

Невенка Танасковић¹, Снежана Белановић Симић², Милан Кнежевић², Сара Лукић²

The effects of afforestation method on content and distribution of trace elements in the soil under Black Pine stands in Grdelica gorge

Утицај начина пошумљавања на садржај и дистрибуцију микроелемената у земљишту под састојином Црног Бора на подручју Грделичке клисуре

¹Универзитет у Београду, Биолошки институт

²Универзитет у Београду, Шумарски факултет

Извод

У овом раду приказани су резултати истраживања утицаја методе пошумљавања (у градоне и у јаме) на дистрибуцију микроелемената (Zn, Cu, Pb и Cd) у земљишту. Проучавања су вршена на подручју Грделичке клисуре на хумусно-силикатном земљишту које је пошумљавано црним бором пре 60 година. Земљиште је узорковано по фиксним дубинама: 0-5, 5-10, 10-20 и 20-40 cm. Лабораторијске анализе обухватиле су испитивања основних физичких и хемијских особина земљишта, као и одређивање псеудоукупних садржаја микроелемената. У земљиштима пошумљаваним у јаме констатована је статистички значајна корелација између дубине земљишта и садржаја хумуса, као и рН вредности и капацитета адсорптивног комплекса земљишта, док у земљиштима пошумљаваним у градоне не постоји статистички значајна корелација између истих параметара. Корелациона веза између микроелемената разликује се у земљиштима пошумљаваним у јаме и у земљиштима пошумљаваним у градоне.

Кључне речи: пошумљавања, градони, јаме, шумско земљиште, микроелементи

Abstract

This paper presents the results of research the effects of afforestation method (planting in bench terraces and in pits) on the distribution of trace elements (Zn, Cu, Pb and Cd) in the soil. The research was conducted in the area of Grdelica gorge in humus-siliceous soil which is afforested with black pine 60 years ago. The soil samples were taken at fixed depths: 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. The laboratory analysis covered the main physical and chemical soil properties as well as the determination of trace elements content. In pit planted soils revealed a statistically significant correlation between soil depth, humus content and pH value and the capacity of soil adsorption complex, while there is no statistically significant correlation between these parameters in the soil planted in bench terraces. The correlations between trace elements are different in soils planted in pits and in soil planted in bench terraces.

Keywords: afforestation, bench terraces, pits, forest soil, trace elements

Увод

Активности у пољопривреди, шумарству и другим привредним гранама често изазивају промене у вегетационом покривачу, отпорности земљишта и доприносе развоју ерозионих процеса (Томић et al., 2011). Антропогеним утицајем изазвана, убрзана ерозија земљишта представља значајан узрок деградације. Деградација физичких и хемијских својстава земљишта ограничава капацитет обнављања екосистема, услед смањених могућности ревитализације (Кадовић et al., 2014).

Хемијски загађувачи су један од најзначајнијих фактора деградације шумских екосистема и међу њима, микроелементи имају посебан еколошки, биолошки и здравствени значај (Кадовић, Кнежевић, 2002). Природне концентрације микроелемената у земљишту могу се значајно повећати услед дејства антропогеног фактора (Кадовић, Кнежевић, 2002) и тако утицати на својства и процесе у земљишту.

Процеси ерозије доводе, не само до физичке деградације земљишта и стварања наноса, већ и до транспорта загађујућих материја (микроелемената) у наносу. Вегетациони покривач обезбеђује најефикаснију заштиту земљишту од деловања ерозивних фактора и од њеног типа и особина у највећој мери зависи степен заштите (Zhang et al., 2003; Durán Zuazo et al., 2006). Најефикаснију заштиту земљишту пружа шума доброг склопа. У шумама доброг склопа, процеси ерозије су драстично смањени у односу на огољено земљиште (Zhou et al., 2006), што пошумљавање ставља у ред најефикаснијих мера заштите земљишта и контроле ерозионих процеса на огољеним и деградираним теренима. Ефикасност склопа вегетације зависи не само од избора врста за пошумљавање, већ и од примењене технике садње и претходне припреме земљишта. Boetang et al., (2012) истичу да механичка припреме земљишта за садњу има потенцијал да стимулативно делује на прираст састојине. Такође, пошумљавање на градонима утиче на смањење ерозије и губитака земљишта (Ђоровић, 1969; Sheng, 2002). Уколико је на деградираним локалитетима, који су предвиђени за пошумљавање, повећан садржај микроелемената у земљишту, применом одговарајуће технике садње могло би се утицати на њихову дистрибуцију у земљишту. Csontos et al., (2012) су уочили промену концентрације микроелемената у земљишту у културама црног бора (*Pinus nigra* Arnold) у поређењу са земљиштем под природном травном вегетацијом. Према овим ауторима, у земљиштима под културом

