

Regionalna porazdelitev geokemičnih prvin v tleh Slovenije

Regional distribution of geochemical elements in Slovenian soils

MIŠO ANDJELOV^{1,*}

¹Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova cesta 1b, SI-1000, Ljubljana, Slovenia

*Korespondenčni avtor. E-mail: miso.andjelov@gov.si

Received: October 8, 2012

Accepted: October 22, 2012

Izvleček: Rezultat okoljske geokemične raziskave v mreži 5 km × 5 km na območju celotne Slovenije je omogočil opredelitev geokemičnega od-tisa kamnin v tleh na regionalni ravni, kar je pomembno pri interpre-taciji geokemičnih procesov in za ločevanje ter oceno antropogenih obremenitev. Prikazane in komentirane so porazdelitve 28 kemičnih prvin (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn in Zr). Na osnovi primerjave vsebnosti teh prvin v tleh na območju Sloveni-je ločimo 5 naravnih geokemičnih združb: Ni-Cr-Cu-Sc-Fe-V-Mn-Ti, K-Al-Ba-Na, La-Th-U-Zr-Y-Ti, Sr-Ca-Mg, Pb-Zn-P in združbo, ki pomeni faktor onesnaženja pri pripravi vzorcev tal.

Abstract: Environmental geochemical investigation of Slovenia on 5 km × 5 km raster grid enabled regional determination of geochemical rock imprint on the soils. Results are important for interpretation of geochemical processes, and to discern and assess anthropogenic pressures. Distribution of 28 elements (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn in Zr) are presented together with commentary. Based on the content of these elements in the soil there could be defined 5 natural geochemical associa-tions in Slovenia: Ni-Cr-Cu-Sc-Fe-V-Mn-Ti, K-Al-Ba-Na, La-Th-U-Zr-Y-Ti, Sr-Ca-Mg, Pb-Zn-P. The sixth association Co-W is representative of pollution resulting in the process of soil sample preparation.

Ključne besede: radiometrične raziskave, geokemija, tla, faktorska analiza, Slovenija

Key words: radiometric survey, geochemistry, soil, factor analysis, Slovenia

Uvod

Prvo sistematično zbiranje geokemičnih podatkov sega v obdobje takoj po drugi svetovni vojni, ko so podobno kot v drugih državah tudi v Sloveniji začeli iskati radioaktivne kamnine, predvsem tiste, ki vsebujejo uran. Po odkritju uranske mineralizacije v grōdenskih skladih Italije in podobnih sedimentih v nekaterih drugih državah je Zavod za nuklearne surovine iz Beograda v letu 1960 začel sistematično prospekcijo grōdenskih plasti v Slovenji in preverbo radioaktivnih anomalij, ki so bile odkrite že pri prejšnjih raziskavah. Med večjimi regionalnimi prospekcijami je treba omeniti tudi letalsko radiometrično in hidrogeokemično prospekcijo. V letu 1969 so omenjeni prospekciji izvedli raziskovalci Inštituta za raziskovanje jedrskih surovin iz Beograda z namenom, da bi ugotovili anomalne vsebnosti urana v tleh, vodah in mulju (PETROVIĆ & POKRAJAC, 1969).

Čeprav je bil uran primarnega pomena, so pri raziskavah izkoristili priložnost in opravili več raziskav tudi drugih geokemičnih prvin. Geokemične raziskave na območju Posavskih gub v Sloveniji je povzel PIRC (1977). Po zbranih ocenah količin urana v kamninah, vodah in muljih je Pirc podal osnovne značilnosti vedenja urana v obravnavanih okoljih. Med obratovanjem rudnika urana Žirovski Vrh so bile od leta 1974 do 1989 na območju med Žirovskim

Vrhom in Škofja Loko opravljene številne radiometrične in geokemične prospekcije z namenom odkriti nove zaloge uranove rude.

Ob jedrski nesreči v Černobilu leta 1986 se je izkazalo, da ni na voljo dovolj zanesljivih podatkov o kemični sestavi zemeljskega površja. Zato so kmalu nato zasnovali mednarodni projekt (IGCP 259) z naslovom Mednarodno geokemično kartiranje (DARNLEY et. al. 1995). V okviru omenjenega projekta je bil uradno uveden leta 1993 izraz »geokemično ozadje«, ki se nanaša na naravno nihanje vsebnosti prvin v okolju na zemeljskem površju in vključuje geogene vsebnosti prvin (naravnega ozadja) in razpršene antropogene prispevke v okolju. V okviru slovenskega dela projekta so se preučevali na statistični podlagi zasnovani postopki za kartiranje z vzorci tal, vode, vodnega mulja in mahu (PIRC & MAKSIMOVIĆ, 1985; ANDJELOV, 1986; PIRC et al. 1991; PIRC 1993; PIRC & ŠAJN 1997; ŠAJN et. al. 1998). Omenjenemu projektu je sledil projekt Globalne geokemične osnove (IGCP 360), ki se je nadaljeval in končal pod okriljem IUGS. Rezultat tega projekta je bil geokemični atlas Evrope (BIDOVEC & PIRC 2008), ki je bil izdelan na podlagi vzorcev vode, tal, humusa ter potočnega in poplavnega mulja.

Raziskave urana v Sloveniji so bile končane leta 1990, ker ni bilo več potrebe

po odkrivanju novih zalog uran. Z novo fazo raziskav smo se lotili na Inštitutu za geologijo, geotehniko in geofiziko Geološkega zavoda Ljubljana sistematične izdelave radiometrične karte Slovenije. Celotno ozemlje države je bilo pokrito s pravilno mrežo $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$, v kateri so bile na 816 lokacijah opravljene meritve gama sevanja in na 819 lokacijah odvzeti vzorci tal za geokemične analize (ANDJELOV, 1993; ANDJELOV, 1994; ANDJELOV & KLAIČ, 1994; ANDJELOV et al. 1995; ANDJELOV 1999). Namen teh raziskav je bil, da bi dosegli na regionalni ravni popolno pokritost Slovenije z radiometričnimi in geokemičnimi podatki. Ti podatki so omogočili izdelavo radiometričnih in geokemičnih kart, natančnejše ocene naravnega ozadja analiziranih prvin v tleh in zagotovili okvir za različne geološke in okoljske raziskave. Poznanje geokemičnega ozadja v tleh je uporabno za oceno dejanskega stanja v okolju in pri zagotavljanju smernic in standardov kakovosti za okoljsko zakonodajo na področju ocenjevanja onesnaženja tal.

