

Снежана Белановић
Милан Кнежевић
Ратко Кадовић
Милорад Даниловић

UDK: 630*114.2:661.85+87
Оригинални научни рад

ДИСТРИБУЦИЈА НЕКИХ ТЕШКИХ МЕТАЛА У ЗЕМЉИШТИМА БУКОВИХ ЗАЈЕДНИЦА НП „ЂЕРДАП”

Извод: У раду су приказани садржаји неких тешких метала у земљиштима букових заједница (*Fagetum submontanum luzuletosum*, *Fagetum submontanum drymetosum* и *Musco-Fagetum*) на подручју Ђердапа. Утврђена је значајност разлика између концентрације тешких метала (Pb, Zn и Cd) у земљиштима, као и зависност садржаја елемената у земљишту од дубине земљишта.

Кључне речи: тешки метали, дистрибуција, шумско земљиште, шумски екосистеми

DISTRIBUTION OF SOME HEAVY METALS IN THE SOILS OF BEECH COMMUNITIES IN THE NP “ĐERDAP”

Abstract: The concentrations of some heavy metals in the soils of beech communities (*Fagetum submontanum luzuletosum*, *Fagetum submontanum drymetosum* and *Musco-Fagetum*) were studied in the region of Đerdap. The significant difference was determined between the concentrations of heavy metals (Pb, Zn and Cd) in the soils, and also the dependence of the contents of elements in the soil on the soil depth.

Key words: heavy metals, distribution, forest soil, forest ecosystems

1. УВОД

Акумулација тешких метала у појединим компонентама шумских екосистема условљена је интензитетом таложења, својствима земљишта, минералним саставом супстрата и типом вегетације. Земљишта у сложеним екосистемима, као што је то

мр Снежана Белановић, асистент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд
др Милан Кнежевић, ред. професор, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд
др Ратко Кадовић, ред. професор, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд
мр Милорад Даниловић, асистент, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Београд

шумски, имају значајну функцију у ретенцији тешких метала, пре свега, захваљујући њиховој улози филтра и пуфера. Механизмима хемијске имобилизације у површинском слоју земљишта дефинише се ретенција тешких метала, а даљи транспорт кроз профил земљишта зависи од геохемијских и педолошких процеса карактеристичних за одређене вегетацијске и едафске услове станишта. Испољавање видљивих симптома посредног утицаја депозиције полутаната је у зависности од пуферног капацитета земљишта. Јасно је да, пуферни капацитет земљишта зависи од природе полутаната и у функцији је од многих својстава земљишта, пре свега, рН, СЕС, садржаја органске материје, садржаја и типа глине, оксида Fe, Mn и Al и редокс потенцијала.

Дистрибуцију и испирање већине елемената повећава и убрзава, пре свега, процес ацидификације земљишта. Степен којим кисела депозиција повећава ацидитет земљишта варира у зависности од пуферне способности земљишта, садржаја и трајања киселе депозиције.

Циљ овог рада је да се истражи дистрибуција Pb, Cd и Zn по дубини земљишта у различитим заједницама букве на подручју Ђердапа.

2. МЕТОД РАДА И МАТЕРИЈАЛ

Проучавања су обављена у земљиштима НП „Ђердап“, слива Ђервинског потока у заједницама букве: *Fagetum submontanum luzuletosum*, *Fagetum submontanum drymetosum* и *Musco-Fagetum*. У свакој од наведених заједница отворена су по четири профила, а узорци земљишта су узети из 11 проучаваних земљишних профила по фиксним дубинама: 0-10 cm, 10-20 cm и 20-40 cm. Поред проучавања основних физичких и хемијских својстава земљишта (*Хемијске методе испитивања земљишта*, књига 1, ЈДПЗ, 1966, *Методе испитивања и одређивања физичких својстава земљишта*, ЈДПЗ, 1997), извршена су и интензивна проучавања укупног садржаја тешких метала.

Садржај тешких метала у земљишту је одређен методом атомске апсорпционе спектрофотометрије, апаратом „Varian AA-10“. Конзервација и припрема узорака за „псеудо“ укупан садржај Pb, Cd и Zn урађена је према UNEP-UN/ECE Method 9190SH и Method 9109 SA (земљиште је третирано мешавином концентроване HCl, HNO₃ и H₂O₂ у односу 3:1:2).