црног бора дошло је до инверзне дистрибуције микроелемената. Наиме, уочено је да је садржај проучаваних микроелемената већи у дубљим слојевима земљишта у односу на површинске за разлику од земљишта под природном травном вегетацијом, где садржај микроелемената уједначено опада са дубином.

Циљ овог рада је да се утврди утицај различитих метода пошумљавања земљишта (у градоне и у јаме) на садржај и дистрибуцију микроелемената (Zn, Cu, Pb и Cd) у хумусно-силикатном земљишту на подручју Грделчке клисуре.

Материјал и метод рада

Подручје проучавања

Проучавања су вршена на подручју Грделичке клисуре која се налази у југоисточном делу Србије и припада сливу реке Јужне Мораве. Геолошку подлогу чине углавном лискуновити кристаласти шкриљци, док се местимично јављају дацит, андезит, андезитски туф и гранит. Проучавања су вршена у сливу Калиманске реке, Љештарској долини и на локалитету Момин камен. Према класификацији Шкорић et al. (1985) проучавана земљишта припадају типу хумусно силикатног земљишта (подтип дистрични и еутрични), образованом на интермедијарним и киселим стенама.



Слика 1. Подручје проучавања
Figure 1. Study area

Проучавања земљишта

Истраживање је вршено у земљиштима која су пошумљавана црним бором у градоне и у јаме. Проучавања земљишта обухватила су теренска и лабораторијска истраживања. У оквиру теренских истраживања, на репрезентативним површинама отворена су четири профила у земљиштима пошумљаваним у градоне и шест профила отворено у земљиштима пошумљаваним у јаме.

Узорци земљишта узети су по фиксним дубинама: 0-5; 5-10; 10-20 и 20-40 cm. Лабораторијска истраживања обухватила су анализу основних физичких и хемијских особина земљишта и простирке применом метода препоручених од стране ЈДПЗ (Бошњак, 1997; Ценцељ, 1966) и одређивање псеудоукупног садржаја микроелемената. Механички састав земљишта одређен је интернационалном пипет Б методом. Реакција земљишног раствора pH (0,01M CaCl₂) и pH (H₂O) одређена је потенциометријски стакленом електродом. Укупан органски угљеник одређен је методом Tjurina, док је укупни азот одређен микрометодом Kjeldahl-a. Лакоприступачни фосфор (P₂O₅) и калијум (K₂O) одређени су Al методом. Адсорптивни комплекс одређен је према Карпен-и. Одређен је псеудоукупан садржај штетних микроелемената Zn, Cu, Pb и Cd у земљишту по фиксним дубинама и у простирци методом атомске апсорпционе спектrophотометрије (AAS) на апарату „Thermo” M Series AA. Узорци (3 g) су разорени царском водом (HNO₃ и HCl у односу 1:3).

Статистичка анализа

Статистички значај разлика између варијабли земљишта одређен је применом t-теста, а за утврђивање корелационе значајности вршена је анализа Pearson correlation matrix. За статистичку анализу коришћен је програм STATGRAPHICS Centurion X64.

Резултати

Основне физичке и хемијске особине проучаваних земљишта приказане су у табели 1.

