

G.I.Borisov, V.V.Kuzmič, V.M.Kulakov¹
N.Antović²
P.Vukotić, S.Dapčević³
M.Mirković, R.Pajović, R.Svrkota⁴
B.Fuštić, G.Đuretić⁵

FON GAMA-ZRAČENJA U REGIONU SKADARSKOG JEZERA

BACKGROUND GAMMA-RADIATION IN THE REGION OF SCADAR LAKE

Izvod

Metodom poluprovodničke *in situ* spektrometrije mjeren je fon gama-zračenja na šest lokaliteta u širem regionu Skadarskog jezera. Mjerna mjesta su birana na osnovu pedoloških i drugih karakteristika terena, sa ciljem da budu reprezentativna za šire područje. Za svako mjerno mjesto dobijeni su rezultati za specifične aktivnosti radionuklida ⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U i ¹³⁷Cs u zemljištu, kao i jačine ekspoziционе doze zračenja u vazduhu na 1 m iznad tla, kako ukupne tako i diferencijalne od svakog od navedenih gama-emitera. Takođe je određena i površinska aktivnost ¹³⁷Cs. Nađeno je da je kontaminiranost zemljišta cezijumom u ovom regionu neznatna i kreće se u granicama (6290 - 8880) Bq/m², odnosno (16-59) Bq/kg.

Abstract

Background gamma-radiation is measured in the Scadar Lake region by method of semiconductor gamma-spectrometry. Each of the six measurement locations is chosen on basis of its pedological and other characteristics, in order

¹ Ruski naučni centar "Kurčatovski institut", Moskva, Rusija

² Međunarodni naučni centar za ekologiju i zdravlje čovjeka "MENEKO", Podgorica

³ Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

⁴ Republički zavod za geološka istraživanja, Podgorica

⁵ Poljoprivredni institut, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

to be representative for a larger area. Results for specific activities of radionuclides ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U and ^{137}Cs in soil are obtained, as well as differential and integral exposure dose rates in the air 1 m above ground originating from these nuclides. Surface activity of ^{137}Cs is also determined. Contamination of the soil with radioactive cesium in this region is almost negligible, because it is in (6290-8880) Bq/m² range, or (16-59) Bq/kg.

UVOD

Međunarodni naučni centar za ekologiju i zdravlje čovjeka "MENEKO" - Podgorica, kroz interdisciplinarni pristup i saradnju ruskih i crnogorskih istraživača, radio je krajem 1994. godine mjerenja fona gama-zračenja na teritoriji Crne Gore. U osnovnoj mreži, koja ravnomjerno pokriva teritoriju Republike, uzeta su 42 mjerna mjesta. Njihov izbor je urađen na osnovu geoloških i pedoloških karakteristika terena, tako da svako od njih bude reprezentativno za što šire područje.

Za mjerenja radijacionog fona korišćena je metoda poluprovodničke *in situ* gama-spektrometrije. Ovom metodom se radijacija u životnoj sredini mjeri na licu mjesta, bez uzimanja i pripreme uzoraka. Njeni rezultati su raznovrsniji i imaju veću reprezentativnost za region od interesa od onih dobijenih uzimanjem uzoraka sa terena i njihovom gama-spektrometrijom u laboratoriji. Metoda omogućava određivanje specifične aktivnosti prirodnih gama-emitera, površinske i specifične aktivnosti tehnogenih radionuklida i njihove vertikalne raspodjele po dubini površinskog sloja zemljišta. Takođe se dobija ukupna jačina ekspozicione doze u vazduhu, kao i diferencijalne ekspozicione doze od svakog detektovanog radionuklida pojedinačno.

U ovom radu su prikazani rezultati mjerenja gama-fona u širem regionu Skadarskog jezera. Ovdje su mjerenja *in situ* urađena na tri lokaliteta iz osnovne mreže mjernih mjesta u Crnoj Gori (Ostros, Podhum i Boljevići), na dva lokaliteta karakteristična po jakom i dugotrajnom antropogenom uticaju (vinogradi u Čemovskom polju i Tološima) i u bašti jedne prigradske kuće (ulica Boška Buhe - Podgorica) sa zemljištem tipičnim za gradsko područje.

