GORDANA D. ĐURIĆ
DRAGANA LJ. POPOVIĆ

Fakultet veterinarske medicine, Beograd

STRUČNI RAD

546.791:539.16:361.1

URANIJUM U ŽIVOTNOJ SREDINI

Prikazani su najznačajniji izvori i migracija uranijuma u životnoj sredini, radiotoksičnost i distribucija u organizmu. Dati su rezultati višegodišnjih izučavanja uranijuma u našoj zemlji u namirnicama i u sistemu "zemljište – medonosna flora–med", koji ukazuju da aktivnost uranijuma zavisi od geohemijskog sastava zemljišta, fiziološko–morfoloških karakteristika biljaka, načina obrade zemljišta i dr. Ovi rezultati predstavljaju tzv. "nulto stanje" za procenu štete od uranijuma unetog u biosferu kao posledica korišćenja municije sa "osiromašenim uranijumom".

Osnovu za procenu rizika od zagađivanja životne sredine uranijumom i njegovim potomcima, čine podaci o njihovom poreklu, migraciji i nakupljanju u pojedinim fazama životne sredine, kao i poznavanje fizičko–hemijskih i geohemijskih procesa u životnoj sredini. Kao toksične i radioaktivne supstancije, uranijum i potomci predstavljaju određeni rizik za životnu sredinu i biološke zajednice. Stoga dugogodišnja istraživanja uranijuma imaju cilj da utvrde puteve migracije uranijuma od izvora zagađenja do čoveka, mehanizme toksičnog i radiotoksičnog dejstva i štetne efekte, pre svega za čoveka i njegovo potomstvo [1–4].

S obzirom da poreklo uranijuma u životnoj sredini može biti prirodno i tehnološko [5–7], da bi se procenio rizik od uranijuma unetog u okolinu kao posledica korišćenja municije sa "osiromašenim uranijumom", neophodno je poznavati tzv. "nulto stanje". Ono obuhvata podatke o masenoj aktivnosti uranijuma i njegovih potomaka u svim fazama životne sredine: vazduhu, vodi, zemljištu, biljkama, životinjama, namirnicama, stočnoj hrani i podatke za koncentracijske faktore za pojedine ekosisteme i faze životne sredine.

Cilj ovog rada je da ukaže na najznačajnije izvore i migraciju uranijuma u životnoj sredini, njegovu radiotoksičnost i distribuciju u organizmu, kao i da prikaže rezultate višegodišnjih merenja uranijuma u našoj zemlji, koji predstavljaju tzv. "nulto stanje" za procenu štete i rizika od uranijuma dospelog u okolinu kao posledica upotrebe municije sa "osiromašenim uranijumom".

OSOBINE, POREKLO I MIGRACIJA URANIJUMA U ŽIVOTNOJ SREDINI

Uranijum se u prirodi nalazi kao smeša izotopa uranijuma–238 (99%), uranijuma–235 (0.71%) i uranijuma–234 (0.006%), nastalih u procesima formiranja zemljine kore. Sva tri izotopa su radioaktivna i u više uzastopnih raspada emituju alfa, beta i gama zračenje. Fizičko vreme poluraspada U–238 je 4.5×10^9 godina, a specifična aktivnost 3.0×10^3 Bq/g prirodnog uranijuma. Najznačajniji potomci uranijuma su Ra–226 (1602 g), Pb–210 (0.4 g), Po 210 (38.4 d) i radio–aktivni gas Rn–222 (3.8d). Biološko vreme poluraspada uranijuma je 15 dana za bubrege, kao kritični organ, a 100 dana za ceo organizam [6].

Uranijum dospeva u životnu sredinu i kao posledica tehnoloških postupaka i agrotehničkih mera. Najznačajniji izvori tzv. "tehnološki povećane prirodne radioaktivnost" su rudnici uranijuma, olova, kamenog uglja, termoelektrane, njihovi nuzproizvodi – šljaka, pepeo i elektrofilterski materijal, i fabrike fosforne kiseline i mineralnih đubriva. Literaturni podaci ukazuju da se nivo prirodnog zračenja usled tehnološkog povećanja prirodne radioaktivnosti za poslednjih 30 godina uvećao 30–40 puta [7–10].