Резултати мерења концентрација тешких метала у проучаваним земљиштима су обрађени применом математичко-статистичких метода (анализа варијансе, статистички тестови значајности - Данканов тест, регресиона анализа) и утврђена је:

- значајност разлика између концентрације тешких метала (Pb, Zn и Cd) у земљишту у различитим буковим заједницама, и
- зависност садржаја елемената у земљишту од дубине земљишта.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Понашање тешких метала у земљишту, њихова динамика, дистрибуција и приступачност за биљке, мења се у складу са променом рН-вредности, садржаја органске материје и глине, влажности земљишта, садржаја CaCO_3 и хидроксида Fe и Al. Повећање ацидитета, поред директног ефекта, има индиректан утицај на равнотежу адсорпције, стабилност органо-минералних комплекса и редокс потенцијал.

На основу морфолошких и основних физичко-хемијских својстава дефинисана су следећа земљишта:

- дистрични ранкер у заједници *Fagetum submontanum luzuletosum* (профили 4/02, и 4a/02), грађе профила OI-A-AC-C;
- типично кисело смеђе земљиште (профили 5/02, 9/02, 7 /02, 8/02, и 8б/02), са грађом профила OI-A-(B)-(B)C-C;
- еродирано кисело смеђе земљиште у заједници *Musco-Fagetum* (профил 6/02), морфолошке грађе A(B)-(B)C-C;
- оподзољено кисело смеђе земљиште у заједници *Musco-Fagetum* (профили 10/02, 10a/02, 13/02), са грађом профила Oh-A1,2- B-(B)C-C.

Мобилност и дистрибуција тешких метала у земљиштима, у највећој мери, зависе од реакције земљишта, садржаја органске материје и текстурног састава.

У проучаваним земљиштима киселост се са дубином смањује, тако у хумусно-силикатном, у слоју 0-10 cm рН CaCl_2 се креће 3,82-4,02, а у слоју 20-40 cm од 4,30-4,43; у типичном киселом смеђем земљишту рН CaCl_2 се креће од 3,80-5,74 у слоју 0-10 cm; до 4,25-5,06 у слоју 20-40 cm; а код оподзољене варијанте киселог смеђег земљишта процес ацидификације је најизраженији и рН вредности се креће од 3,72-3,84 за слој 0-10 cm; до 4,05-4,36 у слоју 20-40 cm. Ниске рН-вредности указују на могући трансфер тешких метала из чврсте у течну фазу земљишта, и на тај начин постају приступачни биљкама, али су многа истраживања показала да ниска рН вредност не искључује добар раст шумског дрвећа.

Хумус веома активно учествује у готово свим битним педогенетским процесима у земљишту. Хумусне материје имају висок капацитет адсорпције и способност да везују и задржавају катјоне у облику лакоприступачном биљкама. Карактеристика Zn и Cd и, нарочито, Pb је да се снажно везује за органску материју у органо-минералним слојевима земљишта. Афинитет метала да се везују са хелатним групама веома доприноси ретенцији тешких метала од стране органских колоида (К а д о в и ћ, К н е ж е в и ћ, 2002).

Садржај хумуса у свим проучаваним земљиштима са дубином опада тако да је на дубини 20-40 cm мањи од 2%. У слоју 0-10 cm код ранкера и типичног смеђег земљишта садржај хумуса се креће од 4,08-7,09%, сем у профили 6/02 где је површински А-хоризонт добрим делом еродиран, а садржај хумуса износи 2,32%. У површинском слоју оподзољеног киселог смеђег земљишта садржај хумуса је највећи (7,86-10,91%).

Колоиди и честице глине, такође, важни су носиоци адсорптивне способности земљишта. Метали доспели у земљиште депозицијом, јаче се везују у глиновитим земљиштима због велике активне површине и високог капацитета адсорпције за катјоне којима се одликују минерали глине.

Садржај укупне глине у проучаваним ранкерима и типичном киселом смеђем земљишту са дужином се смањује. У оподзољеном киселом смеђем земљишту садржај укупне глине у профилу је највећи у слоју 10-20 cm, што јасно указује на процесе испирања из површинских у средишње делове профила.

Многи аутори (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989, Vanmechelen *et al.*, 1997, Кадовић, Кнежевић, 2002) наводе да је концентрација појединих тешких метала у линеарној зависности од садржаја органског угљеника, и промена киселости земљишта. Резултати мерења концентрација Pb, Zn и Cd у проучаваним земљиштима, такође, показала су промене у садржају ових елемената по дубини земљишта са променама наведених основних физичких и хемијских својстава земљишта.