METODA MJERENJA

Gama-radijacioni fon je mjeran prenosnim spektrometrom sa nezavisnim napajanjem. Poluprovodnički HPGe detektor CANBERRA je n-tipa sa berilijumskim prozorom, sa osjetljivom zapreminom od 100 cm³ i energetsom rezolucijom 1.95 keV za fotone energije 1332 keV. Portabl višekanalni amplitudni analizator je takođe firme CANBERRA, serije 10 PLUS, sa 4 K memorijom i 100 MHz ADC. Za pohranjivanje snimljenih spektara korišćen je na terenu magnetofon SHARP 252, a za obradu spektrometrijskih informacija portabl LAPTOP FAST kompjuter.

Na svakom mjernom mjestu snimana su dva spektra gama-zračenja tla. Detektor je postavljan tako da mu kristal bude okrenut vertikalno prema zemlji.

Jedno mjerenje je rađeno u vazduhu, sa kristalom detektora postavljenim na visini 1 m iznad tla. Drugo mjerenje je rađeno u zemlji. U rupu u zemljištu prečnika 15 cm i dubine 28 cm, napravljenu specijalnim svrdlom, detektor je postavljan tako da mu kristal bude na dubini 10 cm na nekultivisanom, odnosno na dubini od 20 cm na kultivisanom zemljištu. Uzorak izvađen pomoću svrdla pohranjivan je u polietilenske kese da bi za kolonije odredili gustina i vlažnost zemljišta na mjernom mjestu, kao parametri potrebni za proračun aktivnosti.

Da bi se metodom *in situ* spektrometrije, na osnovu snimljenih spektara gama-zračenja, dobili parametri radijacionog polja i parametri izvora zračenja, koriste se podaci iz proračuna urađenih za različite modele izvora zračenja. Oni se za većinu slučajeva primjene metode mogu naći u literaturi [1,2,3,4]. Osim toga, neophodni su i podaci o mjernim parametrima korišćenog spektrometra, od kojih je najvažniji efikasnost detektora u zavisnosti od energije registrovanog fotonskog zračenja.

Mi smo koristili sljedeće modele izvora zračenja:

(1) Model dvije beskonačne sredine (zemljište-vazduh) sa ravnom granicom razdvajanja, od kojih jedna sadrži radioaktivne supstance sa konstantnom specifičnom aktivnošću. Na osnovu ovog modela rađen je proračun ekspoziционих doza u vazduhu i specifičnih aktivnosti prirodnih radionuklida u zemljištu;

(2) Model dvije beskonačne sredine sa ravnom granicom razdvajanja, od kojih jedna sadrži radioaktivnu supstancu u vidu sloja nepoznate debljine sa konstantnom specifičnom aktivnošću, ili sa specifičnom aktivnošću koja eksponencijalno opada sa udaljavanjem od ravni razdvajanja. Ovaj model je korišćen za proračun površinskih aktivnosti tehnogenih radioaktivnih kontaminanata zemljišta, kao za proračun jačina ekspoziционих doza u vazduhu koje potiču od njih. Model sadrži dva parametra: površinsku aktivnost i karakteristiku vertikalne raspodjele aktivnosti u zemljištu. Oba ova parametra se određuju na osnovu rezultata navedena dva mjerenja: nad površinom tla i na zadatoj dubini u rupi u zemljištu. Radi toga urađena su prethodna teorijska razmatranja polja fotonskog zračenja na ukazanim dubinama u cilindričnim šuplinama u zemljištu, koja će biti publikovana.

REZULTATI MJERENJA

Rezultati mjerenja fona gama-zračenja *in situ* poluprovodničkom spetrometrijom, na šest mjernih mjesta u širem regionu Skadarskog jezera, prikazani su u Tabeli 1. Tipične grerške mjerenja su 10%.

