



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.

PROCENA RADIOEKOLOŠKIH PARAMETARA ZA RADIOIZOTOP ^{90}Sr U AGROEKOSISTEMU

Nataša B. SARAP, Marija M. JANKOVIĆ, Milica M. RAJAČIĆ,
Jelena D. KRNETA NIKOLIĆ, Gordana K. PANTELIĆ,
Dragana J. TODOROVIĆ, Ivana S. VUKANAC i Mirjana B. RADENKOVIĆ
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za zaštitu od
zračenja i zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija, natasas@vinca.rs,
marijam@vinca.rs, milica100@vinca.rs, jnikolic@vinca.rs, pantelic@vinca.rs,
beba@vinca.rs, vukanac@vinca.rs, mirar@vinca.rs

SADRŽAJ

Translokacije stabilnih i radioaktivnih izotopa iz jedne u drugu kariku ekološkog sistema, kvantitativno i kvalitativno se opisuju preko određenih ekoloških parametara. Procena radioekološke situacije je sprovedena određivanjem različitih parametara koji predstavljaju objektivne pokazatelje radijacione sigurnosti za ciklus obrade zemljišta i biljne proizvodnje, čime je utvrđena translokacija radionuklida ^{90}Sr u agroekosistemu ispitivanog područja. U sprovedenoj studiji su prikazani sledeći radioekološki parametri: transfer faktor zemljište - usev, broj stroncijumovih jedinica, koeficijent diskriminacije, koeficijent zaštite i K-parametar. Ovi parametri su izračunati na osnovu specifične aktivnosti radioizotopa ^{90}Sr i koncentracije ukupnog kalcijuma u zemljištu i usevima. Rezultati izračunavanja radioekoloških parametara su ukazali na sledeće činjenice: najveći deo radioizotopa ^{90}Sr akumulira se u korenu useva, što potvrđuje da je glavni mehanizam njegove akumulacije resuspenzija iz zemljišta; brzina akumulacije ^{90}Sr u odnosu na ukupni Ca iz zemljišta zavisi od vrste zemljišta i useva, kao i od koncentracije ukupnog Ca u zemljištu.

1. Uvod

Pojava antropogene radioaktivnosti utiče na izmenu prirodnih ekoloških karakteristika biosfere. U eri napretka nuklearne tehnologije i tehnološkog razvoja, neophodna je kontrola izlaganja stanovništva jonizujućem zračenju, kao i zaštita životne sredine. Radijaciona sigurnost je uslovljena poznavanjem radioekoloških karakteristika biosfere, koje zavise od prisustva radionuklida. Osnovni parametar radijacione sigurnosti stanovništva je permanentna kontrola radioaktivnih supstancija u biosferi. Uvid o kumulativnoj depoziciji i disperziji radioaktivnih supstancija u različitim ekosistemima se dobija određivanjem porekla radioaktivne kontaminacije životne sredine i prostorne raspodele svih potencijalnih izvora radioaktivnog zagađivanja [1,2]. Istraživanja zakonomernosti migracije radioaktivnih fisionih produkata u agroekosistemu, a samim tim i u lancu ishrane, daje mogućnost da se sa određenom tačnošću proceni radijaciona situacija na prostoru izloženom radioaktivnoj kontaminaciji.

Jedan od najznačajnijih radioaktivnih zagađivača životne sredine je antropogeni radioizotop ^{90}Sr , koji nastaje kao proizvod nuklearne fisije ^{235}U , ^{238}U ili ^{239}Pu u nuklearnim reaktorima, pri nuklearnim eksplozijama i upotrebi nuklearnog oružja.

Učestvujući u mineralnom metabolizmu živih organizama, ovaj izotop predstavlja bitan radioekološki faktor i glavni je predmet radioekoloških istraživanja i monitoringa životne sredine [3]. Radionuklid ^{90}Sr je čist beta emiter sa vremenom poluraspada od 28,8 godina i energijom emitovane beta čestice od 0,546 MeV, čijim raspadom nastaje radionuklid ^{90}Y , takođe čist beta emiter, sa vremenom poluraspada 64,1 h i energijom emitovane beta čestice 2,283 MeV. Između ova dva radionuklida se može uspostaviti stabilna radioaktivna ravnoteža. Emisijom beta čestice, ^{90}Y prelazi u stabilan izotop cirkonijuma, ^{90}Zr . Zbog svojih karakteristika: dugog vremena poluraspada i biološkog vremena poluživota, fizičko-hemijske i metaboličke sličnosti sa kalcijumom, visokog stepena apsorpcije iz gastrointestinalnog trakta, kao i spore eliminacije iz koštanog tkiva, ^{90}Sr pripada grupi ekstremno toksičnih radionuklida [4,5].