Табела 1. Просечне вредности основних својстава проучаваних земљишта пошумљаваних у градоне и у јаме
Table 1. Average values of the basic properties of the soils studied afforestation in bench terraces and in pits

Слој	0 – 5 cm	5 -10 cm	10-20 cm	0 – 5 cm	5 -10 cm	10-20 cm
	градо̀ни			ја̀ме		
Параметри	средња вредност±Sd опсег					
pH (H ₂ O)	5,73±0,56	5,11±0,40	5,02±0,78	6,30±0,38	6,02±0,33	5,80±0,18
(T - S) (cmol·kg ⁻¹)	10,40±5,03	11,70±4,26	13,98±5,97	6,82±2,19	8,21±1,73	8,78±1,48
S (cmol·kg ⁻¹)	4,80±2,42	1,20±1,26	1,80±1,98	20,13±3,88	16,05±1,56	15,50±1,14
T (cmol·kg ⁻¹)	15,20±4,11	8,44±5,78	15,78±3,99	26,96±2,13	24,26±0,74	24,28±1,05
V (%)	33,15±17,46	11,94±9,39	13,43±15,95	74,18±9,77	66,20±6,65	63,92±5,14
Хумус (%)	4,33±1,06	2,23±0,53	3,24±1,17	4,37±1,34	2,78±0,57	2,04±0,29
C (%)	2,51±0,61	1,29±0,30	1,88±0,68	2,58±0,80	1,62±0,33	1,18±0,17
N (%)	0,14±0,04	0,07±0,05	0,10±0,00	0,21±0,03	0,18±0,07	0,07±0,03
C/N	9,00±1,82	5,25±1,55	5,90±0,00	11,82±2,27	9,48±1,42	4,50±0,78
P ₂ O ₅ (mg·100g ⁻¹)	2,80±1,47	3,95±3,19	7,75±4,59	3,12±1,26	3,85±3,08	6,62±7,21
K ₂ O (mg·100g ⁻¹)	10,50±7,78	9,62±4,52	7,00±1,41	22,57±7,80	10,08±5,31	15,68±10,73
Песак (%)	78,98±3,43	77,80±5,09	82,30±0,99	65,12±8,30	59,92±7,04	59,25±5,60
Глина и прах (%)	21,02±3,43	22,20±5,09	17,70±0,99	34,88±8,30	40,08±7,04	40,75±5,60

*Sd – стандардна девијација/Standard deviation

Земљишта пошумљавана у градоне према текстурној класи припадају иловастом песку до песковитој иловачи, према реакцији у води су слабо до екстремно кисела, базама незасићена, где је тотални капацитет адсорпције низак и преовлађују кисели катјони (табела 1). Ова земљишта су умерено до јако хумусна, те добро обезбеђена до богата

азотом. Садржај лакоприступачног фосфора је врло низак до низак, док је садржај лакоприступачног калијума низак до средњи (табела 1).

Земљишта на површинама код којих је пошумљавање вршено у јаме припадају песковитим иловачама до песковито-глиновитим иловачама, према реакцији у води су умерено кисела до неутрална, базама су засићена, а тотални капацитет адсорпције је низак где преовлађују базни катјони (табела 1). Ова земљишта су слабо до јако хумусна и добро обезбеђена до богата азотом. Садржај лакоприступачног фосфора је врло низак до низак, док је лакоприступачним калијумом земљиште боље обезбеђено (табела 1).

У табели 2, приказани су садржаји микроелемената у проучаваним земљиштима.

Табела 2. Садржај микроелемената у проучаваним земљиштима
Table 2. The content of trace elements in the soils studied

Слој	0 – 5 cm	5 -10 cm	10-20 cm	0 – 5 cm	5 -10 cm	10-20 cm
	градони			јаме		
елементи (mg·kg ⁻¹)	средња вредност±Sd опсег					
Zn	78,73±17,37	75,85±15,33	56,62±8,06	51,39±1,42	53,78±8,32	53,86±7,92
Cu	19,41±14,61	17,81±13,18	5,73±0,11	5,46±1,96	5,24±2,20	4,59±2,21
Pb	37,70±16,24	34,08±15,46	48,20±3,48	19,69±9,82	23,53±9,69	24,33±13,08
Cd	0,10±0,08	0,03±0,04	0,09±0,10	0,02±0,04	0,02±0,03	<г.д.