Na osnovu mjerenja u 23 zemlje, u kojima živi polovina stanovništva naše planete, uzima se da srednja vrijednost jačine ekspoziционих doze u vazduhu na 1m visine nad tlom, usljed gama-zračenja koje potiče iz izvora iz tla (dakle, kosmičko zračenje nije uključeno), iznosi 5,7 $\mu\text{R/h}$ [5]. Iz naših rezultata se vidi da je jačina ekspoziционих doze u regionu Skadarskog jezera na 5 istraživanih lokaliteta niža od prosječne u svijetu, na nekima od njih čak i znatno, a samo iznad jezerskog aluvijuma u Podhumu je ona neznatno više od nje.

Tabela 1. Rezultati mjerenja fona gama-zračenja

Lokalitet, tip zemljišta, ukupna ekspoz. doza od zrač. iz tla, debljina sloja kontam. cezijumom	Izvor zračenja	Specifična aktivnost (Bq/kg)	Jačina eksp. doze ($\mu\text{R/h}$)	Površinska aktivnost (Bq/m^2)
Gornje Polje (Boljevići), aluvijum, 3.9 $\mu\text{R/h}$, 13 cm	K-40	296 \pm 30	1.4 \pm 0.1	-
	Th-232	17 \pm 2	1.3 \pm 0.1	-
	U-238	12 \pm 1	0.58 \pm 0.06	-
	Cs-137	48 \pm 5	0.61 \pm 0.06	8140 \pm 814
Ostros (Curovići), smeđe antropogeno (livada), 2.8 $\mu\text{R/h}$, 15 cm	K-40	78 \pm 8	0.38 \pm 0.04	-
	Th-232	17 \pm 2	1.3 \pm 0.1	-
	U-238	14 \pm 3	0.68 \pm 0.07	-
	Cs-137	37 \pm 4	0.45 \pm 0.05	7400 \pm 740
Podhum, aluvijum (jezerski), 6.5 $\mu\text{R/h}$, 7 cm	K-40	222 \pm 22	1.1 \pm 0.1	-
	Th-232	37 \pm 4	2.8 \pm 0.3	-
	U-238	41 \pm 4	2.0 \pm 0.2	-
	Cs-137	59 \pm 4	0.60 \pm 0.06	6290 \pm 740
Crne zemlje (Čen. polje)- vinograd, skeletno karbonatno smeđe, 2.6 $\mu\text{R/h}$, 28 cm	K-40	56 \pm 5	0.32 \pm 0.03	-
	Th-232	8 \pm 1	0.61 \pm 0.06	-
	U-238	31 \pm 3	1.5 \pm 0.2	-
	Cs-137	16 \pm 2	0.21 \pm 0.02	7030 \pm 740
Sadine (Tološi) - vinograd, smeđe na šljunku, 4.3 $\mu\text{R/h}$, 19 cm	K-40	229 \pm 23	1.1 \pm 0.1	-
	Th-232	22 \pm 2	1.7 \pm 0.2	-
	U-238	25 \pm 3	1.2 \pm 0.1	-
	Cs-137	30 \pm 4	0.32 \pm 0.03	6660 \pm 740
Ulica Boška Buhe (Tološi), smeđe na šljunku, 3.6 $\mu\text{R/h}$, 23 cm	K-40	174 \pm 18	0.80 \pm 0.08	-
	Th-232	18 \pm 2	1.4 \pm 0.1	-
	U-238	21 \pm 2	1.0 \pm 0.1	-
	Cs-137	26 \pm 3	0.35 \pm 0.04	8880 \pm 740

Proučavani region je, kao uostalom i najveći dio Evrope, kontaminiran radioaktivnim cezijumom tehnogenog porijekla. Međutim, ta kontaminiranost je u ovom regionu neznatna i približno istog je nivoa kao i na Crnogorskom primorju [6]. Srednja vrijednost jačine ekspozicione doze koja potiče od ^{137}Cs u zemlji je 0,42 $\mu\text{R/h}$, što je manje od 5% od ukupne srednje globalne jačine ekspozicione doze sa uračunatim kosmičkim radijacionim fonom.