MATERIALI IN METODE

Osnova za izbiro izhodišča vzorčne mreže so bile geokemične raziskave v Istri (PIRC & ZUPANČIČ, 1989), ki so vključevale analizo variabilnosti v različnih geoloških medijih. Za zagotovitev sistematičnosti meritev smo uporabili vzorčno mrežo s celicami

$5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ z naključno izbranim izhodiščem. Skupno je bilo v štirih letih opravljenih 817 radiometričnih meritev K, U in Th in na 819 lokacijah odvzet vzorec tal za geokemično preiskavo. Vzorčili smo zgornjih 10 cm talnega profila. Povprečna masa vzorca je bila od 1,5 kg do 2 kg.

Vzorci s povprečno 22-odstotno vlago smo zračno osušili, presejali na 2-milimetrskih sitih in nato zmleli v vibracijskem mlinu do debeline 0,063 mm. Vzorci so bili analizirani v laboratoriju ACME v Vancouvru v Kanadi s plazemsko emisijsko spektrometrijo (ICP-ES) po štirikislinskem razklopu (ACME, 1993): 0,25-gramski vzorec se raztaplja v 10 ml mešanici kislin HClO_4 , HNO_3 , HCl in HF pri temperaturi 200°C . V vzorcih so določili 35 prvin: Ag, Al, As, Au, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Zn in Zr. Podobno metodo so uporabili ŠAJN in sodelavci (1998). Uran je bil določen z metodo nevtronske aktivacije (DNC) v laboratoriju XRAL v Don Millsu v Kanadi (XRAL, 1993).

Primerjava rezultatov uporabljenih merilnih tehnik in analitskih metod je pokazala, da je korelacija med terenskimi radiometričnimi meritvami s 4-kanalnim spektrometrom s 348 cm^3 velikim detektorjem natrijevega jodida in določitvami v laboratoriju za kalij (ICP +0,75) in uran (DNC +0,66).

Ocena ponovljivosti je pokazala, da imajo zelo dobro ponovljivost ($d < 10\%$) Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Ti, Ba, Co, Cr, La, Mn, Ni, Sc, Sr, U, V, W, Y, Zn in Zr. Relativno razliko med 10 % in 20 % imajo 3 prvine (Cu, Pb, Th). Glede na rezultate primerjalnih meritev in meritev geoloških standardov menimo, da so uporabljene metode zadosti natančne za izdelavo geokemičnih kart prvin in oceno porazdelitve vsebnosti prvin v tleh.

REZULTATI IN RAZPRAVA

Slovenska povprečja vsebnosti kemičnih prvin v tleh

Rezultati kemičnih analiz 819 vzorcev tal v mreži 5 km × 5 km v Sloveniji omogočajo oceno povprečnih vsebnosti 24 kemičnih prvin (tabela 1). Prvin, ki imajo več kot eno četrtno določitev pod mejo detekcije, ne prikazujemo. Ocena vsebnosti urana v tleh je bila narejena z analizo 814 vzorcev tal z nevtronsko aktivacijo.

Približno enake ($\pm 25\%$) vrednosti svetovnega povprečja so mediane devetih prvin, Al, Cu, Fe, K, Mn, Ni, P, Ti in V (tabela 1). Nekaj večji (do 100 %) sta mediani dveh prvin: Mg in Th in mnogo večje (več kot 100 %) so mediane prvin Co, Pb, U in Zn. Nižje so mediane šestih prvin Ba, Ca, Na, Sr in Zr. O clarku za Cr, La, Sc, W in Y v tleh nimamo podatkov. Glede na primerjavo

povprečij prvin v tleh v Sloveniji lahko rečemo, da se bistveno ne odmikajo od svetovnih povprečij v tleh, kot tudi ne od evropskih povprečij. Rezultati kemičnih analiz 819 vzorcev tal v mreži 5 km × 5 km v Sloveniji omogočajo oceno povprečnih vsebnosti 24 kemičnih prvin (tabela 1). Poleg omenjenih prvin je bil v 814 vzorcih tal analiziran tudi uran.

Približno enaka ($\pm 25\%$) vrednosti clarka so povprečja osmih prvin: Al, Fe, Na, K, Ti, P, Mn in V (tabela 1). Nekaj večja (do 100 %) so povprečja šestih prvin: Ca, As, Cu, Ni, Sr in Th, ter mnogo večja (več kot 100 %) povprečja prvin: Mg, Cd, Co, Pb, U, in Zn. Nižja so povprečja treh prvin: Ba, Cr in Zr. O clarku za Be, La, Nb, Sc in Y v tleh nimamo podatkov. Splošno lahko rečemo, da se povprečja prvin v tleh v Sloveniji ne razlikujejo bistveno od ocen svetovnega in evropskega povprečja.

