

Bioindikatori kao sredstvo za analizu zagađenosti životne sredine

Slavka Stanković¹, Antonije Onjia², Ivana Smičiklas²,
Marija Šljivić-Ivanović², Mihajlo Jović²

Pregledni rad
UDC:504.75.064:631.427

UVOD

Metali dospevaju u životnu sredinu iz prirodnih izvora i posredstvom ljudske aktivnosti. Toksični metali odnosno njihova sve veća zastupljenost u vazduhu, vodi i zemljištu, postali su globalni problem. Pojedini metali potencijalno su opasni po biljke, životinje i ljude, posebno zbog svoje toksičnosti, sposobnosti da se bioakumuliraju i bionerazgrađuju prirode. Kao njihov glavni uticaj mogu se navesti kontaminacija ekosistema i zdravstveni problemi koje mogu izazvati kod ljudske populacije. Ovi problemi su uzrok povećane zabrinutosti javnosti širom sveta.

Primena živih organizama ima niz prednosti u odnosu na standardne hemijske metode analize toksičnih metala u uzorcima iz životne sredine (voda, vazduh, sediment, zemljište). Praćenje i kontrola zagađenja toksičnim metalima najčešće je ograničeno mogućnostima i granicama detekcije postojećih analitičkih tehnika, dok su koncentracije metala u živim organizmima obično veće u odnosu na posmatrani medijum, pa se ispitivanjem živih organizama smanjuje mogućnost zagađenja uzoraka istim pri njihovom sakupljanju i analizi. Poseban problem kod klasičnih metoda analize uzoraka iz životne sredine predstavlja nedostatak korelacije između ukupne koncentracije toksičnih metala u posmatranom medijumu i njihove biološke dostupnosti. Živi organizmi, za razliku od klasičnih metoda, omogućavaju određivanje tačne koncentracije biološki dostupnih oblika metala u posmatranoj sredini. Takođe, bioindikatori nam daju "rane upozoravajuće signale" o mogućim efektima zagađujućih materija na populacije ili komune i pružaju mogućnost blagovremene reakciju u cilju sprečavanja većih posledica po životnu sredinu.

Različite vrste živih organizama, biljke i životinje, pa čak i ljudi, mogu se koristiti kao bioindikatori

Adresa autora: ¹Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, ²Institut za nuklearne nauke Vinča, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

Rad primljen: 20. 04. 2015.

Rad prihvaćen: 21. 05. 2015.

zagađenja životne sredine toksičnim metalima, prvenstveno zbog njihove sposobnosti da apsorbuju toksične metale iz vazduha, vode, sedimenta, zemljišta i/ili putem lanca ishrane. U ovom radu biće obrađene nedavne studije o organizmima koji su širom sveta korišćeni kao bioindikatori toksičnih metala u vazduhu, vodi, sedimentu i/ili zemljištu.

