

Desorpcija ^{137}Cs iz mahovine *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. slabo kiselim rastvorima

Ana A. Čučulović¹, Dragan S. Veselinović²

¹INEP – Institut za primenu nuklearne energije, Univerzitet u Beogradu, Zemun, Srbija

²Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Izvod

Desorpcija ^{137}Cs iz mahovine *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. vršena je korišćenjem pet uzastopnih desorpcija sa pet identičnih zapremina rastvora. Za desorpciju su korišćeni rastvori: H_2SO_4 , HNO_3 i njihova smeša, $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$, pH vrednosti 4,61; 5,15 i 5,75; kao i destilovana voda pH 6,50. Posle pet sukcesivnih desorpcija iz mahovina je od sorbovane kiseline desorbovano od 22,8% (rastvor $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$ pH 5,75) do 33,2% (rastvor $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$ pH 4,60) ^{137}Cs , a destilovanom vodom 31,3% ^{137}Cs . Prvom desorpcijom iz mahovine desorbuje se najviše ^{137}Cs , od 9,0 do 17,9%. Srednje vrednosti procenta ukupno desorbovanog ^{137}Cs iz mahovine su slične: za rastvor H_2SO_4 28,8%; HNO_3 25,7% i $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$ 28,6%, što ukazuje da NO_3^- i SO_4^{2-} nemaju uticaj na desorpciju Cs^+ . Korišćene pH vrednosti rastvora ne utiču značajno na desorpciju ^{137}Cs iz mahovine. Posle pet sukcesivnih desorpcija iz mahovine ^{137}Cs se ne desorbuje u značajnoj meri. U intervalu pH od 4,61 do 6,50 desorpcione supstance su H_2O i H^+ , a manji uticaj imaju SO_4^{2-} i NO_3^- . Postoje dva mesta sorpcije, odnosno dve vrste sorpcije, pri čemu je jedna dominantna.

Ključne reči: desorpcija ^{137}Cs , *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. mahovina, kisele kiše.

Dostupno na Internetu sa adrese časopisa: <http://www.ache.org.rs/HI/>

U periodu od 1959–1963. godine izvršene su mnoge nuklearne probe čime su bile oslobođene i velike količine raznih radionuklida, među kojima su za živi svet najznačajniji ^{137}Cs , ^{134}Cs i ^{90}Sr , zbog njihovog dugog fizičkog vremena poluraspada ($t_{1/2} = 30,2$; 2,1 i 28 godina, redom) i biološke aktivnosti u organizmu. Zbog zadovoljavanja energetske potrebe izgrađene su nuklearne elektrane, ali zbog faktora čovek u periodu od 1945. do 1987. godine desilo se 28 akcidenata, od kojih su za zagađenje životne sredine radionuklidima najznačajniji: Kištim (1957.), Vindskejl (1957.), Ostrvo Tri milje (1979.) i Černobilj (1986.). Akcidentom u Černobilju, na području bivše Jugoslavije je deponovano 2,4% od ukupno ispuštenih radionuklida (bez inertnih gasova), odnosno oko 5% ^{131}I i oko 10% ^{137}Cs . ^{137}Cs je hemijski i biohemijski homolog kalijuma i u organizmu prati njegov metabolizam. Od dužine zadržavanja ^{137}Cs u organizmu zavisi i telesno oštećenje organizma koje je zagađeno ovim radionuklidom [1–6].

Mahovine su veoma stara i primitivna grupa organizama, koja se odlikuje posebnom građom i specifičnom ekologijom u odnosu na više biljke. Nemaju razvijene biljne organe u pravom smislu reči: cela biljka (talus) se sastoji od rizoida koga čine pojedinačne ćelije, stabalce i listići, nemaju kutikulu, ni stome kojima bi regulisale transpiraciju i lako upijaju zagađujuće sup-

Prepiska: A.A. Čučulović, INEP – Institut za primenu nuklearne energije, Univerzitet u Beogradu, Banatska 31b, 11080 Zemun, Srbija.