Садржаји Zn се смањују са дубином у земљиштима пошумљаваним у градоне, док су садржаји Zn уједначени у земљиштима пошумљаваним у јаме. Садржаји Cu се смањују са дубином у профилу у свим проучаваним земљиштима. Садржаји Pb и Cd се у земљиштима пошумљаваним у градоне смањује у слоју 5 – 10 cm а потом у слоју до 20 cm се повећавају, док се у земљиштима пошумљаваним у јаме концентрације Pb повећавају а концентрације Cd смањују са дубином у профилу.

Поређењем концентрација микроелемената, садржаја глине и рН-вредности између слојева земљишта између примењених метода пошумљавања, утврђене су статистички значајне разлике (табела 3).

Табела 3. Елементи анализе t-теста за параметре земљишта између слојева проучаваних земљишта

Table 3. Elements of the analysis t-test for the parameters of soil between the layers of the soils studied

Елементи	Дубина (cm)	Градони		Јаме		Р вредност
		Sv	Sd	Sv	Sd	
Садржај глине (%)	0 – 5	21,02	3,43	36,20	8,55	<0,01
	5-10	18,20	11,65	43,06	4,53	<0,05
	10 - 20	17,70	0,99	42,73	4,85	<0,01
pH (H ₂ O)	0 – 5	5,73	0,56	6,30	0,38	<0,05
	5 – 10	5,11	0,40	6,02	0,33	<0,05
Т (cmol·kg ⁻¹)	0-5	15,20	4,11	26,96	2,13	<0,01
	5-10	8,44	5,78	24,26	0,74	<0,01
V (%)	0-5	33,15	17,46	74,18	9,77	<0,01
	5-10	11,94	9,39	66,20	6,65	<0,01
	10-20	13,43	15,95	63,92	5,14	<0,05
Zn (mg·kg ⁻¹)	0 – 5	78,73	17,37	51,39	1,42	<0,01
	5-10	75,85	15,33	53,78	8,32	<0,05
Cu (mg·kg ⁻¹)	0 – 5	19,41	14,61	5,46	1,96	<0,05
Cd (mg·kg ⁻¹)	0 – 5	0,10	0,08	0,02	0,04	<0,05

За упоређивање основних својстава земљишта и садржаја микроелемената у земљиштима пошумљаваним у градоне и у јаме коришћен је t-тест. Статистички значајне разлике утврђене су у садржају глине и степену засићености базама V% до 20 cm дубине и у pH-вредности и тоталном капацитету адсорпције катјона (Т) до 10 cm дубине између земљишта пошумљаваних у градоне и у јаме. Статистички значајних разлика нема у садржају хумуса и садржају укупног олова у проучаваним земљиштима. У земљиштима пошумљаваним у градоне, утврђене су статистички значајно веће концентрације Zn у слоју 0-5 cm ($p<0,01$) и 5-10 cm ($p<0,05$). Измерене концентрације Cu су статистички значајно веће у површинском слоју земљишта (0-5 cm) пошумљаваног у градоне ($p<0,05$). Утврђено је да су једино концентрације бакра измерене у два земљишна профила отворена у земљиштима пошумљаваним у градоне веће од граничних вредности («Сл. гласник РС», бр. 88/2010). Измерене концентрације Cd статистички су значајно веће у површинском слоју земљишта (0-5 cm) пошумљаваних у градоне ($p<0,05$).

У табелама 4 и 5 приказана је корелација садржаја микроелемената и својстава земљишта пошумљаваних у градоне и јаме.

Табела 4. Коефицијент корелације садржаја микроелемената и својстава земљишта пошумљаваних у градоне

Table 4. The coefficient of correlation between the trace elements content and soil properties in soil afforestation in bench terraces