TOKSIČNI METALI U ŽIVOTNOJ SREDINI

Prisustvo toksičnih metala u vodi, vazduhu, sedimentu i zemljištu u koncentracijama iznad dozvoljenih direktno ugrožava život biljaka, životinja i ljudi, kao značajnih karika u lancu ishrane [1]. Zbog toga je neophodno kontinualno praćenje i razmatranje dozvoljenih koncentracija toksičnih metala u vodi, vazduhu, zemljištu i živim organizmima, jer neželjeni efekti ne moraju biti trenutni, mnogo češće su kumulativni, a kako većina njih deluje inhibitory na enzime i enzimske sisteme koji su od životnog značaja, posledice njihovog dejstva mogu biti trajne i značajne. Dejstvo toksičnih metala na ljudski organizam može biti embriogeno, mutageno, teratogeno i kancerogeno, a moguće su i naknadne reakcije između pojedinih, inače, samih po sebi bezopasnih metala [1]. Toksični metali nisu biorazgrađivi i ne mogu se ukloniti procesom sagoravanja, predstavljaju trajne zagađujuće materije koje se akumuliraju kako u neživom tako i u živom svetu [2]. Toksičnost metala u mnogome zavisi od njihove hemijske forme. Jonski oblik metala je nepovoljniji jer joni u reakciji sa drugim prisutnim komponentama mogu nagraditi toksična jedinjenja poput oksiradikala koji izazivaju ozbiljna oštećenja ćelija biote [3]. Toksični metali u životnoj sredini potiču iz prirodnih izvora, kao i od raznovrsnih aktivnosti čoveka. Antropogeni uticaj predstavlja mozaik sastavljen od različitih tipova unosa zagađujućih materija i mehanizama od kojih su neki predvidivi, a neki ne. Do fizičkog ugrožavanja dolazi ispuštanjem zagrejanog voda, radioaktivnih materija i/ili neodgovarajućeg odlaganja smeća, dok industrijska postrojenja, prerada rude i nafte, poljoprivredna delatnost, kao i urbana sredina predstavljaju izvore hemijskog zagađenja [1, 2].

U velikoj grupi metala koja se može naći u našem okruženju možemo razlikovati metale koji su bitni za žive organizme, metale čija fiziološka uloga nije poznata u biljkama, životinjama i ljudima i toksične metale. Pojedini metali od suštinske su važnosti za živi svet, ali mogu postati i toksični usled njihove akumulacije u organizmima. Samo nekolicina od velikog broja metala prisutnih u životnoj sredini su od suštinskog značaja i živim organizmima su neophodni u minimalnim količinama. U ovu grupu spadaju mikronutrijenti Cu, Zn, Fe, Mn, Co, Mo, Cr i Se, neophodni organizmima u malim količinama tj. nekoliko mg ili μg na dan, i makronutrijenti Ca, Mg, Na, P, S, Cl, Si i K, neophodni u količinama od 100 i više mg na dan za optimalno funkcionisanje svih bioloških i biohemijskih procesa u organizmu [4]. Količine metala koje su potrebne za normalno funkcionisanje organizma određene su i definisane su samom prirodom vrste, a njihov nedostatak ili višak nepovoljno utiče na sam organizam i njegov psihofizički razvoj [5].

Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Ni, As i Hg su najčešći metali polutanti, a od njih Hg, Pb i Cd su najproblematičniji. Oni se mogu bioakumulirati preko lanca ishrane i predstavljaju toksičan rizik za vrste koje se nalaze na višem trofičkom nivou, a samim tim i za ljude. Klasifikacija elemenata u odnosu na njihovu toksičnost, dostupnost, izloženost i/ili usvajanje od strane organizama može se prikazati na sledeći način: 1) Bez rizika - Na, C, F, K, S, Sr, H, Cl, P, Li, Mg, Al, O, Br, Si, Fe, Rb, Ca, N; 2) Toksični, delimično rastvorni ili lako izloživi - Ti, Ga, Hf, Rh, Nb, Ir, La, Zr, Os, Ta, Ru, Re, W; i 3) Veoma toksični i lako izloživi - Be, As, Au, Cu, Pd, Pb, Co, Se, Hg, Zn, Ag, Sb, Ni, Te, Tl, Pt, Sn, Cd, Bi [4]. Toksičnost metala po žive organizme zavisi od njihove koncentracije, sposobnosti da grade kompleksna jedinjenja i stepena oksidacije. Najveća toksičnost je karakteristična za neorganska metalna jedinjenja koja su lako rastvorna i koja mogu lako da prodru kroz ćelijsku membranu i uđu u organizam. Kod toksičnosti metala, jonski oblik može imati veći uticaj nego i sama koncentracija posmatranog metala [1, 5].