E-pošta: anas@inep.co.rs

Rad primljen: 11. decembar, 2012

Rad prihvaćen: 4. februar, 2013

NAUČNI RAD

UDK 66.081.5:582.32

Hem. Ind. 67 (6) 975–980 (2013)

doi: 10.2298/HEMIND121211014C

tance iz svoje okoline (radionuklide, teške metale, pesticide...). Usvajanje, odnosno, sadržaj zagađujućih supstanci u talusu mahovina je posledica unutrašnjih i spoljašnjih činilaca. Glavni sadržaj fisionih radionuklida je u gornjim, zelenim, delovima biljke i procenjuje se da je akumulacija radionuklida proporcionalna unosu [7].

Mahovine su pioniri vegetacije i značajni organizmi jer naseljavaju nepristupačne predele, stvaraju humus, sedru i treset, smanjuju eroziju duž reka i potoka, regulišu vlažnost u ekosistemima i omogućavaju naseljavanje ostalih biljaka. Buseni mahovina su miniekosistemi i staništa sitnim beskičmenjacima i nekim bakterijama. Mahovine imaju veliku upotrebnu vrednost: koriste se u medicini, farmaciji i veterini, neke vrste služe za prehranu i ishranu divljači u zimskim mesecima, a upotrebljavaju se kao đubrivo za određene tipove hortikulture.

Mahovine su dobri bioindikatori (imaju sposobnost da ukažu na prisustvo zagađujućih supstanci iz sredine u kojoj se nalaze) i biomonitori (daju kvantitativnu informaciju o nivoima zagađenja i ukazuju na promene sa vremenom) zagađenja životne sredine. Pomoću mahovina se mogu prikupiti verodostojne informacije o prostornoj i vremenskoj podeli i trendovima zagađenja vazduha i okoline zagađujućim supstancama, na pr. radionuklidima, posebno u uslovima nuklearne nesreće i nekontrolisane emisije fisionih produkata [8–20].

Atmosferske padavine dolaze do mahovina suvim ili vlažnim padavinama. Kisele kiše se obrazuju kako od SO_2 , tako i od NO_2 , koji H_2SO_4 i HNO_3 grade nakon oksidacije u toku atmosferskog prenosa [1]. Ako mahovina

sorbuje određenu supstancu (na pr. ^{137}Cs), ona postaje njome zagađena, a kada se mahovina unese u vodu ili se povremeno obliva kišom ili drugim rastvorima, koja ne sadrže supstancu koja je sorbovana u mahovini, ta supstanca podleže desorpciji iz mahovine. Navedenim procesom dolazi do prenosa supstance iz čvrste faze u tečnu, odnosno, ako se radi o zagađujućoj supstanci, dolazi do njenog prenosa u tečnu fazu. Ovo je osnovni proces koji se dešava kada se mahovina, unese u vodu ili ako biva oblivena kišom. U prvom slučaju radi se o sistemu sa jednokratnom desorpcijom, a u drugom, kada se imitira povremeno padanje kiše, radi se o sistemu koji radi na principu sukcesivnih desorpcija. S obzirom na to da od sastava kiše, tj. kiselosti kiše kao desorpcionog rastvora, zavisi količina desorbovane supstance, to će i prenos zagađujuće supstance desorbovane sa kišom dovesti do prenosa i širenja zagađenja u većoj ili manjoj meri u okolinu [21].

Mahovine kao objekat bioindikacije su znatno manje korišćene od lišajeva, možda zbog toga što ima znatno više vrsta epifitskih lišajeva koji su pogodni za biomonitoring zagađenosti životne sredine.

U našim prethodnim radovima praćena je desorpcija ^{137}Cs iz lišaja *Cetraria islandica* kiselim rastvorima različitih pH vrednosti od 2,00 do 5,75 [21–26]. Znajući da su kisele kiše padavine pH vrednosti manje od 5,60 i da ne postoje podaci o desorpciji ^{137}Cs iz mahovine *Homalothecium sericeum* rastvorima koji imaju sastav sličan sastavu kiselih kiša, u ovom radu je ispitivana desorpcija ^{137}Cs iz mahovine *H. sericeum* rastvorima pH vrednosti 4,61; 5,15 i 5,75. S obzirom na to da Cs pripada grupi alkalnih metala, to je od interesa razmatranje uticaja H^+ , na njegovu desorpciju, bez jednovremenog delovanja i drugih katjona, što je cilj ovog rada.