	Zn	Cu	Pb	Cd	pH	T	V	Хумус	Глина	Дубина
	mg.kg ⁻¹					cmol.kg ⁻¹	%	%	%	
Zn mg.kg ⁻¹	1	0,953**	-0,884*	-0,538	0,312	-0,487	0,276	0,045	0,059	-0,421
Cu mg.kg ⁻¹		1	-0,968**	-0,413	0,486	-0,651*	0,423	-0,117	0,069	-0,407
Pb mg.kg ⁻¹			1	0,399	-0,466	0,793**	-0,349	0,326	-0,101	0,350
Cd mg.kg ⁻¹				1	0,518	0,114	0,522	0,331	0,245	-0,079
pH					1	-0,546	0,956**	0,159	0,206	-0,547
T cmol.kg ⁻¹						1	-0,339	0,675*	-0,119	0,339
V%							1	0,386	0,102	-0,517
Хумус %								1	0,038	-0,040
Глина %									1	-0,036
Дубина										1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Утврђена је значајна корелативна веза између концентрација Zn и Cu ($r = 0,953^{**}$), Zn и Pb ($r = -0,884^{**}$), као и између Cu и Pb ($r = -0,968^{**}$) у земљиштима пошумљаваним у градоне. Утврђено је постојање статистички сигнификантне корелативне везе између садржаја хумуса и тоталног капацитета адсорпције ($r = 0,675^{*}$). Такође и између тоталног капацитета адсорпције и концентрације Cu ($r = -0,651^{*}$) и Pb ($r = 0,793^{**}$) постоји статистички значајна корелативна веза.

Табела 5. Коефицијент корелације садржаја микроелемената у земљиштима пошумљаваних у јаме

Table 5. The coefficient of correlation between the trace elements content and soil properties in soil afforestation in pits

	Zn	Cu	Pb	Cd	pH	T	V	Хумус	Глина	Дубина
	mg.kg ⁻¹					cmol.kg ⁻¹	%	%	%	
Zn mg.kg ⁻¹	1	0,467	0,656*	0,303	-0,531	0,077	-0,492	-0,272	0,060	0,178
Cu mg.kg ⁻¹		1	0,866**	0,340	-0,345	-0,075	-0,397	0,102	0,005	-0,191
Pb mg.kg ⁻¹			1	0,405	-0,565*	0,177	-0,593*	-0,219	0,066	0,188
Cd mg.kg ⁻¹				1	-0,095	0,413	-0,136	0,254	0,070	-0,300
pH					1	0,627*	0,965**	0,640*	-0,110	-0,570*
T cmol.kg ⁻¹						1	0,677**	0,581*	0,118	-0,544*
V%							1	0,508	-0,027	-0,490
Хумус %								1	0,004	-0,705**
Глина %									1	0,228
Дубина										1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

У земљиштима где је пошумљавање вршено у јаме утврђена је значајна и веома значајна корелативна веза између концентрација Zn и Pb ($r = 0,656^*$) као и Cu и Pb ($r = 0,866^{**}$). Олово са pH вредношћу земљишта има сигнификантну корелацију ($r = -0,565^*$), као и са засићеношћу базама ($r = -0,593^*$), затим pH вредност има корелацију са засићеношћу базама ($r = 0,965^{**}$) и са тоталним капацитетом адсорпције ($r = 0,627^*$) и садржајем хумуса ($r = 0,640^*$). Укупни садржај хумуса има сигнификантну корелацију са тоталним капацитетом адсорпције ($r = 0,581^*$). Такође је утврђено да је дубина земљишта у сигнификантној корелативној вези са pH вредношћу ($r = -0,570^*$), тоталним капацитетом адсорпције ($r = -0,544^*$) и садржајем хумуса ($r = -0,705^{**}$).

Дискусија

Елементи у траговима се у земљиштима природно налазе у врло малим концентрацијама, али услед антропогених активности мењају се биохемијски циклуси елемената и током времена се повећава

ниво микроелемената у земљиштима (Adriano, 2001; Domínguez et al., 2008). Понашање микроелемената у земљишту, њихова динамика и дистрибуција, мењају се у зависности од својстава земљишта (Белановић et al., 2003), утицаја вегетације, али и мера управљања екосистемима (начина заснивања засада и мера газдовања) (Csontos et al., 2012).