PROPISI I ZAKONI

Evropska unija (EU) definiše obaveze koje industrijske i poljoprivredne aktivnosti sa visokim potencijalom zagađenja moraju ispunjavati. EU poseduje postupak za odobravanje ovakvih aktivnosti i postavlja odgovarajuće uslove posebno u pogledu ispuštanja zagađujućih materija. Cilj je da se spreči ili smanji zagađenje atmosfere, vode i zemljišta, kao i količine otpada koji proističe iz industrijskih i poljoprivrednih delatnosti, a sve kako bi se osigu-

rao visok stepen zaštite životne sredine. Značaj, uticaj i kontrola teških metala na životnu sredinu obrađen je kroz nekoliko direktiva i propisa Evropske unije: Direktiva 2004/107/EC koja se odnosi na monitoring As, Cd, Pb i Ni u vazduhu, Direktiva 2008/1/EC koja se odnosi na integrisano sprečavanje i kontrolu zagađenja u Evropi, Direktiva 2008/50/EC o kvalitetu vazduha, kao i mnoge druge [4].

Cilj direktiva je zaštita životne sredine kroz monitoring vode, vazduha, zemljišta, biljnih i životinjskih vrsta, kao i uspostavljanje zajedničkih pravila i procedura za njihovu hemijsku analizu. U okviru zemalja EU slobodan je pristup informacijama o životnoj sredini, a jedna od prvih direktiva iz oblasti zaštite životne sredine bila je Direktiva o pticama iz 1979. godine (79/409/EEC) [6]. Monitoring šumskih ekosistema započeo je 1994. godine, a monitoring teških metala i drugih aerozagađivača 2004. godine kroz program Čist vazduh za Evropu [7, 8]. Značaj bioindikatora i podsticaj za njihovu upotrebu ističu se kroz Direktivu o vodama Evropske unije [7]. Ova direktiva ima za cilj postizanje dobrog ekološkog i hemijskog sastava svih vodnih tela Evrope, reka, jezera i priobalnih voda, i zahteva da se za procenu ekološkog statusa posmatranih sistema prvenstveno koriste biološki indikatori odnosno bioindikatori. Od velikog broja bioindikatora u okviru Direktive o vodama navedeni su sledeći organizmi, a čija se upotreba preporučuje: fitoplankton, makro alge, skrivenosemenjače, bentoski beskičmenjaci i ribe.

BIOINDIKATORI TOKSIČNIH METALA

Bioindikator se može definisati kao organizam ili deo organizma ili kao zajednica organizama koja sadrži sa kvantitativnog aspekta informacije o kvalitetu životne sredine. Izloženost organizma određenom uticaju može se pratiti bilo merenjem nivoa bilo praćenjem efekata koje posmarani uticaj može izazvati kod organizma. Zastupljenost metala u ekosistemu može se proceniti merenjem nivoa metala u vazduhu, vodi i/ili tlu, ali bioakumulacija predstavlja vremenski proces odnosno proces koji traje i zato je neophodno kontrolisati sadržaj metala na duži vremenski period. Živi organizmi, zbog svoje sposobnosti da apsorbiraju razne zagađujuće materije iz vode, vazduha i zemljišta, predstavljaju veoma pogodan indikator za analizu zagađenja čitavog ekosistema. U praksi, bioindikatori mogu biti bilo životinje ili biljke, koje se mogu koristiti za procenu stanja životne sredine u kojoj su oni kontinuirano izloženi prirodnom i/ili antropogenom uticaju. Bioindikator se takođe može definisati kao vrsta ili grupa više vrsta koje odražavaju biotičke

i/ili abiotičke nivoe kontaminacije okruženja [9]. Kriterijumi koje idealni organizam treba da zadovolji da bi se koristio kao bioindikator zagađenja određene sredine su [1]:

- organizam mora stalno akumulirati i tolerisati velike količine zagađujućih materija;
- mora biti stalno vezan za jedno mesto kako bi bio stvarni "predstavnik" za dato područje;
- mora biti lako dostupan za sakupljanje, identifikaciju i rukovanje;
- mora imati dovoljno dug životni vek kako bi se ispoljio fenomen bioakumulacije i osiguralo uzorkovanje kroz duži vremenski period;
- mora biti dovoljno veliki tj. da na raspolaganju bude dovoljno tkiva za hemijsku analizu;
- mora tolerisati promene fizičko-hemijskih parametara.

