2019. године
Хотел “Дивчибаре”, Дивчибаре, Србија

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



ЗБОРНИК РАДОВА

**XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
Дивчибаре
2- 4. октобар 2019. године**

**Београд
2019. године**

**RADIATION PROTECTION SOCIETY OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

**XXX SYMPOSIUM RPSSM
Divčibare
2nd - 4th October 2019**

**Belgrade
2019**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ
2-4.10.2019.

Издавачи:

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

За извршног издавача:

Проф. др Снежана Пајовић, научни саветник
в.д. директора Института за нуклеарне науке Винча

Уредници:

Др Михајло Јовић
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-154-2

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Михајло Јовић, Гордана Пантелић

Електронско издање:

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

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2019.

UTICAJ KOSMIČKOG ZRAČENJA NA KONCENTRACIJU ${}^7\text{Be}$ U UKUPNOM DEPOZITU

Milica RAJAČIĆ, Dragana TODORVIĆ, Jelena KRNETA NIKOLIĆ,
Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Gordana PANTELIĆ,
Ivana VUKANAC i Mirjana RADENKOVIĆ

Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, milica100@vinca.rs, beba@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs, natasas@vinca.rs, marijam@vinca.rs, pantelic@vinca.rs, vukanac@vinca.rs, mirar@vinca.rs

SADRŽAJ

Berilijum-7 (${}^7\text{Be}$) je radioaktivni berilijumov izotop koji nastaje u interakcijama kosmičkog zračenja sa atomima atmosfere. Intenzitet kosmičkog zračenja usled nehomogenosti magnetnog polja Zemlje, ispoljava prostornu distribuciju, dok je vremenska distribucija posledica vremenski promenljivog magnetnog polja Sunca. Cilj ovog istraživanja je da se izvrši analiza uticaja vremenske promene intenziteta kosmičkog zračenja na koncentraciju ${}^7\text{Be}$ u kompozitnim mesečnim uzorcima ukupnog (suvog i mokrog) depozita. Uzorci depozita su sakupljeni u Institutu za nuklearne nauke "Vinča", a sva merenja koncentracije ${}^7\text{Be}$ su urađena u Laboratoriji za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine. Rezultati merenja uzoraka prikupljenih u periodu od 1994. do 2016. su korelirani sa mesečnim podacima o intenzitetu kosmičkog zračenja iz istog perioda, preuzetim sa sajta stanice "Apatity", Polarnog geofizičkog instituta, Ruske akademije nauka. Ova stanica poseduje neutronske monitor "Standard 18-NM-64" lociran na nadmorskoj visini od 181 m sa geografskim koordinatama od N: 67,57° i E: 33,39°. Takođe, rezultati merenja oba posmatrana parametra su grupisani po godinama i mesecima u godini, a zatim su određeni njihovi godišnji i mesečni indeksi. Nakon toga, za ispitane parametre su međusobno korelirani kako godišnji, tako i njihovi mesečni indeksi. Dobijeni rezultati ukazuju da fluktuacije kosmičkog zračenja utiču samo na varijacije godišnjih indeksa koncentracije ${}^7\text{Be}$ u ukupnom depozitu. Koeficijent determinacije godišnjih indeksa posmatranih parametara govori da se moduliranošću kosmičkog zračenja može objasniti 33% varijacije godišnjih vrednosti koncentracije ${}^7\text{Be}$ u depozitu.

1. Uvod

Primarno kosmičko zračenje (deo koji pogodi atmosferu) podrazumeva čestično i elektromagnetno zračenje koje potiče iz kosmosa. Ono se najvećim delom sastoji od visokoenergetskih čestica, od kojih su najzastupljenija jonizovana jezgra vodonika (oko 85%) i helijuma (oko 12%) [1].

Na osnovu svog porekla, čestice primarnog kosmičkog zračenja se mogu podeliti u dve veće grupe: solarne (potiču sa Sunca) i galaktičke (vode poreklo iz naše i drugih galaksija). Čestice koje nastaju interakcijom primarnog dela kosmičkog zračenja sa česticama atmosfere, spadaju u sekundarno kosmičko zračenje.