Uranijum se u zemiljištu uglavnom nalazi u rastvorljivom obliku i biljke ga lako usvajaju, te tako preko namirnica biljnog porekla i stočne hrane dospeva u organizam životinja i čoveka. Putem namirnica se dnevno unese 10 do 100 mBq uranijuma, od toga putem mesa, ribe i jaja 40%, povrća oko 27% a žitarica oko 25% [6].

Za širu populaciju stanovništva, unošenje uranijuma inhalacijom je zanemarljivo. Međutim, ovo predstavlja značajan rizik za stanovništvo uz termoelektrane, jer u šljaki i pepelu uranijuma ima 100 i više Bq/kg [5–10]. Prema podacima UNSCEAR–a [8, 11] srednje ozračivanje stanovništva uranijumom i potomcima u "normalnim uslovima" iznosi 1.04 mSv/god. Ova vrednost ulazi u prosečnu godišnju vrednost ozračivanja stanovništva od svih prirodnih izvora jonizujućeg zračenja (2 mSv) i osnova je za razmatranje i procenu efekata svih dodatnih izvora ozračivanja.

Adresa autora: G. Đurić, Gospodar Jevremova 16/III, 11000 Beograd
Rad primljen: Novembra 15, 1999.
Rad prihvaćen: Januara 17, 2000.

RADIOTOKSIČNOST URANIJUMA

Uranijum spada u II grupu toksičnih elemenata. U organizam ljudi i životinja dospeva preko kože, vazduha, namirnica i vode. Preko kože dobro se resorbuju uranilnitrat, uranilfluorid, uraniltrioksid, i dr. Resorbovani uranijum u organizmu se nalazi kao šestovalentan uranil jon i stvara komplekse sa proteinima i bikarbonatima. Uranil jon se vezuje za fosforilnu grupu, slabije za karbokslinu i ribonukleinsku kiselinu. Vezivanjem na fosforilnu grupu dolazi do inhibicije metabolizma šećera, a vezivanjem za karboksilnu do inhibicije enzima invertaze na površini membrane [12].

Rastvorljivi uranijum taloži se i u plućima što dovodi do edema ili bronhopneumonije. Deo inhaliranih čestica dospeva u gastrointestinalni trakt, a odatle u krvotok i limfni sistem i deponuje se u bubrezima, i to više nego u jetri, slezini i kostima. Kada koncentracija uranil jona u bubrezima pređe prag dolazi do destrukcije membrane i sadržaj ćelija se izliva u urin. Oštećenje bubrega može se utvrditi klirens testovima i analizom proteina i amino kiselina u urinu. Manji deo uranijuma se izlučuje fecesom. Za procenu efekata udahnutog ili ingestijom unetog uranijuma treba obaviti istraživanja na subcelularnom i celularnom nivou, na nivou tkiva, organa i organizma [7, 12].

Rezultati istraživanja radiotoksičnosti uranijuma u našoj zemlji ukazuju da se oko 70% udahnutog uranijuma izluči preko urina i fecesa. Ostatak se deponuje u kostima, plućima, jetri i srcu. Ova istraživanja se odnose na profesionalno izložena lica u rudnicima uranijuma, olova, uglja, postrojenjima za preradu uranijuma, proizvodnju fosforne kiseline, mineralnih đubriva i u termoelektranama, ali i na širu populaciju stanovništva [13–15].

Za procenu posledica delovanja "osiromašenog uranijuma" značajan je podatak da izmerena koncentracija uranijuma u urinu pri udisanju uranijumske prašine iznosi 10–400 μg po litru, uz pojavu lomova na hromozomima (tetraploidija, mikronukleusi), oštećenja p1ća i druge efekte [13,14]. Pri normalnim uslovima prosečna koncentracija uranijuma kod stanovnika Srbije iznosi 1 μg po litru urina [15]. Ovi podaci i podaci o malignim oboljenjima, hematološkim i citogentskim istraživanjima kod stanovništva Srbije, pre proleća 1999. godine, su osnov pri razmatranju eventualnih promena na krvnim ćelijama i genetskom materijalu i pojavama malignih oboljenja kao posledica povećane koncentracije uranijuma u okolini.