Od životinjskih vrsta kao bioindikator koriste se zooplankton, beskičmenjaci i kičmenjaci, dok se biomaterijali poput mikro i makro algi, gljiva, lišajeva, mahovina, kore drveta i lišća viših biljaka uglavnom koriste kao biljni bioindikator. Prvo i najviše korišćene vrste kao bioindikator toksičnih metala su ribe, ptice i mahovine, dok pojedini organizmi koji nastanjuju zemljište (tlo) postaju sve značajniji i interesantniji naučnoj zajednici kao bioindikator. Reprezentativne vrste koje su tradicionalno korišćene za procenu rizika od toksičnih metala i drugih supstanci su razne slatkovodne vrste kao što su bakterije, mikro alge, beskičmenjaci i ribe, a od kopnenih su uglavnom korišćene kišna glista *Eisenia fetida* i pojedine vrste viših biljaka [4].

Za monitoring aerozagađenja koristi se veliki broj različitih bioindikatora kao što su: bakterije, gljive, mahovine, lišajevi, trave, različite poljoprivredne kulture i biljke. Do sada su se za monitoring aerorozagađenja prvenstveno koristile biljke, a koja će se biljna vrsta upotrebiti zavisi od više faktora. Jedan od presudnih faktora je svakako njihova rasprostranjenost i zastupljenost u ispitivanom regionu. Upotreba bioindikatora za monitoring zagađenja vazduha obično obuhvata ispitivanje toksičnih metala poreklom iz topionica, rudarske industrije, saobraćaja, elektrana, poljoprivrede i industrije [10, 11, 12]. Tipičan primer bioindikatora zagađenja vazduha su lišajevi i mahovine, koje se zbog svoje sposobnosti da akumuliraju toksične metale i druge toksine danas najviše koriste za praćenje elemenata u tragovima u vazduhu. Nedostatak korenog sistema kod ovih biljnih vrsta pruža mogućnost da se koriste kao direktan pokazatelj samo zagađenja vazduha, što im daje prednost u odnosu na ostale biljne vrste [13, 14]. U poslednje vreme porastao je

broj studija koje kao bioindikator zagađenja vazduha koriste više biljke. Distribucija sadržaja teških metala kao i način akumulacije pokazuje velike razlike u zavisnosti od vrste biljke. Kod nekih se akumulacija metala vrši preko lišća iz vazduha, dok se kod drugih oni unose preko korenog sistema. Shodno tome različiti biljni organi (list, cvet, stablo, koren) divljih biljaka i drveća, kao i gajenih, voća i povrća, se koriste kao mogući bioindikator zagađenja toksičnim metalima. Kora drveta i lišće viših biljaka sve više se koriste za detekciju taloženja, akumulacije i distribucije metala posebno kod zagađenja vazduha većih razmera [13].