Izmjerena površinska aktivnost ^{137}Cs nalazi se u opsegu (6290-8880) Bq/m², a njegova specifična aktivnost u zemljištu u opsegu (16-59) Bq/kg. Najniže vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{137}Cs i odgovarajućih diferencijalnih ekspoziционих doza izmjerene su na lokalitetima oba vinograda i u bašti kuće u Tološima. Uzrok tome je što se tu zemljište obrađuje, čime se njegovi slojevi prevrću i miješaju, tako da cezijum odlazi u dublje slojeve zemljišta. Ovaj zaključak je u saglasnosti sa najvećim debljinama površinskog sloja zemljišta kontaminiranog cezijumom, nađenim na tim mjernim mjestima (vidjeti Tabelu 1).

Izmjerene vrijednosti specifičnih aktivnosti ^{40}K , ^{232}Th i ^{238}U su uglavnom uobičajene za ovakve tipove zemljišta. Jedino se u vinogradu u Čemovskom polju i na livadi u Ostrosu primjećuje osjetno smanjenje sadržaja kalijuma u zemljištu, što je vjerovatno rezultat intenzivne dugogodišnje poljoprivredne proizvodnje na tim mjestima. Takva pojava nije konstatovana u vinogradu u Tološima. Na oba mjerna mjesta u Tološima (vinograd i bašta) nađene su praktično iste koncentracije K, Th i U.

ZAKLJUČAK

Fon gama-zračenja u regionu Skadarskog jezera je uglavnom niži, mjestimično čak i znatno, od prosječnog u svijetu.

Zemljište u širem području Jezera je neznatno kontaminirano radioaktivnim cezijumom.

LITERATURA

1. KOGAN R.M., NAZAROV I.M., FRIDMAN Š.D.: "Osnovi gama-spektrometrii prirodnih sred". Izd.3-e, 1991, Moskva, Energoatomizdat, s. 232.
2. PHELPS P.L., ANSPAUGHT L.R., ROTH S.J., HUCKABAY G.W., SEWYER D.L.: "Ge(Li) Low Level In-Situ Gamma-Ray spectrometer Applications". - IEEE Trans. on Nucl. Sci., 1974, v. NS-21, p.543-548.
3. BECK H.L., DE CAMPO J.A., GOGOLAK C.V.: "In Situ Ge(Li) and NaI(Tl) Gamma-Ray Spectrometry". HASL - 258,1972.
4. DOBRININ J.L., KUZMIČ V.V.: "Metod poljevoj poluprovodnikovoj gama-spektrometrii dlja radioekologičeskikh isledovaniji (realizacija rasčetnjih modeli)". Preprint IAE-4899/1, 1989, s.20.
5. UNSCEAR (1988): Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, (prevod na ruski), tom, 1, str. 534.BACKGROUND GAMMA-
6. BORISOV G.I., KUZMIČ V.V., KULAKOV V.M., ANTOVIĆ N, VUKOTIĆ P.: "Nekatorie danji o radioekologiji poberežja Černogoriji", Zbornik radova IX Kongresa fizičara Jugoslavije, Petrovac, 29-31 maj 1995, s. 633-636.

RADIATION IN THE REGION OF SCADAR LAKE

G.I. Borisov, V.V.Kuzmič, V.K.Kulakov, N.Antović, P.Vukotić, S.Dapčević,
M.Mirković, R.Pajović, R.Svrkota, B.Fušić, G.Đuretić

Summary

Measurement of background gamma-radiation in the region of Scadar Lake is performed by method of in situ gamma-spectrometry. Portable gamma-spectrometer, consisting of HPGe detector (CANBERRA, beryllium window, 100 cm³ active volume), 4k multichannel analyser with 100 Mhz ADC, and LAPTOP FAST computer is used for in situ measurements. Three measurement sites are chosen on basis of their geological and opedological properties, characteristic for a larger area. The other three measurement sites are chosen because of being affected by strong and long-lasting antropogenic impact (two vineyards and one house garden).

Surface activities of ¹³⁷Cs, specific activities of ²³⁷Cs, ⁴⁰K, ²³²Th and ²³⁸U in the soil, as well as total and differential exposure dose rates in the air, originating from these radionuclides in soil, are obtained with a typical 10% error. The level of background gamma-radiation found in the region of Scadar Lake, in general is below global world average, in some places much lower. Soil contamination with radioactive cesium in this region is almost negligible. Specific activity of ¹³⁷Cs is in (16-59) Bq/kg range, and its surface activity is (6290-8880) Bq/m².