EKSPERIMENTALNI DEO

U radu su korišćene hemikalije: H_2SO_4 p.a., Merck (Nemačka), HNO_3 p.a., Alkaloid (Skoplje, Makedonija). Destilovana voda (D), pH vrednosti 6,50.

Za merenje pH vrednosti rastvora korišćeni su pH metar Iskra MA 5730 i puferski rastvori, pH 4,00 i 7,00, Carlo Erba (Italija).

Rastvori A i B su napravljeni tako što je u 200 mL destilovane vode dodavana koncentrovana H_2SO_4 , odnosno HNO_3 dok nije postignuta pH vrednost 4,61; 5,15 i 5,75 (rastvori H_2SO_4 : A_1 , A_2 i A_3 , i HNO_3 : B_1 , B_2 i B_3). Rastvor C je dobijen mešanjem 100 mL rastvora A i 100 mL rastvora B (rastvori C_1 , C_2 i C_3).

Masa je merena na analitičkoj vagi Mettler (osetljivosti 0,1 mg).

Korišćen je standardni filter papir, Merck (Nemačka) za filtraciju rastvora koji su dobijeni desorpcijom mahovine rastvorom A, B, C ili destilovanom vodom (D).

Uzorci mahovine *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schimp., sakupljeni su u Crnoj Gori (Andrijevića) 2002.

godine i čuvani u papirnim vrećama. Osušeni, očišćeni od nečistoća koje su vizuelno mogle da se uoče i mehanički usitnjeni uzorci mahovine su odmeravani na analitičkoj vagi, u količini od 10 g i stavljani u plastične posude prečnika 7,5 cm i zapremine 150 cm^3 . U tako pripremljenim uzorcima meren je nivo aktivnosti ^{137}Cs . Prilikom rada nije bilo razaranja biljnog materijala.

U eksperimentu je 10 g suve mase mahovine, nakon merenja aktivnosti, preliveno sa 200 mL destilovane vode (D) ili rastvorima koji imitiraju sastav kisele kiše: A – H_2SO_4 ; B – HNO_3 i C – $\text{H}_2\text{SO}_4\text{--HNO}_3$ (smeša, 1:1), a zatim je ostavljeno da stoji radi uravnotežavanja 24 časa.

Desorpcije su vršene na sobnoj temperaturi (22 °C) u trajanju od 24 časa uz povremeno mešanje. Posle svake desorpcije, od ukupno 5, nakon filtracije, uzorci mahovine su sušeni na sobnoj temperaturi u otvorenoj posudi do konstantne mase. Izmerene su aktivnosti uzoraka, a i aktivnosti dobijenih rastvora posle desorpcije. Zatim su sa po 200 mL rastvora vršene naredne sukcesivne desorpcije, ponavljajući postupak filtracije i sušenja. Urađeno je po pet sukcesivnih desorpcija. Sve serije ponovljene su 2 puta.

Za određivanje aktivnosti u uzorcima mahovine korišćena je gamaspektrometrijska metoda. Uzorci su mereni na gamaspektrometru sa HPGe detektorom, proizvođača Ortec-Ametek sa 8192 kanala, rezolucije 1,65 keV i efikasnosti 34% na 1,33 MeV ^{60}Co sa greškom merenja ispod 5,0%. Za obradu spektara korišćen je softver Gamma Vision-32 [27]. Pre merenja izvršene su energetska kalibracija i kalibracija efikasnosti spektrometra pomoću kalibracionog izvora koji sadrži smešu radionuklida poznatih aktivnosti. Nivo aktivnosti ^{137}Cs meren je u uzorcima pre i posle svake desorpcije, pod istim geometrijskim uslovima, u trajanju od 1 časa. Izračunate su specifične aktivnosti (Bq/kg) uzoraka. Sadržaj ^{137}Cs u svakom uzorku izražen je kao procenat preostalog cezijuma u uzorku nakon svake desorpcije u odnosu na njegov sadržaj u polaznom uzorku. On je dobijen izražavajući aktivnost uzorka nakon svake desorpcije kao procenat aktivnosti polaznog uzorka.

Smanjenje mase uzoraka posle svih desorpcija je zanemarljivo, jer je manje od greške merenja. Greška merenja je standardna devijacija svih pojedinačnih merenja istog tipa (pH vrednosti) nezavisno od vrste rastvora.