Programi za praćenje i detekciju toksičnih metala u vodenim sistemima započeti su još 60tih godina 20 veka, a korišćene su različite životinje poput beskičmenjaka, mekušaca i kičmenjaka, kao što su sisari i ptice. Toksični metali uneti u vodeni sistem značajno utiču na vodene organizme, a najčešći izvor zagađenja predstavljaju visoke koncentracije Hg, Cr, Pb, Cd, Cu, Zn i As [13]. Mnoge zagađujuće materije povezane su sa sedimentom u vodenim sistemima. Foraminifere, bentonski organizmi, su se pokazale kao uspešan kandidat za praćenje zagađenja vodenih sistema, jer su elementi kao što su Hg, Mn, Ni, Pb i Zn pokazali ozbiljan uticaj i vezu sa pojavom anomalija u foraminiferskim taksonima. Mikroorganizmi kao što su protozoa, zelena alga i bakterije, odražavaju kvalitet vode svega jednu ili dve nedelje pre njihovog uzorkovanja, dok larve insekata, crvi, puževi i drugi beskičmenjaci, odražavaju kvalitet i stanje vode i po nekoliko meseci ili čak i nekoliko godina pre uzorkovanja. Mikroorganizmi su pokazali visoku sposobnost prihvatanja toksičnih metala iz vodenih rastvora u koncentracionom opsegu od 1 do 20 mg/l, dok su bakterije kao organizam najnižeg trofičkog nivoa pokazale sposobnost da detektuju toksična jedinjenja dosta pre drugih organizama [4]. Kako kod morskih tako i kod kopnenih voda, fitoplankton se pokazao kao veoma bitna bioindikatorska vrsta. Pored fitoplanktona korišćene su i različite vrste cianobakterija, zelenih algi i gljiva, ali su se makro alge iz priobalnih morskih voda pokazale kao daleko značajniji bioindikator nego različite makrofite slatkih voda. Makro alge korišćene su za praćenje nivoa kontaminacije vodenih sredina metalima Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, itd. i pokazale su veliku sposobnost akumulacije ispitivanih metalnih jona [1, 15, 16, 17]. Ribe su jedna od najčešće korišćenih grupa bioindikatora vodenih sistema, a najčešće ispitivani elementi u njima su Fe, Cu, Cr, Hg i Pb. Slatkovodne školjke koriste se kao bioindikator Pb, Cd, Hg i Zn, ali se generalno stiče utisak da su slatkovodni organizmi manje

osetljivi od morskih organizama [18]. Dagnje iz reda *Mytilus*, intenzivno su ispitivane i korišćene kao bioindikator velikog broja elemenata, a među njima i toksičnih metala, u morskoj sredini [1, 2, 15, 17, 19]. Razni vodeni organizmi koji žive u rekama, jezerima i morima potencijalno predstavljaju korisne bioindikatore zagađenja sedimenta i vode toksičnim metalima. Neki od najčešće korišćenih su ribe, školjke, ostrige, dagnje, plankton, makro alge, ali i morski sisari poput morskog lava i foke, kao i razne vrste morskih ptica [13].

Biljke i organizmi koji nastanjuju zemljište kao što su mikroflora i mikrofauna, protozoe, gljive, nematode, gliste, crvi i insekti, korišćeni su kao biotički pokazatelji toksičnosti zemljišta. Praćenje toksičnih zagađujućih materija putem bioluminescentnih bakterija u zemljištu zasniva se na principu smanjenog emitovanja svetlosti u slučaju njihovog povećanog prisustva, dok se smanjenje broja mikrogljiva obično dovodi u vezu sa povećanim sadržajem Cu, Cd, Pb, As i Zn u zemljištu. Protozoa *T. pyriformans* koristi se za određivanje nivoa kontaminacije Cu i Zn u zemljištu [13]. Od beskičmenjaka za praćenje zagađenja najčešće su korišćene nematode, kišne gliste, gastropode, isopode i arahnide [4]. Do sada najčešće korišćeni beskičmenjaci za procenu kontaminacije zemljišta metalima su članovi porodica *Lubricidae* i *Eisenia* spp. tj. kišne gliste. One su sposobne da akumuliraju Hg, Cd, Cu, Pb i Zn, što je ustanovljeno na osnovu značajne korelacije koja je pronađena između koncentracije metala u samom organizmu i njihove koncentracije u zemljištu, kao i uticaja podloge i dužine izloženosti [20]. Kopneni puževi takođe su se pokazali kao adekvatni bioindikator, pre svega zbog svoje sposobnosti da akumuliraju Pb, Cd, Zn i Cu. Pogodni su zbog svoje široke zastupljenosti (pojedine vrste se istovremeno mogu naći na različitim kontinentima), ali i važne uloge u lancu ishrane mnogih životinja kao što su zmije, žabe i ptice [13]. U slučaju kičmenjaka, mali je broj korišćenih bioindikatorskih vrsta. Neke od korišćenih životinja su podzemna veverica i crvena lisica. Neke vrste viših biljaka imaju određeni potencijal kao bioindikator zemljišta. Simptomi kao što su smanjen rast korena, smanjeno klijanje semena, nekroza, itd. samo su neki od odgovora biljaka na metalima kontaminirano zemljište. Biljke zahtevaju određenu količinu makro i mikronutrijenata, ali višak ovih elemenata u biljnom tkivu može prouzrokovati fitotoksične efekte, što može dovesti i do uginuća biljke. Visok nivo metala u zemljištu ne uka-