Pokazalo se da dnevne, kao ni godišnje varijacije intenziteta kosmičkog zračenja uglavnom nisu veće od 10% što navodi na mišljenje da Sunce, kao izvor kosmičkog zračenja, nema veliki uticaj na Zemlji [2, 3]. Međutim, 1950-ih godina, Skot Forbuš (Scott E. Forbush) je uočio da kosmičko zračenje na Zemlji varira inverzno intenzitetu Sunčeve aktivnosti [4]. Naime, prodoru čestica primarnog kosmičkog zračenja do Zemlje se najpre suprotstavlja Sunčevo, a zatim i Zemljino magnetno polje. Dejstvom Lorencove sile, ova polja skreću naelektrisane čestice, smanjuju njihov fluks i na taj način predstavljaju zaštitu od kosmičkog zračenja. U periodima povećane Sunčeve aktivnosti, njegovo magnetno polje je jače, što povećava zaštitu Sunčevog sistema od galaktičkog kosmičkog zračenja, dovodeći do smanjenja njegovog intenziteta na Zemlji za oko 30% [2]. Zaključuje se da, iako solarni deo nema veliki udeo u ukupnom fluksu kosmičkog zračenja, Sunce ipak igra приметnu ulogu u zaštiti Zemlje od galaktičkog zračenja.

Deo interakcije kosmičkog zračenja sa jezgrima zastupljenim u gornjim slojevima atmosfere utiče na radioaktivnost atmosfere proizvodeći kosmogene radionuklide. Kratkoživeći deo ove grupe radionuklida se raspadne pre nego što stigne do prizemnih slojeva, dok dugoživeći radionuklidi mogu da stignu do površine Zemlje, da se zadrže u biosferi i tako učestvuju u njenim procesima (kruženje vode u prirodi, lanac ishrane, kretanje vazдушnih masa i dr.).

Nakon formiranja, kosmogeni radionuklidi se brzo vezuju za submikronske aerosolne čestice [5]. Ukoliko aerosoli različitim mehanizmima transporta kroz atmosferu dospeju do površine Zemlje, onda životinje i ljudi ove radionuklide mogu da usvoje putem inhalacije ili ingestije [5].

Kako je proizvodnja kosmogenih izotopa u Zemljinoj atmosferi direktna posledica prisustva kosmičkog zračenja, u ovom radu je u uzorcima ukupnog depozita ispitano nivo linearne koreliranosti koncentracije berilijumovog izotopa ^7Be , kao jednog od predstavnika kosmogenih radionuklida, sa promenom intenziteta kosmičkog zračenja.

2. Metoda merenja

U Institutu "Vinča" (N: 44° 45' 32,3"; E: 20° 35' 59,5"; 95 m nadmorske visine), na pravougaonom uzorkivaču, površine 0,16 m² (slika 1) se neprekidno talože suvi i mokri depozit, formirajući kompozitni mesečni uzorak. U ovim uzorcima, Laboratorija za zaštitu od zračenja Instituta "Vinča" od 1994. godine redovno meri koncentraciju ^7Be .

^7Be se elektronskim zahvatom transformiše u ^7Li . U približno 10% slučajeva, relaksiranje do stabilnog ^7Li se dešava preko pobuđenog jezgra ^7Li , koje se deekscituje emisijom fotona gama zračenja energije 477,6 keV. Zahvaljujući ovome, koncentracija ^7Be u različitim vrstama uzoraka može se odrediti metodom gamaspektrometrije.

Suvi ostaci uzoraka su mineralizovani na 450 °C, a zatim preneti u geometriju merenja (planšeta do 2008. godine, a kasnije fiola; slika 2). U zavisnosti od vremenskog perioda, merenja su obavljana na četiri HPGe detektora, sa rezolucijom od 1,89 keV na 1332 keV i relativnim efikasnostima 20% (proizvođača Ortec), 18%, 20% i 50% (proizvođača Canberra).

Merenja su trajala 60000 s, nakon čega su za statističku obradu snimljenih podataka korišćena dva softverska paketa SPECTRAN-AT (do marta 2005.) i Genie 2000 (2005–danas). Aktivnost kompozitnog mesečnog uzorka se deli sa površinom uzorkovanja i brojem dana tokom kojih je uzorak prikupljen, pa su rezultati merenja izraženi kao koncentracija aktivnosti (A_M) po jedinici površine u jedinici vremena ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dan}^{-1}$).

Shodno tome da je vreme poluraspada ${}^7\text{Be} \approx 53,2$ dana i da, usled perioda prikupljanja (oko 30 dana) i pripreme uzorka, vremenska distanca između sakupljanja pojedinih delova uzorka i merenja može biti i više od 45 dana, nakon određivanja koncentracije, u svim uzorcima je izvršena korekcija na dan uzorkovanja.



Slika1. Uzorkivač depozita.



Slika 2. Geometrije merenja: fiola (levo) i planšeta (desno).

Korišćeni podaci o intenzitetu kosmičkog zračenja u periodu 1995-2016. su javno dostupni na sajtu stanice "Apatity" (N: 67,57°; E: 33,39°; 181 m nadmorske visine), Polarnog geofizičkog instituta, Ruske akademije nauka. Ova stanica, neutronske monitorom "Standard 18-NM-64" od maja 1969. godine kontinualno beleži podatke o intenzitetu kosmičkog zračenja ($\text{imp}\cdot\text{min}^{-1}$) na svakih sat vremena, a od jula 2000. i sa periodom od svega 1 minut [6].