REZULTATI I DISKUSIJA

U tabeli 1 prikazani su nivoi aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u mahovini *H. sericeum*, pre desorpcije, procenat desorbovanog ^{137}Cs iz mahovine posle svake od pet uzastopnih desorpcija rastvorima A–C i destilovanom vodom (D), kao i procenat ukupno desorbovanog ^{137}Cs iz mahovine.

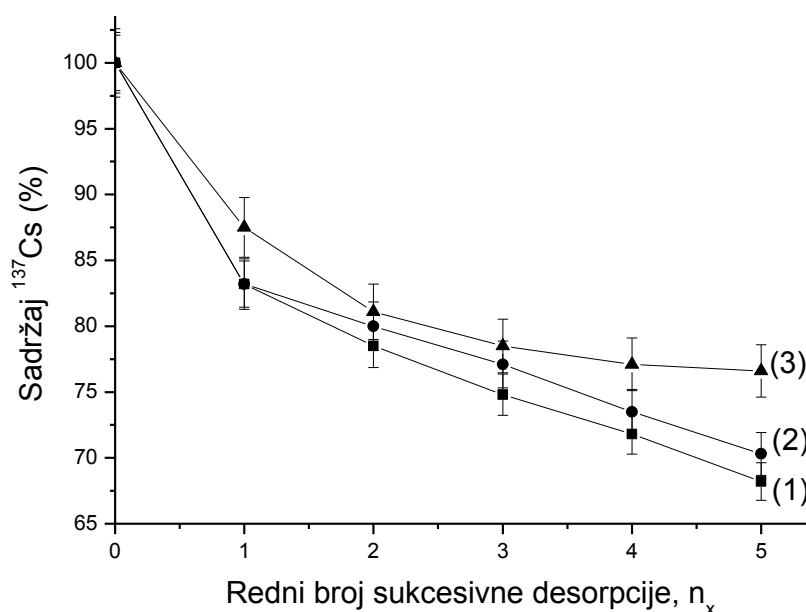
Tabela 1. Srednje vrednosti aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u mahovini *H. sericeum* pre desorpcije, procenat nedorobovanog ^{137}Cs posle svake uzastopne desorpcije rastvorima A–C i destilovanom vodom (D). Sobna temperatura ≈ 22 °C. Srednja greška merenja: 3,5%
 Table 1. Mean ^{137}Cs activity (Bq/kg) in *H. sericeum* moss before desorption, percentage of non-desorbed ^{137}Cs after each consecutive desorption using solutions A–C and distilled water (D). Room temperature ≈ 22 °C. Mean measurement error: 3.5%

pH	4,60			5,15			5,75			6,50
Rastvor	A	B	C	A	B	C	A	B	C	D
Desorpcija	Nivo aktivnosti ^{137}Cs u mahovini pre desorpcije A_0 (Bq kg $^{-1}$)									
	552	513	498	538	476	493	550	505	490	523
	Procenat nedorobovanog ^{137}Cs u lišaju posle svake uzastopne desorpcije									
I	83,2	85,1	82,3	82,1	84,1	83,2	91,0	87,5	89,1	87,9
II	78,5	81,1	77,2	76,9	80,3	80,0	85,6	81,1	86,4	82,0
III	74,8	78,6	73,5	72,9	77,2	77,1	83,1	78,5	81,8	76,9
IV	71,8	76,7	68,7	70,2	75,1	73,5	77,5	77,1	78,8	71,1
V	68,2	75,2	66,8	69,3	71,1	70,3	76,1	76,6	77,2	68,7
	Ukupno desorbovano ^{137}Cs iz lišaja, %									
	31,8	24,8	33,2	30,7	28,9	29,7	23,9	23,4	22,8	31,3