Cilj sprovedene studije je da se na osnovu određenih radioekoloških parametara proceni translokacija radioaktivnog izotopa ^{90}Sr iz jedne u drugu kariku agroekosistema ispitivanog područja. Da bi se omogućila procena ovih parametara, neophodno je bilo analizirati specifične aktivnosti radioizotopa ^{90}Sr i koncentracije ukupnog kalcijuma u zemljištu i usevima. Izračunavanjem parametara: transfer faktor zemljište-usev, broj stroncijumovih jedinica, koeficijent diskriminacije, koeficijent zaštite i K-parametar, dobijen je objektivni pokazatelj radijacione sigurnosti za ciklus obrade zemljišta i biljne proizvodnje u ispitanom području.

2. Eksperimentalni deo

Istraživani prostor je ogledno polje koje se nalazi na Radmilovcu (N: 44° 45', E: 20° 34') u blizini Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ i pripada teritoriji grada Beograda. Poljoprivredno zemljište je uzorkovano dva puta godišnje, u kasno proleće i jesen, dok su usevi koji se gaje na tom zemljištu sakupljani jednom godišnje, u sezoni proleće ili leto, zavisno od vrste useva, u periodu 2013-2015. Uzorci zemljišta (oko 2,5 kg) uzorkovani su na dve dubine 0-15 cm i 15-30 cm, pomoću ašova i sonde od nerđajućeg čelika prečnika 10 cm, dok su uzorci useva uzorkovani tako što je uzeta biljka u celini mase oko 2 kg. Uzorkovanje je obavljeno u skladu sa preporukama [6].

Uzorci zemljišta su sušeni u sušnici do konstantne mase na 105 °C, mehanički usitnjeni u mlinu za mlevenje uzoraka i dodatno ručno u avanu sa tučkom, a zatim prosejani kroz sito od nerđajućeg čelika (veličine pora 250 μm), čime su homogenizovani do praha. Dalja priprema za analizu ^{90}Sr je obuhvatala odmeravanje 120 g ovako pripremljenih suvih uzoraka i mineralizaciju na 500 °C u peći za žarenje. Biljni materijal je sušen na vazduhu i sobnoj temperaturi, minimalno tri nedelje. Osušeni uzorci su zatim usitnjeni i mineralizovani na temperaturi od 450 °C tokom 24 h, u peći za žarenje, metodom suvog spaljivanja. Za potrebe analize ^{90}Sr koristi se 20 g mineralizovanog biljnog materijala. Za određivanje koncentracije ukupnog kalcijuma homogenizovani prah uzoraka zemljišta i biljnog materijala je rastvoren prema sledećem postupku: 0,5 g uzorka je odmereno u teflonsku kivetu i preliveno sa 7 mL 65% HNO_3 i 2 mL 35% H_2O_2 . Nakon toga je vršeno rastvaranje uzoraka u mikrotalasnom digestionom sistemu (MDS-2100, USA) oko 30 minuta. Rastvoreni ekstrahovani uzorci su filtrirani kroz kvantitativni filter papir „plava traka“ (№ 9.045 851, LLG Labware, Lab Logistics Group GmbH, Francuska) u normalne sudove zapremine 25 mL, koji su potom dopunjeni do merne oznake dejonizovanom vodom.

Analiza specifične aktivnosti ^{90}Sr u ispitanim uzorcima je izvršena radiohemijskom analitičkom metodom. Primenjena metoda je nestandardna i modifikovana metoda, pa je

u skladu sa tim validovana [7]. Za merenje aktivnosti ^{90}Sr u uzorcima zemljišta i agrokultura, korišćen je niskofonski α/β gasni proporcionalni brojač Thermo Eberline FHT 770 T (ESM Eberline Instruments GmbH, Erlangen, Germany). Za određivanje koncentracije ukupnog kalcijuma u uzorcima zemljišta i biljnog materijala, primenjena je analitička tehnika, optička emisija spektrometrija sa induktivno spregnutom plazmom (ICP-OES) i uzorci su mereni na ICP-optičkom emisijom spektrometru *iCAP6500 duo* (Thermo Scientific, Cambridge, United Kingdom).