Урдебом о програму систематског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма Р Србије (Сл. Гласник РС 88/2010) прописане су граничне и ремедијационе вредности и вредности које могу указати на значајну контаминацију земљишта тешким металима, које зависе од садржаја глине и органске материје. Укупне концентрације микроелемената су ниже у односу на кориговане граничне вредности и не указују на присуство загађења. У два земљишна профила отворена у земљиштима пошумљаваним у градоне, измерене концентрације бакра су нешто више од коригованих граничних вредности (изм. $32,77 \text{ mg kg}^{-1}$ – гран. $31,30 \text{ mg kg}^{-1}$ и изм. $31,32 \text{ mg kg}^{-1}$ - гран. $29,08 \text{ mg kg}^{-1}$), али су знатно ниже од ремедијационих.

Проучавана хумусно силикатна земљишта у зависности од примењене технике пошумљавања показују статистички значајну разлику у садржају (табела 3) глине и степену засићености базама V% (до 20 cm дубине), pH-вредности и тоталном капацитету адсорпције катјона Т (до 10 cm дубине). Такође, статистички значајне разлике су утврђене и у: укупним садржајима Zn (слој до 10 cm), Cd и Cu (у слоју до 5 cm). Иако је утврђена статистички значајна разлика у садржају глине у земљиштима пошумљаваним у јаме и градоне, у овим земљиштима није утврђена статистички значајна корелација између садржаја глине и дубине земљишта као ни између садржаја глине и садржаја проучаваних микроелемената, што указује да глина није носилац адсорптивног комплекса. У прилог чињеници да је садржај хумуса у проучаваним земљиштима носилац адсорптивног комплекса, говори утврђена значајна корелациона веза између садржаја хумуса и адсорптивног комплекса као и између садржаја хумуса и pH вредности у земљиштима пошумљаваним у јаме и градоне.

Ретенција микроелемената у земљишту зависи од садржаја и квалитета органске материје и pH вредности у земљиштима (Adriano, 2001; Sauvé et al., 1997; Sauvé et al., 2000; Kabata-Pendias, Pendias, 2000; Antoniadis et al., 2007; Belanović, et al., 2012). Иако је утврђена

статистички значајна разлика између рН вредности у земљиштима пошумљаваним у јаме и градоне, значајна корелациона веза између рН вредност земљишта и укупног садржаја Pb, утврђена је у земљиштима пошумљаваним у јаме. Међутим, у земљиштима пошумљаваним у градоне нема статистички значајне корелације између рН вредности земљишта и садржаја микроелемената, као ни рН вредности земљишта и дубине, на шта је вероватно имала утицај техника пошумљавања (Лукић, 2013), као и уски интервал рН вредности земљишног раствора. Констатовано је да у земљиштима пошумљаваним у јаме статистички значајну корелацију има дубина земљишта са садржајем хумуса, рН вредношћу, капацитетом адсорптивног комплекса земљишта и степеном засићености базама.

Бакар и цинк су геолошки повезани као и цинк и кадмијум (Adriano, 2001; Kabata-Pendias, Pendias, 2000), али у земљиштима пошумљаваним у јаме немају статистички значајну корелацију, док у земљиштима пошумљаваним у градоне, постоји статистички значајна корелација између садржаја Zn и Cu ($p < 0,01$), Zn и Pb ($p < 0,01$), док је између Zn и Cd корелација јака, али не и сигнификантна. Недостатак статистички значајне корелације може се објаснити међусобним утицајима елемената где постоји конкуренција јона Zn и Cu и Pb (Alloway, 1995; Adriano, 2001). Садржај олова у земљиштима пошумљаваним у јаме има значајну негативну корелацију ($p < 0,05$) са рН вредности и са степеном засићености базама. С друге стране рН вредност и капацитет адсорпције имају позитивну статистички значајну корелацију са садржајем хумуса, чиме се индиректно објашњава веза између садржаја микроелемената и органске материје. У земљиштима бакар и олово се везују за органску материју, формирају стабилне комплексе са хуминским и фулво киселинама (Kabata – Pendias, Pendias, 2000; Белановић et al., 2012; Mrvić, 2009), и са њима се једним делом транспортују кроз земљишни профил. У земљиштима пошумљаваним у јаме садржај хумуса зависи од дубине земљишног профила, што није случај у земљиштима пошумљаваним у градоне.