URANIJUM U SRBIJI – "NULTO STANJE"

Područja bogata uranijumom u našoj zemlji su područje Bukulje, granitoidni kompleks Janje, kompleks Stare planine, Kučansko–beljanički region, područje Avala – Kosmaj Babe, Rudnik, Cer, Vranjsko–pčinjski region, Fruška Gora, Vršačko brdo, itd. Ova područja se poklapaju sa radioekološkim područjima u našoj republici (region srednjoistočne Srbije, Šumadija, region Cer–Iverak, Centralna Srbija, Južna Srbija i Jugoistočna Srbija). Koncentracija uranijuma u ovim regionima je u opsegu 0.63–19,3 ppm [3, 4].

U Srbiji je od II svetskog rata došlo do tehnološkog povećanja koncentacije uranijuma u zemljištu. Sa uvezenih 1.000.000 tona fosforita, sa srednjom koncentracijom uranijuma 150 ppm, uvezeno je 150 tona uranijuma (ili 50 TBq aktivnosti) koji se, kao đubrivo, rasturilo po obradivom zemljištu [10]. Ovo, uz gradevinski materijal [16], značajno doprinosi povećanom sadržaju uranijuma u životnoj sredini.

U namirnicama u našoj zemlji uranijuma najviše ima u orahu (234 mBq/kg), kupusu (94 mBq/kg), crnom i belom luku (49 mBq/kg), zelenoj salati (34 mBq/kg) i pasulju (23 Bq/kg). Mleko i mlečni proizvodi sadrže ispod 1 mBq/kg U–238, jaja ispod 3 mBq/kg [17]. Sadržaj uranijuma u goveđem mesu je oko 1 Bq/kg što je ispod proseka za većinu evropskih industrijskih zemalja [18]. Ekvivalent doza od uranijuma i potomaka u okolini termoelektrana na našem prostoru procenjuje se na oko 3 μSv godišnje [10].

URANIJUM U SISTEMU "ZEMLJA–BILJKA–MED"

Izučavanja uranijuma u životnoj sredini pokazala su da su pčele dobri bioindikatori za ovaj radionuklid, koji se nakuplja u medu. Aktivnost uranijuma u medu zavisi od geohemijskih karakteristika i načina obrade zemljišta, blizine industrijskih postrojenja, medonosne flore i dr. [6, 7].

U našoj zemlji uranijum i potomci u sistemu "zemlja biljka–med" izučavani su na različitim lokacijama (planinsko i ravničarsko područje), vrstama zemljišta (peskovito, crnica) i vrstama meda (livadski, bagremov, šumski). Rezultati višegodišnjih istraživanja pokazuju da je aktivnost U–238 u zemljištu na našem području u opsegu 20–30 Bq/kg, dok su najveće vrednosti nađene u obradivom ravničarskom zemljištu, kao posledica korišćenja fosfatnih đubriva. U planinskom području (region Tare), sadržaj uranijuma u škriljcima i krečnjačkim stenama bio je u opsegu 25–40 Bq/kg, pri čemu je nešto povećan u škriljcima. Sadržaj U–238 u biljkama, sa neznatnim varijacijama zavisno od zemljišta bio je ispod 1 Bq/kg, u nekim vrstama medonosne flore i ispod granice detekcije od 0.05 Bq/kg. Izmerena koncentracije u medu iznosi oko 2 Bq/kg (koeficijent varijacije 50%). Koncentracijski faktor za sistem zemljište–biljka je 0.07 [19,20].

ZAKLJUČAK

Na osnovu iznetih literaturnih podataka i rezultata merenja, sledi da bez poznavanja distribucije, migracije i nakupljanja uranijuma u pojedinim fazama životne sredine i "lanca hrane" na našem području, kao i pouzdanih

analitičkih podataka o novo unetom uranijumu, nije moguće dati pouzdanu procenu rizika i štete u našoj okolini kao posledice korišćenja municije sa "osiromašenim uranijumom".

LITERATURA

[1] D. Veselinović, I. Gržetić, S. Đarmati, D. Marković, Stanje i procesi u životnoj sredini, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, 1995, Beograd.

[2] D. Marković, S. Đarmati, I. Gržetić, D. Veselinović, Fizičko-hemijski osnovi zaštite životne sredine: Izvori zagadivanja, posledice i zaštita, Univerzitet u Beogradu, 1996, Beograd.

[3] I. Gržetić i R. Jelenković, Prirodni radioaktivni elementi: geološko poreklo, oblici pojavljivanja i migracije. U "Jonizujuća zračenja iz prirode", 3, 1995, Beograd.