Naravna porazdelitev kemičnih prvin v tleh Slovenije

V postopku statistične obdelave smo upoštevali analize 814 določitev kemičnih prvin v vzorcih tal. Za oceno povezave med prvini smo uporabili faktorsko analizo vrste R, ki temelji na povezavi med spremenljivkami na osnovi matrike korelacijskih koeficientov (KOŠMELJ, 1983; DAVIS, 1986). Za optimiranje prostorske razporeditve faktorjev je bila uporabljena metoda ortogonalne

Tabela 1. Določitve vsebnosti kemičnih prvin v tleh Slovenije v primerjavi z vrednostmi evropskega in svetovnega povprečja

Prvina	Slovenija – meritve v mreži 5 km × 5 km					Evropa _{ta}	clarke _{ta}
	min.	max.	\bar{x}	\bar{x}_G	M		
Al	0,39	11,12	6,69	6,31	6,92	11,0	7,13
Ca	0,02	28,92	2,58	0,99	0,78	0,92	1,37
Fe	0,21	11,76	3,75	3,47	3,80	3,51	3,8
K	0,06	4,09	1,45	1,30	1,40	1,92	1,36
Mg	0,09	10,87	1,35	0,95	0,83	0,77	0,6
Na	0,02	2,54	0,53	0,43	0,47	0,80	0,63
P	0,011	0,458	0,074	0,064	0,063	0,128	0,08
Ti	0,01	2,23	0,38	0,33	0,36	0,572	0,46
Ba	12	2261	371	323	360	375	500
Co	<2	99	28	25	26	7,78	8
Cr	7	406	90	82	88	60,0	200
Cu	<1	271	28	23	23	13,0	20
La	<2	104	31	28	30	23,5	
Mn	24	7187	1044	857	902	650	850
Ni	<2	548	53	45	47	18,0	40
Pb	4	1112	40	34	34	22,6	10
Sc	<1	41,0	13,2	12,2	13,0	9,19	
Sr	13	1016	98	85	82	89,0	300
Th	<2	26	11	10	11	7,24	6
U+	<0,1	9,8	3,7	3,4	3,4	2,00	1
V	5	357	118	105	113	60,4	100
W	<2	293	62	41	41	<5,0	
Y	<2	116	18	15	15	21,0	
Zn	10	1877	116	103	104	52,0	50
Zr	<2	227	49	40	46	231	300

Legenda: Glavne prvine v deležih (%) in sledne v miligramih na kilogram so bile določene z ICP-metodo, + določitve z DNC metodo, min-max – razpon vrednosti, \bar{x} – aritmetična sredina, \bar{x}_G – geometrična sredina, M – mediana, slovensko povprečje vsebnosti prvin v tleh, clarke_{ta} – svetovno povprečje vsebnosti prvin v tleh (RÖSLER & LANGE, 1972), Evropa_{ta} – evropsko povprečje vsebnosti prvin v zgornjem sloju tal (0–25 cm) (SALMINEN et al., 2005)

rotacije (varimax). S faktorško analizo smo začetno število 25 obravnavanih kemičnih prvin skrčili na 6 sintetičnih spremenljivk, ki skupno pojasnjujejo 76,9 % celotne variance. Pri interpretaciji smo upoštevali le pet faktorjev, ki

pomenijo naravne geokemične združbe, šesti faktor pomeni onesnaženje pri pripravi vzorcev tal. Faktorje smo vsebinsko opredelili na osnovi najvišjih pozitivnih in negativnih vrednosti v matriki faktorjskih uteži (tabela 2).

Tabela 2. Dominantne vrednosti rotiranih faktorских obremenitev ($n = 814$)

Prvina	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Kom
Ni	0,91						0,85
Cr	0,83						0,87
Cu	0,75						0,64
Sc	0,73						0,88
Fe	0,72						0,86
V	0,68						0,81
Mn	0,64						0,65
Ti	0,51		0,53				0,81
K		0,83					0,68
Al		0,70					0,90
Ba		0,70					0,82
Na		0,65					0,69
La			0,80				0,80
Th			0,79				0,70
U			0,77				0,64
Zr			0,64				0,61
Y			0,59				0,78
Sr				-0,74			0,52
Ca				-0,68			0,82
Mg				-0,52			0,64
Pb					0,78		0,56
Zn					0,75		0,66
P					0,66		0,45
Co						0,80	0,85
W						0,87	0,79
Var	21,7	13,8	15,3	7,2	8,0	10,9	76,9

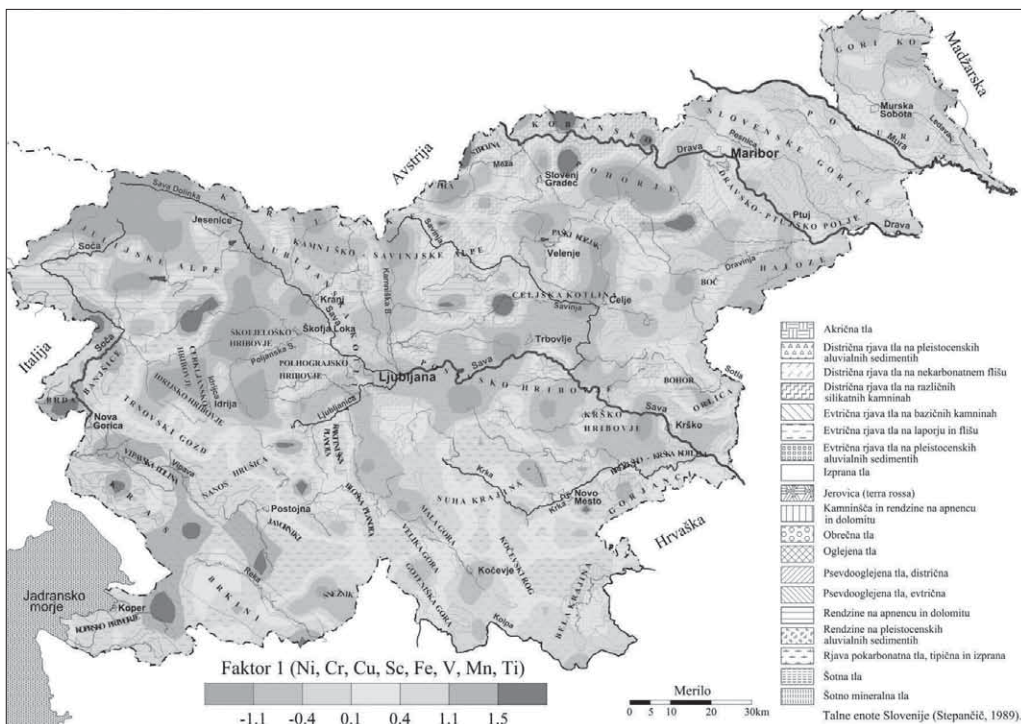
F1 ... F6 – faktorске obremenitve, **Kom** – komunaliteta v deležih (%), **Var** – varianca v deležih (%)