Анализом варијансе, на нивоу значајности 95%, утврђено је да не постоје статистички значајне разлике за концентрације Zn и Pb у земљиштима под различитим буковим заједницама, па су подаци обједињени и третирани као да су из истог статистичког скупа. Када је у питању Cd, установљено је да постоје статистички значајне разлике између садржаја Cd у земљишту под заједницом *Fagetum submontanum drymetosum* у односу на садржај у земљиштима под заједницама *Fagetum submontanum luzuletosum* и *Musco-Fagetum* (табела 1). Ова статистички значајна разлика је највећим делом последица утицаја киселости земљишта. Познато је да се промене у растворљивости Cd испољавају при распону pH од 5,5-6,0 (Martin, Bullock, 1994, према Vanmechelen *et al.*, 1997). Вредности pH H₂O типичног киселог смеђег земљишта под заједницом *Fagetum submontanum drymetosum* крећу се у распону од 5,0-6,5 pH јединица, док је pH вредност у земљишту под заједницом *Fagetum*

Табела 1. Резултати статистичког теста (Данканов тест)

Table 1. Results of the statistical test (Duncan's test)

H	Pb	Zn	Cd _I	Cd _{II}	H	Pb	Zn	Cd _I	Cd _{II}
cm	mg·kg ⁻¹				cm	mg·kg ⁻¹			
					20	12,46	32,79	0,19	0,35
0	16,12	47,94	0,32	0,58	21	12,28	32,17	0,19	0,33
1	15,94	47,04	0,29	0,57	22	12,09	31,56	0,19	0,32
2	15,75	46,15	0,28	0,56	23	11,91	30,97	0,19	0,31
3	15,57	45,29	0,27	0,54	24	11,73	30,39	0,18	0,30
4	15,39	44,43	0,26	0,53	25	11,55	29,81	0,18	0,29
5	15,21	43,60	0,26	0,52	26	11,36	29,25	0,18	0,28
6	15,02	42,78	0,25	0,51	27	11,18	28,70	0,17	0,26
7	14,84	41,97	0,25	0,50	28	11,00	28,16	0,17	0,25
8	14,66	41,18	0,24	0,49	29	10,81	27,63	0,17	0,24

submontanum luzuletosum у распону 4,4-5,0 рН јединица, а у земљишту под заједницом *Musco-Fagetum* 4,1-4,9 рН јединица.

Зависност концентрације тешких метала од дубине педолошког профила у проучаваним заједницама букве (*Fagetum submontanum luzuletosum*, *Fagetum submontanum drymetosum* и *Musco-Fagetum*) представљена је функцијама у табели 2.

Табела 2. Резултати анализе варијансе

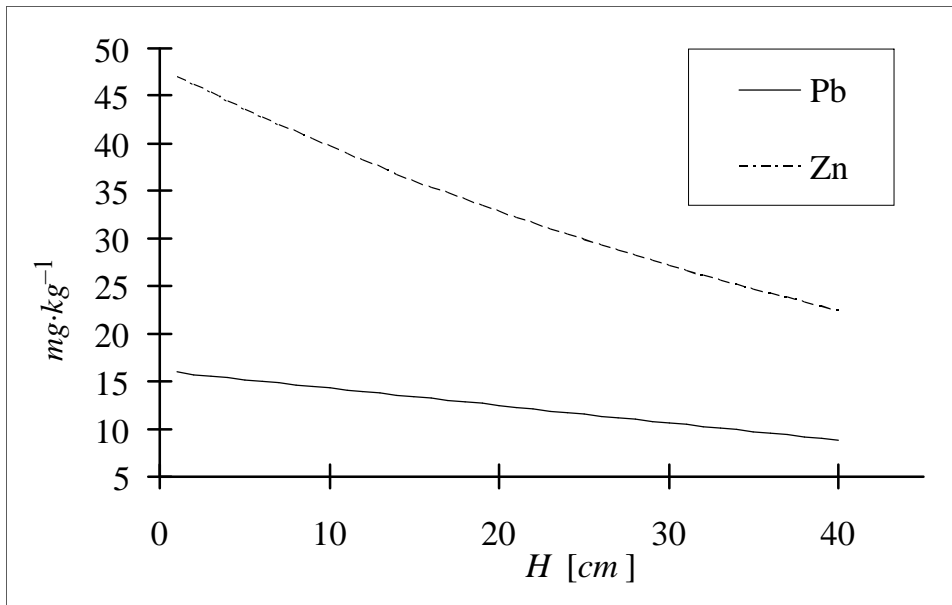
Table 2. Results of the analysis of variance