Nivoi aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima mahovine *H. sericeum* je bio od 476 do 552 Bq/kg. Posle pet desorpcija iz mahovina je desorbovano od 22,8% (rastvor C, pH 5,75) do 33,2% (rastvor C, pH 4,61) ^{137}Cs od početne vrednosti. Destilovanom vodom (D) iz mahovine je desorbovano 31,3% ^{137}Cs od početne vrednosti. Prvom desorpcijom iz mahovine desorbuje se ^{137}Cs u najvećem procentu (od 9,0 do 17,9%). Srednja vrednosti desorpcija ^{137}Cs iz mahovina rastvorom A je 28,8%, B 25,7%, C 28,6%. Na osnovu rezultata zaključuje se da pH vrednost rastvora ne utiče značajno na desorpciju ^{137}Cs iz mahovine i da se posle pet sukcesivnih desorpcija ^{137}Cs ne desorbuje značajno iz mahovine. Ovi rezultati uka-

zuju da je u intervalu pH od 4,61 do 6,50 dominantna desorpciona supstanca H_2O , a manji uticaj imaju SO_4^{2-} , NO_3^- i H^+ .

Ako se uporede rezultati naših prethodnih istraživanja desorpcije ^{137}Cs iz lišaja *Cetraria islandica* rastvorima iste pH vrednosti i istog sastava sa rezultatima prikazanim u ovom radu zaključuje se da se iz lišaja približno dva puta više desorbuje ^{137}Cs nego iz mahovina. Pretpostavlja se da je to posledica različite građe navedenih biljnih vrsta, selektivnosti njihovih polupropustljivih membrana, sorpcije ^{137}Cs u talusu, starosti biljke, mesta nalaženja. Rezultati ukazuju na složenost apsorpcionog i desorpcionog sistema tj. biljnih vrsta [26].



Slika 1. Sadržaj ^{137}Cs u mahovini *H. sericeum* u odnosu na početni sadržaj (100%), u zavisnosti od rednog broja sukcesivnih desorpcija, n_x rastvorima A, pH 4,61 (1), B, 5,75 (3) i C, pH 5,15 (2).

Figure 1. ^{137}Cs content in *H. sericeum* moss in relation to the starting content (100%), depending on the consecutive desorption number, n_x , using solutions A, pH 4.61 (1), B, 5.75 (3) and C, pH 5.15 (2).

Promena desorbovane količine ¹³⁷Cs od broja uzastopnih desorpcija, daje eksponencijalne krive, koje ne zavise od pH vrednosti i vrste rastvora (Slika 1).

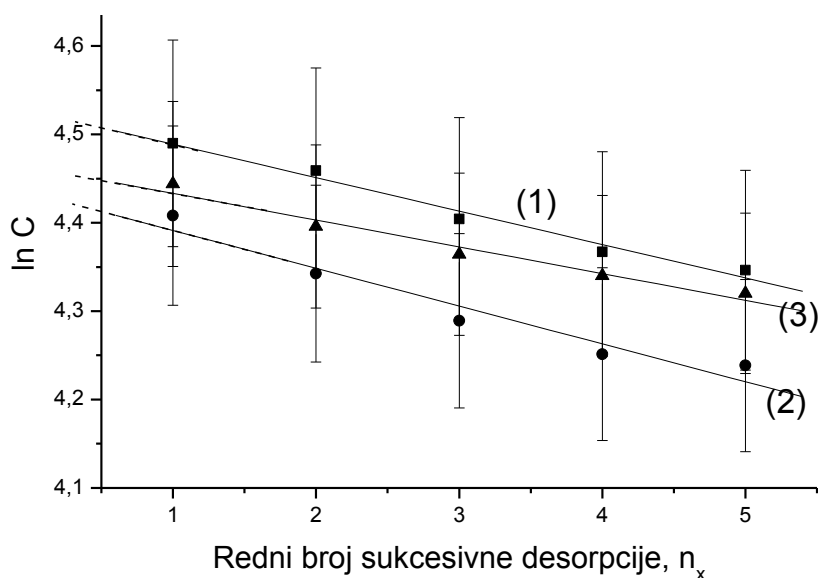
Naša prethodna istraživanja su pokazala da se uzastopnim desorpcijama sa jednakim zapreminama desorbensa menja i količina preostale sorbovane supstancije (C_x) sa brojem desorpcija (n_x), što se može prikazati jednačinom (1):

$$\ln C_x = \ln C_0 - \underline{a}n_x \quad (1)$$

gde su C_0 – sadržaj sorbovane supstance u lišaju pre desorpcije, \underline{a} – konstanta, n_x – broj sukcesivnih desorpcija jednakim zapreminama desorpcionog rastvora (kojih je bilo 5), C_x – količina sorbovane supstance pri određenoj vrednosti n_x .