Geokemična združba Ni, Cr, Cu, Sc, Fe, V, Mn, Ti

S prvim faktorjem je pojasnjeno 21,7 % skupne variabilnosti in združuje največ prvin (tabela 2). Faktor je pozitivno obremenjen z Ni (0,91), Cr (0,83), Cu (0,75), Sc (0,73), Fe (0,72), V (0,68), Mn (0,64) in Ti (0,51). Visoke pozitivne vrednosti faktorja najdemo v zahodni Sloveniji v distričnih in evtričnih rjavih tleh v Vipavski dolini, na flišu Postojn-

ske kadunje in na ozemlju istrskega ter brkinskega flišnega bazena (slika 1). Višje pozitivne faktorске vrednosti so na Krasu v jerovici, na Primorskem v rendzinah na alveolinsko-numulitnih apnencih in na Dolenjskem v rjavih pokarbonatnih tleh ter v rendzinah na krednih in jurskih apnencih.

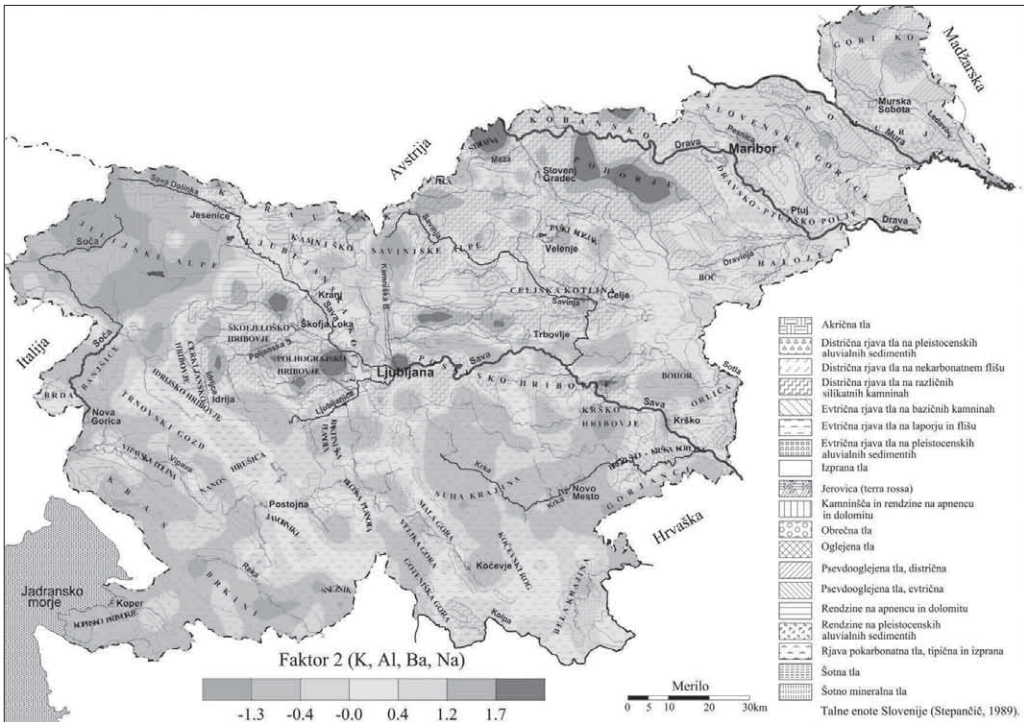
V severovzhodni Sloveniji najdemo povišane vrednosti faktorja v dis-



Slika 1. Prostorska porazdelitev prvega faktorja (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Sc, Ti, V)

tričnih rjavih tleh na ozemlju metamorfni kamnin na Strojni, Kozjaku in Pohorju. Prvi faktor ima najvišje negativne vrednosti na Pohorju, kjer izdanja granodiorit. V Julijskih Alpah so visoke negativne vrednosti v rendzinah, ki so nastale na nesprijeti moreni in grušču. Negativne vrednosti so še v distričnih rjavih tleh na permških in permokarbonskih plasteh na Idrijsko-Škofjeloškem ozemlju in Posavskem hribovju. Faktor izraža prevladujočo podvrženost vremenskim vplivom z visoko stopnjo erozije in visoke hitrosti sedimentacije.

Geokemična združba K, Al, Ba in Na
Z drugim faktorjem je razloženo 13,8 % celotne variance. Obremenjen je s prvimi: K (0,83), Al (0,70), Ba (0,70) in Na (0,65). Visoke vrednosti faktorja so vezane zlasti na distrična rjava tla na različnih silikatnih kamninah in tla, ki jih občasno ali stalno zaliva površinska ali podzemna voda (oglejena tla in psevdogleji) (slika 2). Na Pohorju, Strojni in Kozjaku najdemo najvišje vrednosti drugega faktorja v tleh na granodioritu, muskovitno-biotitovem gnajsu in kremenovem sericitnem filitu. Visoke vrednosti so tudi v distričnih rjavih tleh na Idrijsko-Škofjeloškem



Slika 2. Prostorska porazdelitev drugega faktorja (Al, Ba, K, Na)