<i>H</i>	Pb	Zn	Cd_I	Cd_{II}	<i>H</i>	Pb	Zn	Cd_I	Cd_{II}
<i>cm</i>	<i>mg·kg⁻¹</i>				<i>cm</i>	<i>mg·kg⁻¹</i>			
0	16,12	47,94	0,32	0,58	20	12,46	32,79	0,19	0,35
1	15,94	47,04	0,29	0,57	21	12,28	32,17	0,19	0,33
2	15,75	46,15	0,28	0,56	22	12,09	31,56	0,19	0,32
3	15,57	45,29	0,27	0,54	23	11,91	30,97	0,19	0,31
4	15,39	44,43	0,26	0,53	24	11,73	30,39	0,18	0,30
					25	11,55	29,81	0,18	0,29

Легенда: *H* - дубина педолошког профила (земљишта)

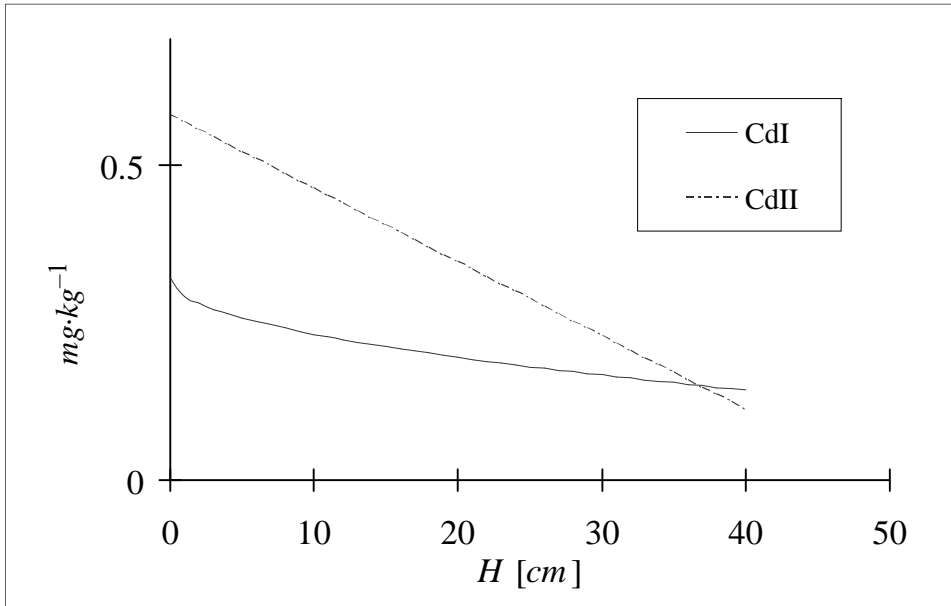
Cd_I - *Fagetum submontanum luzuletosum* и *Musco-Fagetum*

Cd_{II} - *Fagetum submontanum drymetosum*



Слика 1. Зависност концентрације олова и цинка од дубине земљишта

Figure 1. Dependence of lead and zinc concentrations on the soil depth



Слика 2. Зависност концентрације кадмијума од дубине земљишта

Figure 2. Dependence of cadmium concentration on the soil depth

Зависност концентрације олова од дубине земљишта представљена је линеарном функцијом. Параметри функције су прецизно оцењени на нивоу значајности 95%, а коефицијент корелације је сигнификантан и показује да између концентрације олова и дубине педолошког профила постоји значајна повезаност (табела 1). Зависност концентрације цинка од дубине педолошког профила представљена је експоненцијалном функцијом. Статистички елементи извршене регресионе анализе показују да се ради о функцији која најбоље представља природу ове зависности.

Користећи регресионе једначине зависности, израчуната је концентрација тешких метала за различиту дубину земљишта букових заједница на подручју НП „Ђердап“ (табела 3, слике 1-2).

У шумским екосистемима карактеристичан је повећан садржај тешких метала у шумској простирци (Vanmechelen *et al.*, 1997), што је последица процеса суве и влажне депозиције, испирања са површине фотосинтетичких органа интерцепције и таложењем на површини.

Садржаји Pb, Zn и Cd у проучаваним земљиштима са дубином опадају (табела 3, слике 1-2). Утврђене концентрације тешких метала у овим земљиштима поређене су у односу на критична ограничења која важе у земљама Европске заједнице, а која су сагласна концепту обезбеђења мултифункционалног коришћења земљишта и, према de Vries и Bakker (1998), изражене у $mg \cdot kg^{-1}$, крећу се у следећим

Табела 3. Концентрација тешких метала у земљишту букових заједница на подручју НП „Ђердап”

Table 3. Concentration of heavy metals in the soil of beech community in the region of NP “Đerdap”