Занимљиво је да бакар у земљиштима пошумљаваним у градоне нема значајну корелацију са дубином у профилу, док је дубина у корелацији са рН вредностима и засићености базама, али не статистички значајној. Садржаји цинка и олова као и бакра и олова у земљиштима пошумљаваним у јаме имају значајну међусобну корелацију, док садржаји олова и кадмијума немају значајну корелацију. На основу напред наведеног

начин пошумљавања је свакако утицао на дистрибуцију микроелемената и садржај хумуса у земљишту, али су неопходна опсежнија проучавања.

Закључак

Проучавања утицаја начина пошумљавања на дистрибуцију штетних микроелемената (Zn, Cu, Pb и Cd) вршена су на подручју Грделичке клисуре која се налази у југоисточном делу Србије и припада сливу реке Јужне Мораве. Техника пошумљавања у градоне утиче на дистрибуцију концентрација свих микроелемената (Zn, Cu, Pb и Cd). У земљиштима пошумљаваним у јаме констатовано је да је дубине земљишта у статистички значајној корелационој вези са садржајем хумуса, рН вредности, тоталним капацитетом адсорпције, као и са степеном zasiћености базама. Међутим, у земљиштима пошумљаваним у градоне нема статистички значајне корелације између рН вредности земљишта и садржаја микроелемената, као ни између рН вредности земљишта и дубине. На ову појаву, вероватно је имао утицај начин пошумљавања, и узак интервал рН земљишног раствора. У земљиштима, бакар и олово се везују за органску материју, формирају стабилне комплексе са хуминским и фулво киселинама, и са њима се једним делом транспортују кроз земљишни профил. Занимљиво је да бакар у земљиштима пошумљаваним у градоне нема значајну корелацију са дужином у профилу, док је дубина у корелацији са рН вредности и zasiћености базама, која није статистички значајна. Цинк и олово као и бакар и олово у земљиштима пошумљаваним у јаме имају значајну међусобну корелацију, док олово и кадмијум немају значајну корелацију. На основу напред наведеног начин пошумљавања је свакако утицао на дистрибуцију микроелемената и садржај хумуса у земљиштима, али су неопходна опсежнија проучавања.

Summary

The results of this research show the effects of afforestation method (planting in bench terraces and in pits) on the distribution of trace elements (Zn, Cu, Pb and Cd) in the soil. According to t-test there are significant differences in clay content and base saturation at 20 cm depth, the capacity of soil adsorption complex and pH-value, content of Zn at 10 cm depth and content of Cu at 5 cm depth.

In pit planted soils revealed a statistically significant correlation between content of trace elements and humus content. Also, there are not significant

correlations of trace elements, humus content and pH value with soil depth, whilst there are significant correlations of soil depth with pH value, humus content and the capacity of soil adsorption complex in the pit planted soils.

In soils planted in bench terraces, soil depth and content of trace elements are not in significant correlation, whilst pH value and base saturation are in correlation with soil depth, but not statistically significant.

Also, the correlations between trace elements are different in soils planted in pits and in soil planted in bench terraces.

According to foregoing, the afforestation method certainly influenced the distribution of trace elements and humus content, but further research is needed.

Литература:

Antoniadis V., Tsadilas C.D., Ashworth D.J. (2007): Effect of Dissolved Organic Carbon on Zinc Solubility in Incubated Biosolids-Amended Soils, J. Environ. Qual. 36, ASA, CSSA, and SSSA (379–385)

Adriano D.C. (2001): Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York p.867

Белановић С., Кнежевић М., Кадовић Р., Даниловић М. (2003): Дистрибуција неких тешких метала у земљиштима букових заједница НП “Ђерап”, Гласник Шумарског факултета 88 (17-25)

Belanović S., Čakmak D., Kadović R., Beloica J., Perović V., Alnaass N., Saljnikov E. (2012): Приступачност микроелемената (Pb, Cd, Cu i Zn) у односу на својства земљишта под пашњацима Старе планине, Гласник Шумарског факултета 106 (41-56)