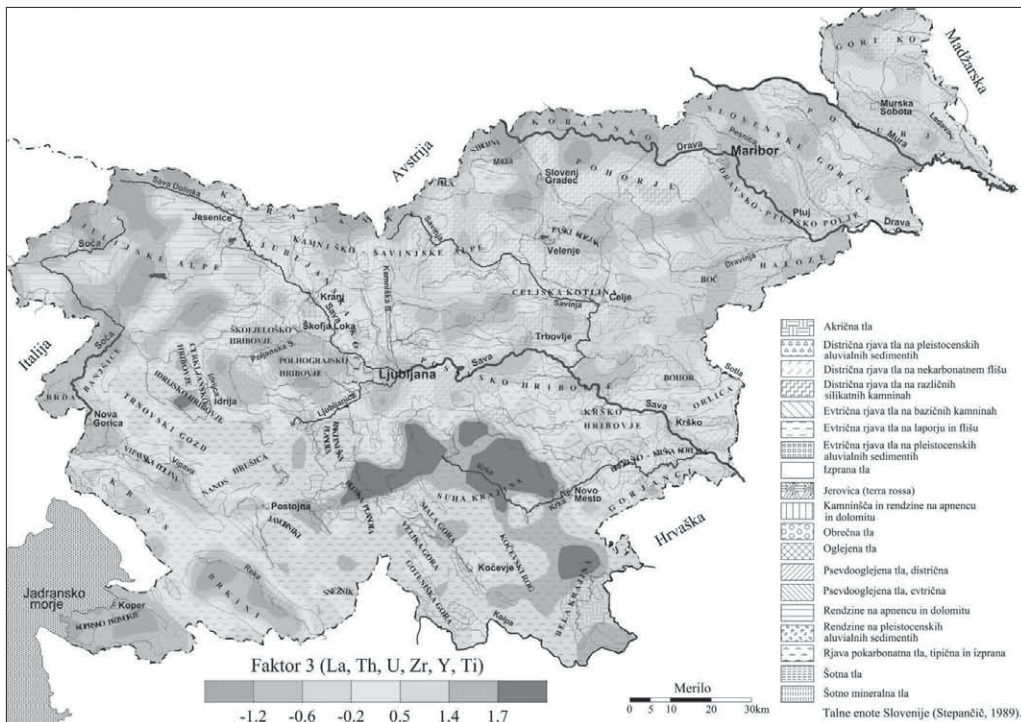
ozemlju in Posavskem hribovju na permokarbonskem kremenovem peščenjaku, skrilavem glinovcu in konglomeratu. V Dravski in Murski ravnini ter Slovenskih goricah so visoke vrednosti faktorja vezane na oglejena tla in psevdogleje ter na distrična in evtrična rjava tla, ki so nastala na peščenem laporju, pesku in produ.

Nizke vrednosti faktorja so na območju Zunanjih Dinaridov v rjavih pokarbonatnih tleh in rendzinah na triasnih, jurskih in krednih apnencih in dolomitih. Na območju Julijskih Alp so nizke vrednosti faktorja vezane za rendzine,

nastale na morenah in pobočnem grušču. Prvine, ki nastopajo v tem faktorju, so vezane predvsem na glinaste komponente v tleh.

Geokemična združba La, Th, U, Zr, Y in Ti

Tretji faktor pojasni 15,2 % celotne variabilnosti. Pozitivno je obremenjen z: La (0,80), Th (0,79), U (0,77), Zr (0,64), Y (0,59) in Ti (0,53). Tretji faktor je najmočnejše izražen na ozemlju karbonatnih kamnin južne Slovenije. Ozemlje je zgrajeno iz apnencev in dolomitov triasne, jurske in kredne starosti. Tu nastopajo rendzine, rjava po-



Slika 3. Prostorska porazdelitev tretjega faktorja (La, Th, Ti, U, Y, Zr)

karbonatna tla in izprana tla. Najvišje vrednosti faktorja najdemo v Suhi Krajinji, na Blokah in v Beli krajini (slika 3). Visoke vrednosti faktorja opazimo tudi v rdečih in rjavih glinah Dolenjskega podolja.

Negativne vrednosti faktorja v Koprskih brdih, Brkinih, Vipavski dolini in Banjšicah so vezane na distrična rjava tla na nekarbonatnih flišnih kamninah in evtrična rjava tla na laporju in flišnih kamninah. Negativne vrednosti faktorja na ozemlju Julijskih Alp nastopajo v rendzinah na morenah in grušču. Na Idrijsko-Škofjeloškem ozemlju in v

Posavskem hribovju so negativne vrednosti faktorja v distričnih rjavih tleh na peščenjaki, skrilavih glinovcih in konglomeratih. Ravno tako so na ozemlju Pohorja, Strojne in Kozjaka negativne vrednosti faktorja vezane za distrična rjava tla na metamornih kamninah.

Med prvinami, združenimi v tem faktorju, je določena kristalno-kemijska podobnost (velikost iona, naboj, elektronegativnost itd.), zato pogosto prihaja do nadomeščanja med njimi. Uran je pogosto vezan kot zamenjava za itrij, cerij, cirkonij, torij, kalcij