3. Rezultati

Mesečne vrednosti ispitanih parametara, koncentracija aktivnosti ${}^7\text{Be}$ u ukupnom depozitu sa jedne, i intenzitet kosmičkog zračenja sa druge strane, grupisane su i usrednjene po godinama i mesecima (godišnji i mesečni indeksi). Godišnji indeksi (X_g) su izračunati po jednačini 1 i predstavljaju srednje godišnje vrednosti mesečnih uzoraka $x_{g,m}$. Mesečni indeksi predstavljaju srednje vrednosti mesečnih uzoraka $x_{g,m}$ za pojedinačne mesece u godini, X_m (jednačina 2).

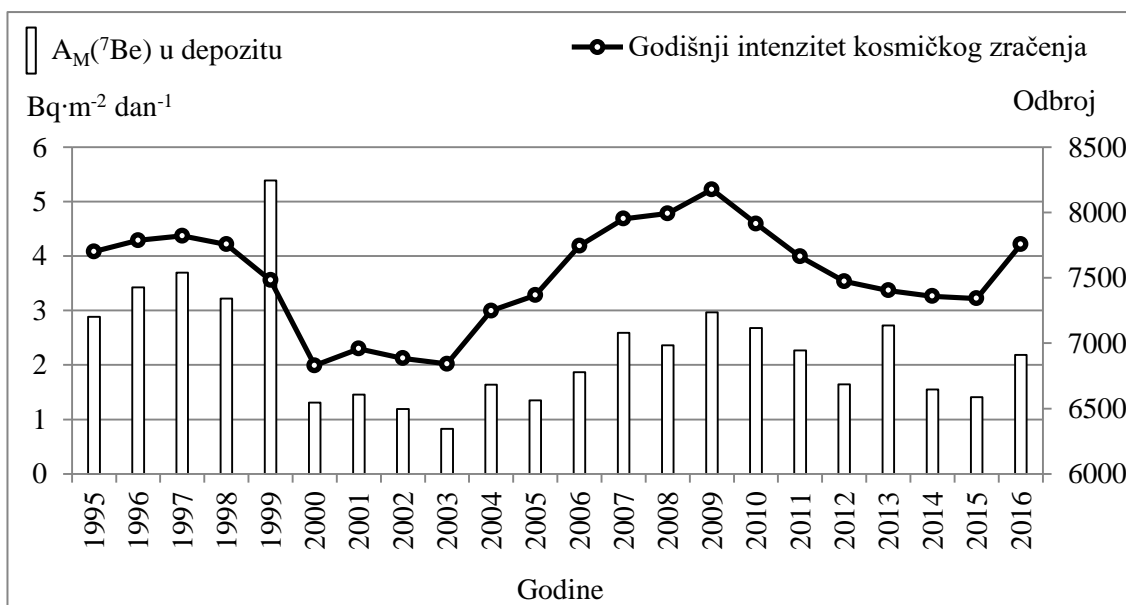
$$X_g = \frac{\sum_{m=1}^{12} x_{g,m}}{12} \quad (1)$$

$$X_m = \frac{\sum_{g=1995}^{2016} x_{g,m}}{11} \quad (2)$$

Nakon grupisanja podataka, određeni su njihovi međusobni koeficijenti linearne korelacije (r_g i r_m). Nivo poverenja za koji su testirani Pirsonovi koeficijenti je bio 95% ($p = 0,05$). Takođe, sa istim nivoom poverenja, određen je i koeficijent linearne koreliranosti negrupisanih mesečnih vrednosti ispitanih parametara ($r_{g,m}$).

Pirsonov koeficijent korelacije između koncentracije ${}^7\text{Be}$ u kompozitnim mesečnim uzorcima i srednjih mesečnih vrednosti intenziteta kosmičkog zračenja, $r_{g,m}$, u periodu od 1995-2016, daje relativno slabu koreliranost od $r_{g,m} = 0,29$. Koeficijent determinacije ($r_{g,m}^2$) govori da se mesečnom promenom intenziteta kosmičkog zračenja može objasniti svega 8% varijacije mesečnih vrednosti koncentracija ${}^7\text{Be}$.

Primetno jača koreliranost od $r_g = 0,56$ se dobija u razmatranju godišnjih indeksa (slika 3), koja ukazuje na to da se 33% varijacije godišnjih vrednosti koncentracije ${}^7\text{Be}$ u depozitu može objasniti modulisanošću kosmičkog zračenja. Najslabija i statistički neznačajna koreliranost ($p > 0,05$) se ispostavila između mesečnih indeksa, r_m .