Kada postoji samo jedan tip sorpcije, ili ako jedan od više tipova preovlađuje (pa se ostali mogu da zanemare), kada se koristi jednačina (1) za realni sistem se dobija da je zavisnost logaritma količine sorbovane supstancije u čvrstoj fazi linearna funkcija broja sukcesivnih zapremina rastvora korišćenog pri desorpciji, n_x . Ako sorbent ima mogućnost da sorbovanu supstanciju veže različitim tipovima sorpcije, odnosno na različita mesta sorbenta kada se koristi jednačina (1) dobija se da je zavisnost logaritma količine sorbovane supstancije u čvrstoj fazi nelinearna funkcija broja sukcesivnih zapremina rastvora korišćenog pri desorpciji, n_x . tj. dolazi do odstupanja od prave linije.

U ovim istraživanjima, dobijen je samo jedan tip krivih, slika 2, koji čine prave linije, čiji je presek sa ordinatnom osom, tj. vrednost C_0 manja od 100%.



Slika 2. Logaritam sadržaja (%) ¹³⁷Cs u mahovini *H. sericeum*, $\ln C$, u zavisnosti od broja sukcesivnih desorpcija (n_x) rastvorima: C, pH 5,75 (1), A, pH 5,15 (2) i B, pH 4,61 (3). Početni sadržaj: $C_0 = 100\%$.

Figure 2. Logarithm of the ¹³⁷Cs content (%) in *H. Sericeum* moss, $\ln C$, depending on the consecutive desorption number (n_x) using solutions: C, pH 5.75 (1), A, pH 5.15 (2) and B, pH 4.61 (3). Starting content $C_0 = 100\%$.

Tabela 2. Vrednosti početnih aktivnosti ¹³⁷Cs (C_{0e}), određenih ekstrapolacijom pravih (Slika 2), i razlika (ΔC_0) u odnosu na izmerene početne aktivnosti C_0 (100%)

Table 2. Values of starting activity of ¹³⁷Cs (C_{0e}), determined by extrapolation of straight lines (Figure 2), and differences (ΔC_0) in relation to measured starting activities of C_0 (100%)

Desorpcioni rastvor	pH	$C_{0e} / \%$	$\Delta C_0 = 100 - C_{0e} (\%)$
A	4,61	84,8	15,2
	5,15	84,6	15,4
	5,75	84,6	15,6
B	4,61	82,7	17,3
	5,15	85,6	14,4
	5,75	85,2	14,8
C	4,61	92,8	7,2
	5,15	86,5	13,5
	5,75	90,9	9,1
Destilovana voda	6,50	90,0	10,0

Ekstrapolacijom dobijenih pravih linija dobijene su vrednosti $\ln C_{0e}$ za $n = 0$ koje su prikazane u tabeli 2. Iz tabele 2 sledi da su vrednosti ΔC_0 (gde je $\Delta C_0 = 100 - C_{0e}$) od 7,2 do 17,3%. Dobijene vrednosti ukazuju da su prisutne najmanje dve vrste sorpcije ¹³⁷Cs koje se znatno razlikuju po jačini veza. Slabije je vezan deo ¹³⁷Cs koji se desorbuje korišćenim zapreminama desorpcionog rastvora. Ostali deo sorbovanog ¹³⁷Cs je daleko jače vezan, pa su i koncentracije desorbovanog ¹³⁷Cs daleko niže, i ne utiču na značajniju izmenu ravnotežnih koncentracija dobijenih u korišćenim zapreminama ekstragensa. Ovo dovodi do toga da grafik jednačine (1) ne odstupa od prave linije.

ZAKLJUČAK

Posle pet desorpcija iz mahovina je desorbovano od 22,8 do 33,2% ¹³⁷Cs od početne vrednosti. Destilovanom vodom (D) iz mahovine je desorbovano 31,3% ¹³⁷Cs od početne vrednosti. Srednje vrednosti desorpcija ¹³⁷Cs iz mahovina rastvorima A, B su 29,9% tj. 29,8%, dok je za rastvor C nešto niža (23,3%). Prvom desorpcijom iz mahovine desorbuje se ¹³⁷Cs u najvećem procentu (od 9,0 do 17,9%).