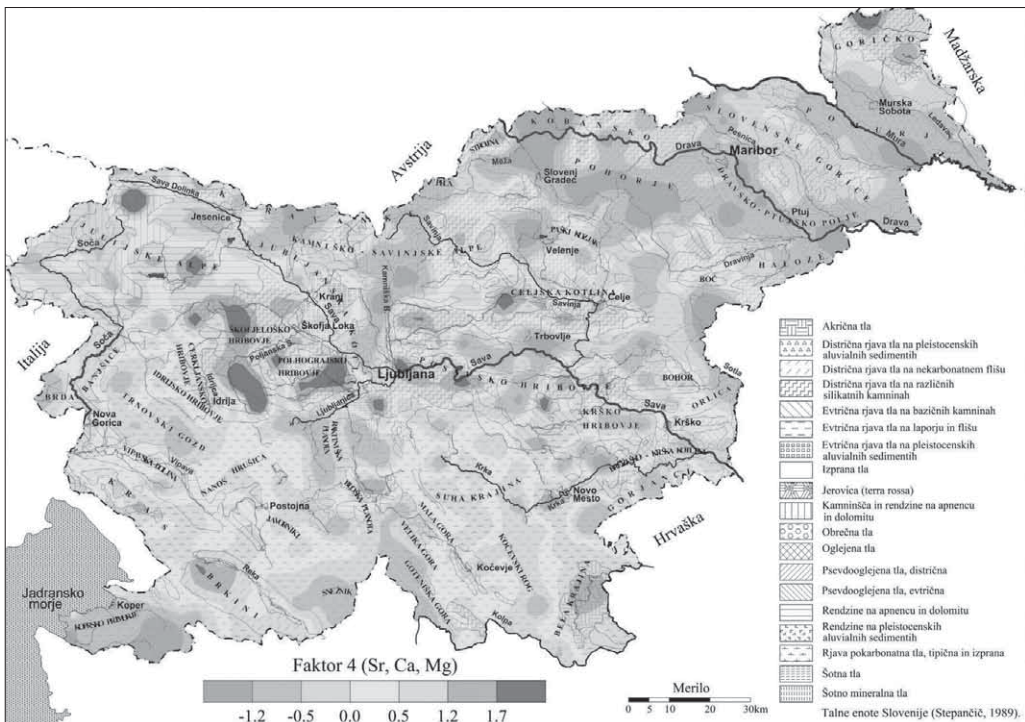
in barij v mineralih, kot so ksenotim, allanit, cirkon, torianit, fluorit, barit itd. Torij pa je vezan kot zamenjava za ione urana, cirkonija, cerija v uraninitu, cirkonu, monacitu, braneritu in allanitu.

Geokemična združba Sr, Ca in Mg

Četrty faktor pojasnjuje najmanj skupne variabilnosti, le 7,2 %. Izražen je predvsem njegov negativni krak, nanj so vezani: Sr (-0,74), Ca (-0,68) in Mg (-0,52). Visoke pozitivne vrednosti faktorja, ki pomenijo nizke vrednosti Sr, Ca in Mg, so vezane na distrična rjava tla na različnih silikatnih kamninah in nekarbonatnih flišnih ka-

mninah (slika 4). Na Idrijsko-Škofje-loškem ozemlju in Posavskem hribovju so visoke vrednosti faktorja vezane na distrična rjava tla na skrillavem glinovcu, kremenovem peščenjaku in konglomeratu permske in permokarbonske starosti.

Visoke vrednosti faktorja opazimo tudi v tleh, ki so nastala na triasnih glinovitih in peščenjakih. V porečju Notranjske Reke in dolini Soče najdemo povišane vrednosti faktorja v distričnih rjavih tleh na flišnih plasteh. V Beli krajini so povišane vsebnosti faktorja v izpranih tleh. Povišane vsebnosti faktorja najdemo tudi na Pohorju, Strojni



Slika 4. Prostorska porazdelitev četrtega faktorja (Sr, Ca, Mg)

in Kozjaku v distričnih tleh, nastalih na kremenovem sericitnem filitu in filitoindnem skrilavcu. Na Goričkem so visoke vrednosti faktorja v tleh, nastalih na kremenovem produ.

Negativne vsebnosti tega faktorja so vezane na obrečna tla, ki nastajajo v ozkih poplavnih pasovih vzdolž rek in oglejena tla, za katera je značilno zadrževanje vode v tleh (Sava, Savinja, Drava, Mura). Na Dolenjskem in Notranjskem so negativne vrednosti v rjavih pokarbonatnih tleh in rendzinah na apnencih in dolomitih. Negativne vrednosti najdemo tudi v evtričnih rjavih tleh na flišnih plasteh Primorja. Na Pohorju, Strojni in Kozjaku so negativne vrednosti faktorja 4 vezane na predele, ki jih sestavljajo metamorfne kamnine, to so muskovitno-biotitov gnajs in kloritno-amfibolov skrilavec in globočni na pohorski granodiorit.

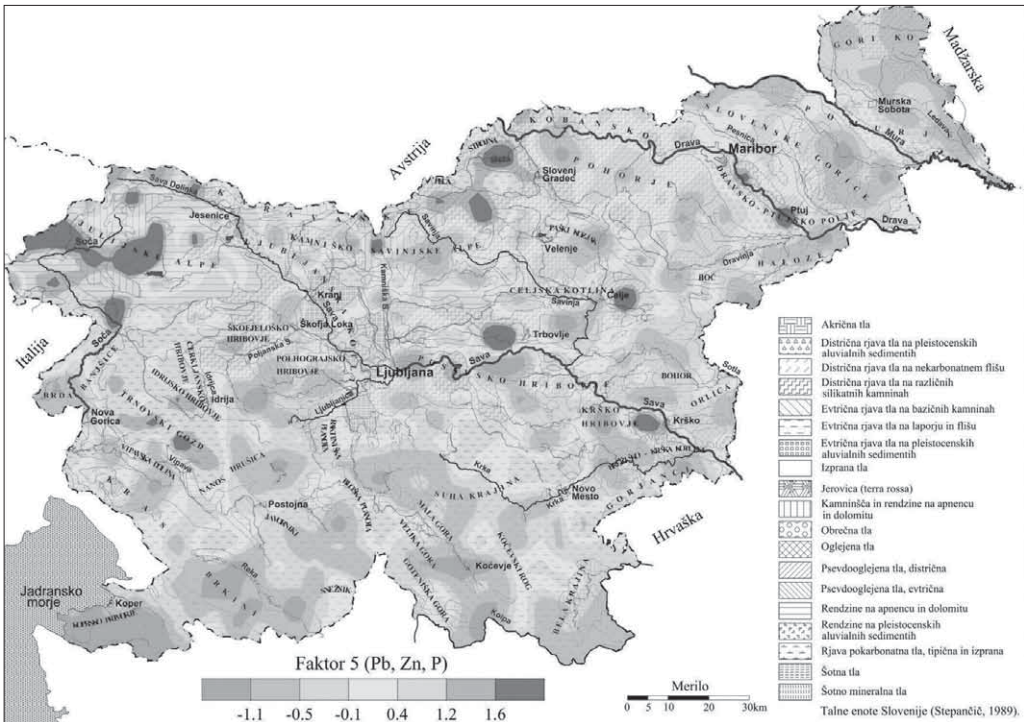
Na splošno lahko opazimo, da so vrednosti faktorja pozitivne na ozemljih silikatnih klastičnih kamnin, negativne vrednosti pa so na ozemljih karbonatnih kamnin. Ker je negativni krak bolj izražen, smo ga poimenovali negativni karbonatni faktor. Na ta faktor imajo domnevno velik vpliv klimatske variacije in izpiranje tal. Ugotovili so, da je vezava stroncija odvisna od vsebnosti glinenih komponent in topnih kationov v raztopini. Vezava stroncija v tleh upada, če narašča vsebnost Mg in Ca v talni raztopini.