Detaljan prikaz radioekoloških parametara i njihovog izračunavanja je dat u [8]. Transfer faktor zemljište - biljka (*TF*) predstavlja odnos specifične aktivnosti radionuklida u biljnoj kulturi i specifične aktivnosti u odgovarajućem zemljištu. U karikama ekološkog ciklusa postoji diskriminacija radionuklida ^{90}Sr u odnosu na njegov metabolički analog Ca, tako da se nivo aktivnosti ^{90}Sr može izraziti i kao odnos aktivnosti ^{90}Sr i koncentracije Ca, koji se naziva stroncijumova jedinica (*SJ*). Da bi se odredio stepen transfera ^{90}Sr i Ca iz zemljišta u biljku, izračunava se koeficijent diskriminacije (*KD*), koji predstavlja odnos broja stroncijumovih jedinica u biljci i zemljištu. Koeficijent zaštite (*KZ*) se definiše za ^{90}Sr i Ca, kao odnos broja stroncijumovih jedinica u zemljištu i biljci, dakle on je recipročna vrednost koeficijenta diskriminacije. U cilju određivanja efekta depozicije radionuklida ^{90}Sr na ispitivanom lokalitetu, izračunava se K-parametar, koji predstavlja odnos specifičnih aktivnosti ^{90}Sr u dva ispitivana sloja zemljišta.