Boateng J.O., Heineman J.L., Bedford L., Nemec A.F.L. (2010): Long term effects of mechanical site preparation and windrow burning treatments on soil properties and *Pinus contorta* var. *latifolia* nutrition in sub-boreal British Columbia, Scandinavian Journal of Forest Research, 25(6) (515-533)

Bošnjak Đ. (ur.) (1997): Metode istraživanja i određivanja fizičkih svojstava zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta. Novi Sad: [JDPZ] - Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta

Cencelj J. (1966): Određivanje reakcije zemljišta, Hemijske metode ispitivanja zemljišta, Priručnik za ispitivanje zemljišta, knjiga 1, [JDPZ] – Jugoslovensko društvo za proučavanje zemljišta

Csontos P., Halbritter A., Tamás J., Szili-Kovács T., Kalapos T., Uzinger N. Anton A. (2012): Afforestation of dolomite grassland with non-native *Pinus nigra* in Hungary and its effect on soil trace elements, Applied Ecology Environmental Research, 10(4) (405-415)

Domínguez M.T., Madejón, P., Marañón, T., Murillo, J.M. (2008): Afforestation of a trace-element polluted area in SW Spain: woody plant performance and trace element accumulation, Eur. J. Forest Res, DOI 10.1007/s10342-008-0253-3 (1-13)

Durán Zuazo H.V., Francia Martínez J.R., Rodríguez Pleguezuelo C.R., Martínez Raya A., Carcéles Rodríguez B. (2006): Soil-erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (se Spain): Implications for sustainable agriculture. *Environmentalist* 26 (309-319)

Đorović M. (1969): Experimental determination of the bench terrace effect in erosion - Master's thesis,

Kabata-Pendias A., Pendias H. (2000): Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, 3rd ed. p.413

Кадовић Р., Кнежевић М. (2002): Тешки метали у шумским екосистемима Србије. Шумарски факултет Универзитета у Београду и Министарство за заштиту природних богатстава и животне средине Републике Србије, Београд, Србија, Београд. p. 278

Кадовић Р., Белановић С., Кнежевић М., Кошанин О., Миљковић П., Тошић С. (2014): Шумски пожари и загревање земљишта: реконструкција пожара у НП "Тара" применом модела FOFEM6, Заштита природе, бр. 64/2, Београд (5-12)

Лукић С., (2013): Мелиоративни ефекти противерозионих пошумљавања на подручју Грделичке клисуре и Врањске котлине. Докторска дисертација. Универзитет у Београду Шумарски факултет, Београд. p. 227

Mrvic V., Zdravković M., Sikirić B., Čakmak D., Kostić-Kravljanać Lj. (2009): Štetni i opasni elementi u zemljištu, monografija Plodnost i sadržaj opasnih i štetnih materija u zemljištima Centralne Srbije, Institut za zemljište, Beograd p. 223

Томић З., Ракоњац Љ., Исајев В. (2011): Избор врста за пошумљавање и мелиорације у Централној Србији, Монографија, Институт за шумарство, Београд (17-35)

Sauvé S., McBride M., Norvell W.A., Hendershot W. (1997): Copper solubility and speciation of in situ contaminated soils: Effects of copper level, pH and organic matter, *Water, Air, and Soil Pollution* 100, Springer (133 – 149)

Sauvé S., Norvell W.A., McBride M., Hendershot W. (2000): Speciation and Complexation of Cadmium in Extracted Soil Solutions, *Environ. Sci. Technol.*, 34, ACS (291-296)

Sheng T.C. (2002): Bench Terrace Design Made Simple, *Proceedings of 12th ISCO Conference Vol IV, Beijing (China)*, May 26-31 (500 – 504)

Шкорић А., Филиповски Г., Ћирић М. (1985): Класификација земљишта Југославије. АН БИХ, књига LXXVIII, Сарајево

Zhang Y., Liu B.Y., Zhang Q.C., Xie Y. (2003): Effect of different vegetation types on soil erosion by water. *Acta Botanica Sinica* 45(10) (1204-1209)

Zhou Z.C., Shangguan Z.P., Zhao D. (2006): Modelling vegetation coverage and soil erosion in the Loess Plateau Area of China. *Ecological Modelling* 198 (263-268)