Geokemična združba Pb, Zn in P

Peti faktor pojasni 8 % celotne variabilnosti. Ta faktor bremenijo: Pb (0,78), Zn (0,75) in P (0,66). Najvišje vrednosti faktorja so v rendzini na triasnem apnencu na Peci in v širši okolici, kjer so zelo pomembna orudjenja svinca in cinka (slike 5). V Posavskem hribovju so visoke vrednosti faktorja v distričnih rjavih tleh na permokarbonskem skrilavem glinovcu, peščenjaku in konglomeratu. Na omenjenem ozemlju so v širši okolici Litije pomembna svinčevo cinkova rudišča. V podobnih kamninah so visoke vsebnosti faktorja v tleh na Idrijsko-Škofjeloškem ozemlju.

Visoke vsebnosti faktorja opazimo tudi v Julijskih Alpah v rendzinah na dolomitu in apnencu, moreni in pobočnem grušču. Pojave svinčevo-cinkove rude na tem območju najdemo v Planici pri Ratečah ter na jugozahodnem pobočju Mangarta in so v zvezi z rudiščem v Rablju (DROVENIK et al., 1980). V zahodnih Karavankah so v distričnih rjavih tleh na glinovcu in peščenjaku povišane vrednosti faktorja pod Golico. Povišane vrednosti faktorja so tudi v evtričnih rjavih tleh na savskem prodnem zasipu v Ljubljanski kotlini.

Negativne vrednosti faktorja najdemo v tleh na flišu v Koprskih brdih, Brkinih in Vipavski dolini. Nizke vrednosti faktorja so vezane tudi za rendzine in rjava pokarbonatna tla na apnencih



Slika 5. Prostorska porazdelitev petega faktorja (Pb, Zn, P)

in dolomitih Notranjske in Dolenjske. V Murški ravnini in na Goričkem so negativne vrednosti faktorja vezane na distrična in evtrična rjava tla na peščenem laporju, pesku in produ. Faktor kaže naravno porazdelitev naštetih prvin v tleh, kot tudi domnevne vplive industrijskih onesnaževalcev. Peti faktor bremenita predvsem težki kovini.

Združba W in Co

Šesti faktor opredeljuje 10,9 % celotne variance. Ta faktor bremenita predvsem W (0,87) in Co (0,80). Glede na ti prvini lahko šesti faktor interpretiramo kot faktor onesnaženja vzorcev z mletjem v mli-

nu iz volfram-kobaltovega karbida. Faktor dejansko pomeni vsebnosti abrazivnih mineralov v vzorcih. Višje vrednosti faktorja imamo predvsem v bolj abrazivnih tleh severovzhoda Slovenije na magmatskih in metamornih kamninah Pohorja in na kremenovem pesku, produ in glinah v Dravski ravnini, Slovenskih goricah, Murški ravnini in na Goričkem.

SKLEPI

S statistično obdelavo multielementnih kemičnih analiz tal, vzorčevanih v mreži 5 km × 5 km, in z geokemičnimi

kartami smo prišli do sklepa, da obstaja najmanj pet geokemičnih združb prvin, ki so prostorsko vezane na različne tipe tal. Združba Cr-Cu-Fe-Mn-Ni-Sc-Ti-V je značilna za tla na flišu v zahodni Sloveniji, jerovice na Krasu, rjava pokarbovatna tla na Dolenjskem in distrična tla na metamorfnih kamninah v severovzhodni Sloveniji. Združba Al-Ba-K-Na je vezana na distrična rjava tla na različnih silikatnih kamninah, glejna tla in psevdogleje. Združba La-Th-Ti-U-Y-Zr je najmočnejše izražena na ozemlju karbonatnih kamnin južne Slovenije, kjer nastopajo rendzine, rjava pokarbovatna tla in izprana tla. Za združbo Ca-Mg-Sr so značilne negativne vrednosti, ki so vezane na obrečna in oglejena tla (Sava, Savinja, Drava in Mura), na tla na metamorfnih kamninah (Pohorje, Strojna in Kozjak) in na evtrična rjava tla Primorja. Združba P-Pb-Zn je značilna za tla v okolici svinčevo-cinkovih rudišč (Mežica, Litija, Mangart), distrična rjava tla v Posavskih gubah in rendzine na dolomitu in apnencu, moreni in pobočnem grušču Julijskih Alp.

Glede na raziskovalne ugotovitve lahko sklenemo, da ocene naravnega ozadja vsebnosti kemičnih prvin v tleh niso odvisne le od geokemične sestave matičnih kamnin, ampak izražajo tudi obstoj znanih metalogenetskih anomalij, kar nakazuje na pomembno vlogo poznavanja regionalne geologije pri izbiri vzorčnega načrta za ugotavljanje naravnega ozadja tal.