Slika 3. Vremenske distribucije srednjih godišnjih vrednosti koncentracije aktivnosti ${}^7\text{Be}$ u ukupnom depozitu i intenziteta kosmičkog zračenja.

4. Zaključak

Kako je povećanje solarnog dela kosmičkog zračenja tokom perioda povećane aktivnosti Sunca neznatno [2,3] i najveći uticaj na promenu intenziteta kosmičkog zračenja u Sunčevom sistemu ima opadanje intenziteta njegovog galaktičkog dela (usled pojačanog Sunčevog magnetnog polja) [2,4], zaključujemo da su promene u koncentracijama kosmogenih radionuklida na Zemlji na višegodišnjoj vremenskoj skali (opadanje u periodu povećane aktivnosti Sunca), u najvećoj meri posledica promene galaktičkog dela spektra kosmičkog zračenja.

Uzimanjem u obzir koeficijente determinacije linearne koreliranosti mesečnih vrednosti ispitanih parametara ($r_{g,m}^2$), njihovih mesečnih (r_m^2) i godišnjih (r_g^2) indeksa, može se reći da fluktuacije intenziteta kosmičkog zračenja utiču samo na varijacije godišnjih indeksa koncentracije ^7Be u ukupnom depozitu, dok na vrednosti mesečnih indeksa nemaju značajniji uticaj.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, pod Projektom III43009.

6. Literatura

- [1] G. Choppin, J.O. Liljenzin, J. Rydberg. Radiation and Elementary Particles, In: *Radiochemistry and Nuclear Chemistry*, Butterworth-Heinemann, 2002, 283–298.
- [2] J. Ziegler. Terrestrial cosmic rays. *IBM J. Res. Dev.* 40(1), 1996, 19–39.
- [3] J. B. Mercer, B. G. Wilson. Daily Variation of Cosmic Ray. *Nature* 208, 1965, 477–479.
- [4] S. E. Forbush. World-Wide Cosmic-Ray Variations, 1937-1952. *J. Geophys. Res.* 59(4), 1954, 525–542.
- [5] M. Yoshimori. Production and behavior of beryllium 7 radionuclide in the upper atmosphere. *Adv. Space Res.* 36, 2005, 922–926.
- [6] <http://cr0.izmiran.ru/apty-main.htm>, "Apatity" Neutron Monitor, 04.09.2018.

**THE EFFECT OF COSMIC RADIATION ON THE ^7Be
CONCENTRATION IN THE TOTAL DEPOSIT**

**Milica RAJAČIĆ, Dragana TODORVIĆ, Jelena KRNETA NIKOLIĆ,
Nataša SARAP, Marija JANKOVIĆ, Gordana PANTELIĆ,
Ivana VUKANAC and Mirjana RADENKOVIĆ**

*University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Department of Radiation
and Environmental Protection, Belgrade, Serbia, milica100@vinca.rs, beba@vinca.rs,
jnikolic@vinca.rs, natasas@vinca.rs, marijam@vinca.rs, pantelic@vinca.rs,
vukanac@vinca.rs, mirar@vinca.rs*

ABSTRACT

Beryllium-7 (^7Be) is a radioactive beryllium isotope that is produced in the interaction of cosmic radiation with atmospheric atoms. Due to the heterogenous of the Earth's magnetic field, the intensity of cosmic radiation exhibits spatial distribution, while the time distribution is a consequence of the time-varying magnetic field of the Sun. The aim of this research is to analyze the influence of the intensity of cosmic radiation on the ^7Be concentration in samples of the total (dry and wet) deposit. The deposit samples were collected at the Vinča Institute of Nuclear Sciences, and all ^7Be concentration measurements were performed in the Department of Radiation and Environmental Protection. The results of the measurements were collected in the period from 1994 to 2016 and they were correlated with the monthly neutron monitor data of the "Apatity", the Polar Geophysical Institute, the Russian Academy of Sciences. This station has the neutron monitor "Standard 18-NM-64" located at the altitude of 181 m with geographical coordinates of N: 67.57° and E: 33.39° . Also, the results of the measurement of both observed parameters are grouped by years and months of the year, and then their annual and monthly indices were determined. After that, the annual as well as monthly indices of the observed parameters were correlated. The obtained results indicate that the fluctuations in the galactic part of cosmic radiation affect the variation of the annual ^7Be concentration index in the deposit. The coefficient of determining the annual indices of the observed parameters shows that the modulation of cosmic radiation can explain 33% of the variation of the annual values of the concentration of ^7Be in the deposit.