zuje uvek i na visoke koncentracije u biljkama što predstavlja nedostatak pojedinih viših biljaka kao bioindikatora kontaminacije zemljišta toksičnim metalima [4].

ZAKLJUČAK

Toksični metali su danas široko rasprostranjeni u životnoj sredini i njihovo blagovremeno otkrivanje je od fundamentalnog značaja za sprečavanje i kontrolu štete koju oni mogu izazvati po ekosistem i čoveka. Veliki broj propisa i zakona danas postoji u Evropi i drugim zemljama sveta, kao i kod nas, a koji se bave problematikom i rešavanjem problema prekomernog otpuštanja toksičnih metala u životnu sredinu tj. vodu, tlo i vazduh, kao i kontrolom bezbednosti i kvaliteta hrane i zaštitom potrošača od eventualno metalima kontaminirane hrane.

U poslednje vreme, praćenje i kontrola zagađenja životne sredine usmerena je sve više ka traženju adekvatnih bioindikatora poput mikroorganizama, biljaka i životinja, koji akumuliraju toksične metale i pružaju relevantne informacije o kvalitetu okruženja odnosno sredine koju izabrani organizam nastanjuje. U ove svrhe se može koristiti ceo organizam ili samo neki njegov deo ili čak i čitave zajednice organizama. Primena živih organizama ima niz prednosti u odnosu na standardne hemijske metode analize metala pre svega zbog ograničenih mogućnosti i granica detekcije postojećih analitičkih tehnika, kao i nedostatka korelacije između ukupne koncentracije metala u posmatranoj sredini i njihove biološke dostupnosti. Upotrebom bioindikatora prati se kvalitet njihovog prirodnog staništa, kao i postojanje i procena eventualnog antropogenog uticaja.

Na osnovu pregleda literature ustanovljeno je da su preko bioindikatora najčešće i najjeftinije ispitivani i praćeni najtoksičniji elementi kao što su Pb, Cd, Hg i As, kao i Zn i Cu čije povećane koncentracije u vodi, vazduhu i/ili tlu ukazuju na problem zagađenja životne sredine i uticaj antropogenog faktora. Najveći broj organizama (bakterija, mikroorganizama, biljnih i životinjskih vrsta) koristi se kao bioindikator metala u vodenim ekosistemima, dok se najmanji broj koristi za procenu kontaminacije zemljišta. Mahovine su se pokazale kao izuzetno efikasan bioindikator metala u vazduhu urbanih i industrijskih zona, dok se kod velikog aerozagađenja najčešće koriste više biljke. Neke vrste školjki, posebno dagnje iz reda *Mytilus*, pokazale su se kao odlični bioindikator teških

metala vodenih ekosistema. Biljke i organizmi koji nastanjuju tlo kao što su gljive, gliste i insekti najčešće su korišćeni bioindikatori zagađenja tla, odnosno zemljišta.

Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva za obrazovanje, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije kroz projekat III43009.