Zahvale

Delo je rezultat naloge Karta naravne radioaktivnosti Slovenije. Podatki teh raziskav so bili podrobneje obdelani v doktorski disertaciji z naslovom Radioaktivne prvine v tleh Slovenije pod mentorstvom prof. dr. Simona Pirca. Za vso pomoč, nasvete in podporo pri nastajanju se mu iskreno zahvaljujem. Moja zahvala velja tudi sodelavcem Geološkega zavoda Ljubljana, še posebej pokojnemu Zoranu Klaiću za pomoč pri meritvah in vzorčevanju, kar je omogočilo zaključek tega obsežnega raziskovalnega dela.

VIRI

- ACME (1993): Acme Analytical Laboratories Ltd. Assaying and geochemical analyses. Acme Analytical Laboratories Ltd., 10 pp., Vancouver.
- ANDJELOV, M. (1986): Uran v potočnem mulju in mahu na ozemlju Žirovskega vrha; diplomska naloga, 81 str., Ljubljana.
- ANDJELOV, M. (1993): Use of ground gamma ray spectrometric survey for elaboration of radioelement geochemical maps. 38 pp., Vienna. (Final report. Research contract No.6793/R1/RB, IAEA.)
- ANDJELOV, M. & KLAJČ, Z. (1994): Radiometrična karta Slovenije: Ozemlje naše države je le na evropskem povprečju. Delo, Znanje za razvoj, 16. 2. 1994, Ljubljana.
- ANDJELOV, M. (1994): Rezultati radiome-

- tričnih in geokemičnih meritev za karto naravne radioaktivnosti Slovenije. *Geologija* 36, 223–248, Ljubljana.
- ANDJELOV, M., TOMŠIČ, J. & PEČNIK, M. (1995): Natural background radioactivities and geochemical map of Slovenia. Application of uranium exploration data and techniques in environmental studies. IAEA-TECDOC-827, 217–230, Vienna.
- ANDJELOV, M. (1999): Radioaktivne prvine v tleh Slovenije : doktorska disertacija, 225 str., Ljubljana.
- BIDOVEC, M. & PIRC, S. (2008): Geometrični atlas Evrope. Novi glas. Unesco (Slov. izd.), leto 37, št. 75, str. 18–19.
- DARNLEY, A. G., BJÖRKLUND, A., BØLVIKEN, B., GUSTAVSSON, N., KOVAL, P. V., PLANT, J. A., STEENFELT, A., TAUCHID, M., XUEJING, XIE., GARRETT, R. G. & HALL, G. E. M. (1995): A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management. Recommendations for International Geochemical Mapping – Final Report of IGCP Project 259. Earth Science Report 19. UNESCO Publishing, 122 pp., Paris.
- DAVIS, J. C. (1986): Statistics and data analysis in geology. Willey & Sons, 651 pp., New York.
- DROVENIK, M., PLENIČAR M. & DROVENIK, F. (1980): Nastanek rudišč v SR Sloveniji. *Geologija*, 23. knjiga, 1. del, 157 str., Ljubljana.
- KOŠMELJ, B. (1983): Uvod v multivariatno analizo. Ekonomska fakulteta Borisa Kidriča, 272 str. Ljubljana.
- PETROVIĆ, M. & POKRAJAC, S. (1969): Regionalna prospekcija urana u oblasti SI Slovenije i SZ Hrvatske. - 88 str., Beograd. (Tipkano poročilo. Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina.)
- PIRC, S. (1977): Uran v kamninah, vodah in mulju na območju Posavskih gub v Sloveniji. Rudarsko-metalurški zbornik, No. 4, 335–357.
- PIRC, S. & MAKSIMOVIĆ, Z. (1985): Methodology for geochemical mapping in Yugoslavia. In: Proceed. 1 st International. Symp. Geochem. And Health, I. Thornton, Ed., Northwood: Science Reviews Ltd., London, pp. 31–44.
- PIRC, S. & ZUPANČIČ, N. (1989): Geokemija kamnin Slovenije; Geokemična karta Istre in Slovenskega primorja. 107 str., Ljubljana. (Tipkano poročilo. Oddelek za geologijo.)
- PIRC, S., MCNEAL, J. M., LENARČIČ, T., PROHIĆ, E., SVRKOTA, R. (1991): Geochemical mapping of carbonate terrains. Trans. - Inst. Min. Metall., B, Appl. earth sci., Vol. 100, pp. B74–B87.
- PIRC, S. (1993): Regional geochemical surveys of carbonate rocks-final report, USG Project JF881-0. – Oddelek za geologijo NTF, Univerza v Ljubljani, 30 pp. Ljubljana.
- PIRC, S. & ŠAJN, R. (1997): Vloga geokemije v ugotavljanju kemične obremenitve okolja. Kemizacija okolja in življenja – do katere meje? Projekt Evropskega leta varstva narave 1995. Slovensko ekološko gibanje, 165–186, Ljubljana.
- SALMINEN, R., BATISTA, M. J., BIDOVEC, M., DEMETRIADES, A., DE VIVO, B., DE VOS, W., DURIS, M., GILUCIS, A., GREGORUSKIENE, V., HALAMIC, J., HEITZMANN, P., LIMA, A., JORDAN, G., KLAVER, G., KLEIN, P., LIS, J., LOCUTURA, J., MARS-

- NA, K., MAZREKU, A., O'CONNOR, P.J., OLSSON, S.Å., OTTESEN, R.T., PETERSELL, V., PLANT, J. A., REEDER, S., SALLPETEUR, I., SANDSTRÖM, H., SIEWERS, U., STEENFELT, A. & TARVAINEN, T. (2005): FOREGS Geochemical Atlas of Europe, Part 1: Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland, 526 pp. Espoo.
- STEPANČIČ, D. (1989): Pedološka karta Slovenije 1 : 400 000. Center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, Ljubljana.
- ŠAJN, R., BIDOVEC, M., ANDJELOV, M., PIRC, S. & GOSAR, M. (1998): Geokemični atlas Ljubljane in okolice. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 34 str., 37 kart, Ljubljana.
- XRAL 1993: XRAL Laboratories -Neutron Activation Services Inc. a Division of SGS Canada, 1885 Leslie Street, Don Mills, Ontario.