Promena desorbovane količine ¹³⁷Cs od broja uzastopnih desorpcija, daje eksponencijalne krive, koje ne zavise od pH vrednosti i vrste rastvora.

U ovim istraživanjima, dobijen je samo jedan tip krivih, koji čine prave linije, čiji je presek sa ordinatnom osom, tj. vrednost C_0 manja od 100%.

Zahvalnica

Ovaj rad finansiralo je Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Projekat broj: III 43009).

LITERATURA

- [1] D. Veselinović, I.A. Gržetić, Š.A. Đarmati, D. Marković, Stanja i procesi u životnoj sredini, Fizičko-hemijski osnovi zaštite životne sredine, knjiga I, Udžbenici Fizičke hemije, Fakultet za fizičku hemiju, Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1995.
- [2] M. Jovanović, Jonizujuća zračenja i životna sredina, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1983, str. 107–190.
- [3] N. Xavkes, G. Lean, D. Leigh, R. McKie, P. Pringle, A. Wilson, Najgora nesreća na svijetu, Černobil: kraj nuklearnog sna, Globus, Zagreb, 1987.
- [4] Savezni komitet za rad, zdravstvo i socijalnu zaštitu, Nivo radioaktivne kontaminacije čovekove sredine i ozračenost stanovništva Jugoslavije 1986. godine usled havarije nuklearne elektrane u Černobilju, Beograd, 1987.
- [5] F.W. Whicker, Impacts of large radionuclide releases on plant and animal populations, in: Ciba Foundation, Health Impacts of Large Releases of Radionuclides, John Wiley, London, 1997, pp. 74–93.

- [6] A.L. Nichols, E. Hunt, Nuclear data table, in: G. Longworth, Ed., The radiochemical manual, Howell, 1998.
- [7] D.H.S. Richardson, The Biology of Mosses, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1981
- [8] A. Basile, S. Sorbo, G. Aprile, B. Conte, R. Castaldo Cobianchi, Comparison of the heavy metal bioaccumulation capacity of an epiphytic moss and epiphytic lichen, Environ. Pollut. **151** (2008) 401–407.
- [9] S. Chakraborty, G.T. Paratkar, Biomonitoring of Trace Element Air Pollution Using Mosses, Aerosol, Air Quality Res. **6** (2006) 247–258.
- [10] A. Čučulović, D. Popović, R. Čučulović, J. Ajtić, Natural radionuclides and ¹³⁷Cs in moss and lichen in Eastern Serbia, Nucl. Technol. Radiat. **27**(1) (2012) 44–51.
- [11] A. Čučulović, D. Veselinović, Mosses as biomonitors for radioactivity following the Chernobyl accident, Arch. Biol. Sci. Belgrade **63**(4) (2011) 1117–1125.
- [12] A. Čučulović, R. Čučulović, M. Sabovljević, D. Veselinović, Activity concentrations of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in mosses from spas in Eastern Serbia, Arch. Biol. Sci., Belgrade **64**(3) (2012) 917–925.
- [13] A. Čučulović, R. Čučulović, S. Nestorović, D. Veselinović, Levels of activity of ⁴⁰K and ¹³⁷Cs in samples of bioindicators from the National park Đerdap, in Proceedings of XIX International Scientific and Professional meeting ecological Truth Eco-ist 11, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Bor, 2012, pp. 18–23.
- [14] C. Delfanti, C. Papucci, C. Benco, Mosses as indicators of radioactivity deposition around a coal-fired power station, Sci. Total Environ. **227** (1999) 49–56.
- [15] E.F. Elstner, R. Fink, W. Höll, E. Lengfelder, H. Ziegler, Natural and Chernobyl-caused radioactivity in mushrooms, mosses and soil-samples of defined biotops in SW Bavaria, Oecologia **73** (1987) 553–558.
- [16] C. Giovani, G. Bolognini, P.L. Nimis, Bryophytes as indicators of radioactive deposition in northeastern Italy, Sci. Total Environ. **157** (1994) 35–43.
- [17] R.E. Longton, The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems, Bryophytes and Lichens in a Changing Environment, J.W. Bates, A.M. Farmer, Eds., Clarendon press, Oxford, 1992.
- [18] C. Papastefanou, M. Manolopoulou, T. Sawidis, Lichens and mosses: Biological monitors of radioactive fallout from the Chernobyl reactor accident, J. Environ. Radioact. **9** (1989) 199–207.
- [19] C. Papastefanou, M. Manolopoulou, T. Sawidis, Residence time and uptake rates of ¹³⁷Cs in lichens and mosses at temperate latitude (40° N), Environ. Int. **18** (1992) 397–401.
- [20] T. Sawidis, L. Tsikritzis, K. Tsigaridas, Cesium-137 monitoring using mosses from W. Macedonia, N. Greece, J. Environ. Manag. **90** (2009) 2620–2627.
- [21] A. Čučulović, Desorpcija ¹³⁷Cs i drugih metala iz lišaja *Cetraria islandica* kiselim rastvorima, doktorska disertacija, Fakultet za fizičku hemiju, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2007.
- [22] A. Čučulović, D. Veselinović, Š. S. Miljanić, Extraction of ¹³⁷Cs from *Cetraria islandica* lichen with water, J. Serb. Chem. Soc. **71**(5) (2006) 565–571.