LITERATURA

- [1] Jović, M., Doktorska disertacija: Ispitivanje mogućnosti primene nekih morskih organizama kao bioindikatora zagađenja teškim metalima vode zaliva Boka kotorska. Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 2013.
- [2] Jović, M., Stanković, A., Slavković-Beskoski, L., Tomić, I., Degetto, S., Stanković, S., Mussels as a bio-indicator of the environmental quality of the coastal water of the Boka Kotorska Bay (Montenegro) *J. Serb. Chem. Soc.* 76, 933-946 pp. 2011.
- [3] Salomons, W., Forstner, U., *Metals in the Hydrocycle*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 394 p. 1984.
- [4] Stankovic, S., Kalaba, P., Stankovic, A.R., Biota as toxic metal indicators. *Environ. Chem. Lett.* 12, 63-84 pp. 2014.
- [5] Szczewski, P., Siepak, J., Niedzielski, P., Sobczyński, T., Research on heavy metals in Poland. *Polish. J. Env. Stud.* 5, 755-768 pp. 2009.
- [6] EEC 1979, Council Directive 79/409/EEC of 2 April 1979 on the conservation of wild birds. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/consleg/1979/L/01979L0409-20070101-en.pdf>.
- [7] EC 2000, Concil Directive 2000/14/EC of the European parliament and of the Council of 8 May 2000. *Off J Eur Commun L* 162/1 - L 162/77.
- [8] EC 2004, Concil Directive 2004/107/ec of the European parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. *Off J Eur Union L* 23/3 - L 23/16.
- [9] Hodkinson, I.D., Jackson, J.K., Terrestrial and aquatic invertebrates as bioindicators for environmental monitoring, with particular reference to mountain ecosystems. *Env. Man.* 35, 649-666 pp. 2005.
- [10] Harmens, H., Norris, D.A., Koerber, G.R., Buse, A., Steinnes, E., Ruhling, A., Temporal trends (1990–2000) in the concentration of cadmium, lead and mercury in mosses across Europe. *Env. Poll.* 151, 368-376 pp. 2008.
- [11] Blagnyté, R., Paliulis, D., Research into heavy metals pollution of atmosphere applying moss as bioindicator: a literature review. *Env. Res. Eng. Man.* 4, 26-33 pp. 2010.
- [12] Suchara, I., Sucharova, J., Hola, M., Reimann, C., Boyd, R., Filzmoser, P., Englmaier, P., The performance of moss, grass, and 1- and 2-year old spruce needles as bioindicators of contamination: A comparative study at the scale of the Czech Republic. *Sci. Total Env.* 409, 2281-2297 pp. 2011.
- [13] Stanković, S., Stanković, R.A., Bioindicators of toxic metals in: *Environmental Chemistry for a sustainable World, Volume 3* (E. Lichtfouse et al.(eds.)), Chapter 5, Springer Netherlands, 151-228 pp. 2013.
- [14] Meseldžija, S., Đolić, M., Janković-Mandić, Lj., Jović, M., Marković, J., Onjia, A., Bioakumulacija ¹³⁷Cs u borovim iglicama. *Ecologica* 21, No 75, 407-410 pp. 2014.
- [15] Joksimović, D., Stanković, S., The trace metal accumulation in marine organisms of the southeastern Adriatic coast, Montenegro. *J. Serb. Chem. Soc.* 77, 105-117 pp. 2012.
- [16] Stanković, S., Jović, M., Tanaskovski, B., Mihajlović, M.L., Joksimović, D., Pezo, L., Can the origin of some metals in the seagrass *Posidonia oceanica* be determined by the indexes of metals pollutions? *Environ. Sci. Pollut. Res.* Article in press, 2015.
- [17] Jović, M., Stanković, S., Determination of marine pollution by comparative analysis of metal pollution indexes. *Arch. Biol. Sci., Belgrade* 66, 1205-1215 pp. 2014.
- [18] Stanković, S., Jović, M., Native and Invasive Mussels, in: *Mussels: Ecology, Life Habits and Control* (Nowak, J., Kozłowski, M., Eds), Series Marine Biology, Chapter 1, Nova Publisher, 1-36 pp. 2013.
- [19] Jović, M., Marković, J., Đolić, M., Janković-Mandić, Lj., Onjia, A., Stanković, S., Mogući rizik po zdravlje ljudi zbog konzumiranja dagnji *Mytilus galloprovincialis* iz Bokokotorskog zaliva, *Ecologica* 21, No 74, 283-287 pp. 2014.
- [20] Hirano, T., Tamae, K., Heavy metal-induced oxidative DNA damage in earthworms: a review. *Appl. Env. Soil. Sci.* 1-7 pp. 2010.