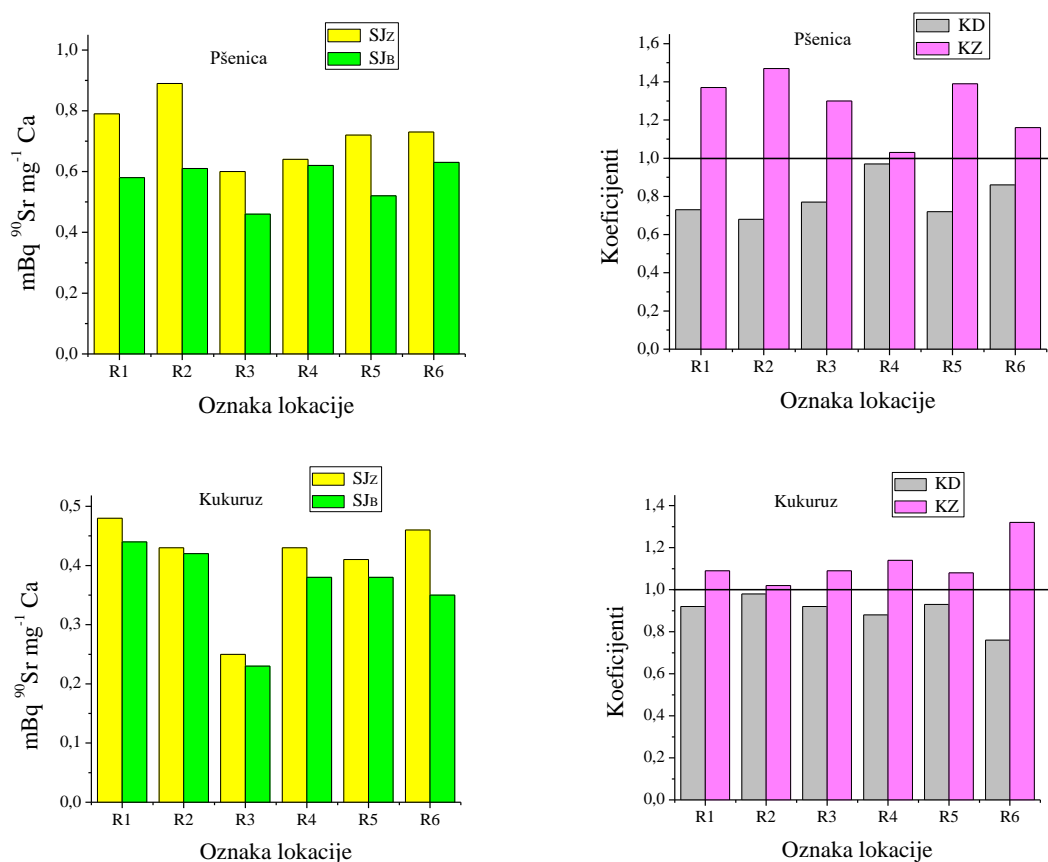
3. Rezultati i diskusija

Za potrebe računanja vrednosti transfer faktora, korišćene su specifične aktivnosti ^{90}Sr za sloj zemljišta 0-15 cm, tj. zemljište oko korena biljke, uzorkovanog u sezoni kada se istovremeno uzorkuje i biljni materijal. Rezultati izračunavanja transfer faktora zemljište - usev (*TF*) za radioizotop ^{90}Sr , prikazani su u tabeli 1. Prikazani rezultati transfer faktora zemljište - usev za radionuklid ^{90}Sr ukazuju na to da se najveći deo aktivnosti akumulira u korenu useva, a manji deo translocira u ostale biljne organe, što je u skladu sa literaturnim podacima. Ovo potvrđuje činjenicu da je glavni mehanizam akumulacije dugoživećih radionuklida u usevima, resuspenzija iz zemljišta.

Tabela 1. Transfer faktor (TF) zemljište - usev za ^{90}Sr .

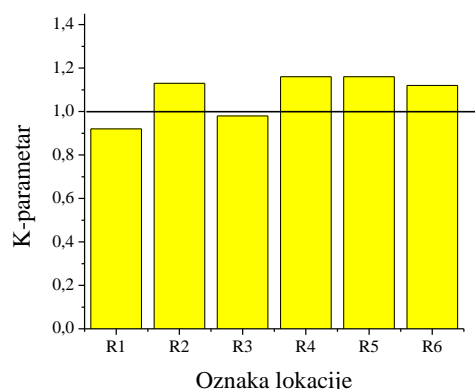
Deo biljke	TF					
	Oznaka lokacije					
	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Pšenica	2013.					
Koren	0,577	0,560	0,550	0,428	0,289	0,322
Ostatak	0,171	0,172	0,181	0,142	0,127	0,140
Kukuruz	2014.					
Koren	0,437	0,494	0,341	0,673	0,439	0,538
Stablo	0,114	0,109	0,099	0,177	0,108	0,138
List	0,215	0,240	0,212	0,322	0,172	0,218
Plod	0,095	0,101	0,092	0,141	0,092	0,113
Pšenica	2015.					
Koren	0,757	0,566	0,579	0,766	0,326	0,378
Ostatak	0,182	0,142	0,142	0,188	0,110	0,134

Srednje vrednosti ostalih izračunatih radioekoloških parametara za tri godine praćenja distribucije ^{90}Sr i Ca u zemljištu i usevima, prikazane su na slici 1, pri čemu su oznake parametara sledeće: SJ_Z - broj stroncijumovih jedinica za zemljište, SJ_B - broj stroncijumovih jedinica za biljke, KD - koeficijent diskriminacije i KZ - koeficijent zaštite. Srednja vrednost broja stroncijumovih jedinica za zemljište je $0,60 \text{ mBq } ^{90}\text{Sr mg}^{-1} \text{ Ca}$, dok su srednje vrednosti broja stroncijumovih jedinica za pšenicu $0,57 \text{ mBq } ^{90}\text{Sr mg}^{-1} \text{ Ca}$ i $0,37 \text{ mBq } ^{90}\text{Sr mg}^{-1} \text{ Ca}$ za kukuruz. Sa slike 1 se vidi da su vrednosti koeficijenta diskriminacije manje od jedinice, dok su shodno tome vrednosti koeficijenta zaštite veće od jedinice za oba useva. Može se zaključiti da nema značajnih varijacija u pogledu vrednosti ovih parametara za pšenicu, niti za kukuruz. Vrednosti diskriminacionih koeficijenata dobijene u ovoj studiji su u skladu sa literaturnim vrednostima koje su u intervalu od 0,7 do 1,3 [9].



Slika 1. Bar-dijagram srednjih vrednosti parametara SJ_Z , SJ_B , KD i KZ .