- [23] A. Čučulović, D. Veselinović, Š. S. Miljanić, Extraction of ¹³⁷Cs from *Cetraria islandica* lichen using acid solutions, J. Serb. Chem. Soc. **72**(7) (2007) 673–678.
- [24] A. Čučulović, D. Veselinović, Š. S. Miljanić, ¹³⁷Cs Desorption from lichen Using Acid Solutions, Russ. J. Phys. Chem., A **83**(9) (2009) 1547–1549.
- [25] A. Čučulović, D. Veselinović, Š. S. Miljanić, Desorption of ¹³⁷Cs from *Cetraria islandica* (L.) Ach. using solutions of acids and their salts mixtures, J. Serb. Chem. Soc. **74**(6) (2009) 663–668.
- [26] A. Čučulović, D. Veselinović, Š.S. Miljanić, Desorpcija radiocezijuma-137 iz lišaja *Cetraria islandica* (L.) Ach. rastvorima koji simuliraju kisele kiše, Hem. Ind. **66**(5) (2012) 701–708.
- [27] Gamma Vision-32: Gamma-Ray Spectrum Analysis and MCA Emulator, Software User's Manuel, ORTEC.

SUMMARY

DESORPTION OF ¹³⁷Cs FROM *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. MOSS USING WEAKLY ACID SOLUTIONS

Ana A. Čučulović¹, Dragan S. Veselinović²

¹INEP – Institute for the Application of Nuclear Energy, University of Belgrade, Zemun, Serbia

²Faculty of Physical Chemistry, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

(Scientific paper)

Desorption of ¹³⁷Cs from *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. moss was performed using five consecutive desorptions with five identical solution volumes. The following solutions were used for desorption: H₂SO₄, HNO₃ and their mixture H₂SO₄–HNO₃, with pH values of 4.61; 5.15 and 5.75; and also distilled water pH 6,50. After five consecutive desorptions from 22.8% (solution H₂SO₄–HNO₃, pH 5.75) to 33.2% (solution H₂SO₄–HNO₃, pH 4.60) of ¹³⁷Cs was desorbed by the sorbed acid, while by distilled water 31.3% of ¹³⁷Cs was desorbed. The highest amount of ¹³⁷Cs was desorbed by the first desorption, from 9.0 to 17.9%. Mean values of the total percentage of desorbed ¹³⁷Cs from moss were similar: for solution H₂SO₄ 28.8%; HNO₃ 25.7% and H₂SO₄–HNO₃ 28.6%, which indicates that NO₃⁻ and SO₄²⁻ do not have an influence on Cs⁺ desorption. The used pH values of solutions do not significantly influence ¹³⁷Cs desorption from moss. After five consecutive desorptions ¹³⁷Cs was not significantly desorbed from moss. In the pH interval of 4.61 to 6.50 the desorbed substances were H₂O and H⁺, while SO₄²⁻ and NO₃⁻ had a smaller influence. There are two sorption points, *i.e.*, two sorption types where one is dominant.

Keywords: ¹³⁷Cs desorption • *Homalothecium sericeum* (Hedw.) Schim. • Acid rain