IZVOD

BIOINDIKATORI KAO SREDSTVO ZA ANALIZU ZAGAĐENOSTI ŽIVOTNE SREDINE

Interesovanje za korišćenje bioindikatora kao sredstva za monitoring i procenu zagađenosti životne sredine toksičnim metalima neprestano se povećava. Teški metali dospevaju u okruženje iz prirodnih izvora, ali i putem antropogenih aktivnosti, a jednom dospeli u životnu sredinu oni ne nestaju već se akumuliraju u zemljištu, sedimentu i bioti i sve više postaju rastući globalni problem. Usled lakog transporta i kruženja zagađujućih materija u prirodi, kao i velike povezanosti u lancu ishrane, posledice sve većeg zagađenja se relativno brzo manifestuju i na ljude. Bioindikator se može definisati kao organizam ili deo organizma ili kao zajednica organizama koja sadrži sa kvantitativnog aspekta informacije o kvalitetu životne sredine. Bioindikator mogu biti životinje ili biljke, i od životinjskih vrsta se koriste zooplankton, beskičmenjaci i kičmenjaci, dok se biomaterijali poput mikro i makro algi, gljiva, lišajeva, mahovina, kore drveta i lišća viših biljaka uglavnom koriste kao biljni bioindikator. U zavisnosti od njihovog staništa, jedna ili druga grupa bioindikatora koristi se za detekciju taloženja, akumulacije i distribucije teških metala u tlu, vodi i vazduhu. Ovaj rad daje pregled novijih istraživanja o različitim organizmima koji se koriste kao bioindikator toksičnih metala u vazduhu, vodi i zemljištu, i jasno potvrđuje važnost, neophodnost i efikasnost bioindikatora kao relativno novog načina za praćenje i analizu zagađenja životne sredine.

Ključne reči: Bioindikator; Životinjske i biljne vrste; Analiza zagađenosti životne sredine; Teški metali.

ABSTRACT

BIOINDICATORS AS A TOOL FOR ENVIRONMENTAL POLLUTION ANALYSIS

The interest in using bioindicators as monitoring tools to assess environmental pollution with toxic metals continually increasing. Heavy metals arise from natural sources and human activities, and once released in the environment they do not disappear, but accumulate in soils, sediments and biota and become a global problem. Due to the easy transport and circulation of pollutants in the nature and the high correlation of the food web systems, the consequences of the increasing pollution are relatively rapidly reflected on people. A bioindicator can be defined as an organism or a part of an organism or a community of organisms that contains information on the quantitative aspects of the quality of the environment. Bioindicators can be animals or plants, and mostly used animal species as bioindicators are zooplankton, invertebrates and vertebrates while biomaterials such as micro and macro algae, fungi, lichens, mosses, tree bark and leaves of higher plants have been mostly used as plant bioindicators. Depending on their environment, one or the other kind of bioindicators are used to detect the deposition, accumulation and distribution of heavy metal pollution in soil, water and air. This work summarized the recent studies of various organisms used as a toxic metal bioindicators in air, water and soil ecosystems, and clearly confirms the importance, necessity and efficiency of bioindicators as a relatively new tool for monitoring and analysis of environmental pollution.

Keywords: bioindicators; animal and plant species; environmental pollution analysis; heavy metals.