Osim navedenih radioekoloških parametara, na osnovu vrednosti specifičnih aktivnosti ^{90}Sr u dva sloja poljoprivrednog zemljišta (0-15 i 15-30 cm), izračunat je K-parametar, čije su srednje vrednosti prikazane na slici 2. Izračunavanje K-parametra je u cilju određivanja efekta depozicije radionuklida ^{90}Sr na ispitivanom lokalitetu. Sa slike 2 se može videti da su srednje vrednosti ovog parametra na većini lokacija veće od 1, što dovodi do zaključka da na tim lokacijama postoji opadajući gradijent ^{90}Sr u ispitivanom profilu zemljišta.



Slika 2. Bar-dijagram srednjih vrednosti K-parametra.

4. Zaključak

Izračunate vrednosti transfer faktora zemljište - usev za radionuklid ^{90}Sr su potvrdile da je resuspenzija iz zemljišta glavni mehanizam akumulacije ovog radionuklida u usevima. Broj stroncijumovih jedinica ukazuje da brzina akumulacije ^{90}Sr u odnosu na Ca iz zemljišta, zavisi od vrste useva. Vrednosti koeficijenta diskriminacije i zaštite ukazuju takođe na postojanje zavisnosti od vrste useva. Osim toga, ovi parametri zavise od vrste zemljišta, kao i od sadržaja Ca u zemljištu i usevima. Efekat depozicije radionuklida ^{90}Sr je pokazao negativan gradijent ^{90}Sr u ispitivanom profilu zemljišta.

5. Zahvalnica

Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekta broj III 43009.

6. Literatura

- [1] G. Shaw, Radioactivity in the Environment, Introduction, Vol. 10, Elsevier, 2007.
- [2] S. Dragović, N. Mihailović, B. Gajić. Quantification of transfer of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in mosses of a semi-natural ecosystem. *J. Environ. Radioactiv.* 101, 2010, 159-164.
- [3] Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring, Safety Report Series No. 64, IAEA, Vienna, 2005.
- [4] P. Froidevaux, K. Friedrich-Benet, J.F. Valley. Simple determination of ^{90}Sr in water in environmental radioactivity survey. *J. Radioanal. Nucl. Ch.* 261, 2004, 295-299.
- [5] R. Jakopič, Lj. Benedik. Tracer Studies on Sr Resin and Determination of ^{90}Sr in Environmental Samples. *Acta Chim. Slov.* 52, 2005, 297-302.
- [6] Measurements of Radionuclides in Food and the Environment, A guide book, *Technical Report Series No. 295*, IAEA, Vienna, 1989.
- [7] N.B. Sarap, M.M. Janković, G.K. Pantelić. Validation of radiochemical method

for the determination of ^{90}Sr in environmental samples. *Water Air Soil Pollut.* 225, 2014, 2003-2013.

- [8] N. B. Sarap, Praćenje distribucije radionuklida ^{90}Sr u poljoprivrednom zemljištu i biljnim kulturama metodom spektrometrije beta zračenja, Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd, 2017.
- [9] R. Brnović, Stroncijum 90 u životnoj sredini čoveka. Magistarski rad, Farmaceutsko-biokemijski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Beograd, 1972.

ASSESSMENT OF RADIOECOLOGICAL PARAMETERS FOR RADIOISOTOPE ^{90}Sr IN AGROECOSYSTEM

**Nataša B. SARAP, Marija M. JANKOVIĆ, Milica M. RAJAČIĆ,
Jelena D. KRNETA NIKOLIĆ, Gordana K. PANTELIĆ,
Dragana J. TODOROVIĆ, Ivana S. VUKANAC
and Mirjana B. RADENKOVIĆ**

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

ABSTRACT

Translocation of stable and radioactive isotopes from one to the other chain in the ecosystem is quantitatively and qualitatively described using the certain ecological parameters. The assesment of the radioecological situation is performed by determination of different parameters that represent the objective indicators of radiation safety for processing of soil and plant production. In this way, translocation of ^{90}Sr in the agro-ecosystem of the investigated areas is determined. The following radiological parameters are presented in this study: soil-crop transfer factor, nuber of strontium units, discrimination coefficient and K-parameter. These parameters are calculated based on the specific activity of ^{90}Sr and total Ca concentration in soil and crop. The results of the parameter calculation indicated that for the most part, ^{90}Sr is acumulated in the root of the crop, which confirms that the main path of the acumulation is the resuspension from soil; ^{90}Sr acumulation rate, in comparison to total Ca in soil, depends on the soil and crop type as well as the total Ca concentration in soil.