[4] A. Dangić, V. Gordanić, Jelena Dangić, Geohemijski procesi i geohemijske anomalije uranijuma, radijuma i radona u tlu, vodama i vazduhu kao ekološki rizici. U "Jonizujuća zračenja iz prirode", 57, JDZZ, 1995, Beograd.

[5] R. Kljajić, V. Šipka, M. Radenković, R. Mitrović, Ugljevi i mineralna đubriva kao izvor tehnološkog povećanja prirodne radioaktivnosti. U "Jonizujuća zračenja iz prirode", 95, JDZZ, 1995, Beograd.

[6] I.M. Fisenne, Long lived radionuclides in the environment, in food and human beings. In Final report from the V Internat. Symposium on the Natural Radiation Environment, CEC, 1993, Luxemburg.

[7] M. Eisenbud, Environmental Radioactivity, Academic Press, 1989, New York.

[8] D. Antić, M. Šoškić–Kostić, S. Milovanović, Računanje inhalacione doze u okolini termoelektrana. U "Jonizujuće zračenje iz prirode", 123, JDZZ, 1995, Beograd.

[9] G. Đurić i D. Popović, Zagađivanje životne sredine radioaktivnim supstancijama. U "Jonizujuća zračenja, merenja i zaštita, 113, Društvo aa mernu tehniku Srbije, Privredna komora Srbije, 1987, Beograd.

[10] P. Bojović i M. Mladenović, Razmatranje pojave prirodnih radionuklida koji dospevaju u životnu sredinu upotrebom proizvoda dobijenih iz fosfata, Zbornik radova IX Simpozijuma JDZZ 311, 1977, Jajce.

[11] ICRP Publ.: Principles for Limiting Exposures of the Public to Natural Sources of Radiation. Pergamon Press, Oxford, UK, **29** (1984)

[12] D. Đurić, Biohemija i biofizika industrijskih otrova, Zavod za usavršavanje zdravstvenih radnika RS, 1966, Beograd.

[13] R. Nikolić, Prikaz unošenja uranovog oksida u organizam Zbornik radova XVI Simpozijum JDZZ, Neum, 177, 1991

[14] S. Milačić, I. Knežević, B. Marković, Rezultati ispitivanja hematoloških parametara i ćelijskih enzima kod stanovnika RS, Zbornik radova "Černobilj–10 godina posle", 133, 1996, JDZZ, Beograd.

[15] D. Jovičić, S. Milačić, I. Knežević, Višegodišnja citogenetička istraživanja pri profesionalnoj ekspoziciji radionuklidima. Zbornik radova XIX Simpozijm JDZZ, Golubac, 273, 1997

[16] D. Todorović, D. Popović, G. Đurić, Određivanje sadržaja prirodnih radionuklida u građevinskom materijalu, U "Jonizujuće zračenje iz prirode", 249, 1995, JDZZ, Beograd.

[17] I. Dujić, Prirodni radionuklidi u hrani. Zbornik radova "Jonizujuće zračenje iz prirode", 373, 1995, Beograd.

[18] I. Dujić, Odnosi stabilnih i radioaktivnih hemijskih elemenata u goveđem mesu, Doktorska teza, Univerzitet u Beogradu, 1985.

[19] G. Đurić, D. Popović, D. Todorović, J. Slivka, Z. Mihaljev, Natural and fallout radionuclides in different types of honey, J. Environ. Biol. 17(4) (1996) 339.

[20] G. Đurić, D. Popović, D. Todorović, Activity variations and concentration factors for natural radionuclides in a "soil–plant–honey" system, Environmental International 22 (1996) 5361.

SUMMARY

URANIUM IN THE ENVIRONMENT

(Professional paper)

Gordana D. Đurić, and Dragana Lj. Popović
Faculty of Veterinary Medecine, University of Belgrade, Beograd

The paper considers the main sources of uranium and its migration through different phases in the biosphere, its radiotoxicity and distribution within living organisms. The results of long the term investigations of uranium in our country in food and the "soil–plant–honey" system are presented indicating the activity of uranium to be due to the geochemical features of soil, the physiological and morphological characteristics of plants and the type of honey. These results represent the "zero state" for the evaluation of the risk and damage of uranium that entered the environment due to the use of ammunition with "depleted uranium".

Key words: Uranium • Radiotoxicity • Biosporine • Depleted uranium •
Ključne reči: uranijum • radiotoksičnost • bioshera • osiromašeni uranijum •