<i>H</i>	Pb	Zn	Cd_I	Cd_{II}	<i>H</i>	Pb	Zn	Cd_I	Cd_{II}
<i>cm</i>	<i>mg·kg⁻¹</i>				<i>cm</i>	<i>mg·kg⁻¹</i>			
					20	12,46	32,79	0,19	0,35
0	16,12	47,94	0,32	0,58	21	12,28	32,17	0,19	0,33
1	15,94	47,04	0,29	0,57	22	12,09	31,56	0,19	0,32
2	15,75	46,15	0,28	0,56	23	11,91	30,97	0,19	0,31
3	15,57	45,29	0,27	0,54	24	11,73	30,39	0,18	0,30
4	15,39	44,43	0,26	0,53	25	11,55	29,81	0,18	0,29
5	15,21	43,60	0,26	0,52	26	11,36	29,25	0,18	0,28
6	15,02	42,78	0,25	0,51	27	11,18	28,70	0,17	0,26
7	14,84	41,97	0,25	0,50	28	11,00	28,16	0,17	0,25
8	14,66	41,18	0,24	0,49	29	10,81	27,63	0,17	0,24
9	14,47	40,41	0,24	0,47	30	10,63	27,11	0,17	0,23
10	14,29	39,65	0,23	0,46	31	10,45	26,60	0,16	0,22
11	14,11	38,90	0,23	0,45	32	10,26	26,10	0,16	0,21
12	13,92	38,17	0,22	0,44	33	10,08	25,61	0,16	0,19
13	13,74	37,45	0,22	0,43	34	9,90	25,13	0,16	0,18
14	13,56	36,74	0,22	0,42	35	9,72	24,66	0,15	0,17
15	13,38	36,05	0,21	0,40	36	9,53	24,19	0,15	0,16
16	13,19	35,37	0,21	0,39	37	9,35	23,74	0,15	0,15
17	13,01	34,71	0,20	0,38	38	9,17	23,29	0,15	0,14
18	12,83	34,06	0,20	0,37	39	8,98	22,85	0,15	0,12
19	12,64	33,41	0,20	0,36	40	8,80	22,42	0,14	0,11

границама: за Pb 25-100, а за Cd 0,3-2. Vanmechelen и сарадници (1997), за услове шумских земљишта у Европи, наводе нешто другачије вредности нормалних и критичних концентрација, које су изведене на основу бројних истраживања у последње две деценије. Тако се за Pb наводе „нормалне“ концентрације у границама од 10-100 $mg \cdot kg^{-1}$, а „критичне“ концентрације од 100-400 $mg \cdot kg^{-1}$. За Cd „нормалне“ концентрације су < 1,0 $mg \cdot kg^{-1}$, а „критичне“ 3-8 $mg \cdot kg^{-1}$.

Кадовић и Кнежевић (2002) наводе максимално прихватљиве концентрације (МПК), за ниво значајности 95%, у шумским екосистемима Србије, и то за Pb 35,5 $mg \cdot kg^{-1}$ за органски слој, а за минералне 39,8 $mg \cdot kg^{-1}$. За Cd 0,69 $mg \cdot kg^{-1}$, органске и минералне слојеве и Zn 38,01 $mg \cdot kg^{-1}$ у органским и 44,69 $mg \cdot kg^{-1}$ у минералним. Наведене вредности су израчунате применом методе статистичке екстраполације и засноване су на претпоставци да је испод ових концентрација, једног или више тешких метала, нема значајнијих штетних ефеката на специфициране компоненте шумских екосистема, тј. да је 95% врста или таксономских група заштићено. У проучаваним земљишним профилима садржаји Pb и Cd су нижи од критичних вредности као и од МПК, док су садржаји Zn већи од МПК.

4. ЗАКЉУЧАК

Истраживања су имала за циљ да се утврде садржаји и дистрибуција Pb, Zn и Cd у земљиштима под буковим заједницама у сливу Ђервинског потока на подручју Ђердапа, а резултати су показали да:

- концентрације Pb, Zn и Cd значајно опадају са повећањем дубине земљишта и ниже су од критичних вредности као и од МПК, сем садржаја Zn који је већи од МПК;
- између концентрација Pb и Zn у земљиштима различитих заједница букве не постоје статистички значајне разлике, док се концентрација Cd у земљишту под заједницом *Fagetum submontanum drymetosum* разликује од остале две (*Fagetum submontanum luzuletosum* и *Musco-Fagetum*);
- зависност концентрације Pb од дубине земљишта представљена је линеарном функцијом као и концентрација Cd у земљишту под заједницом *Fagetum submontanum drymetosum*, док је зависност Zn представљена експоненцијалном функцијом;
- различита дистрибуција Cd у земљиштима под заједницом *Fagetum submontanum drymetosum* у односу на садржаје Cd у земљиштима под заједницама *Fagetum submontanum luzuletosum* и *Musco-Fagetum*, условљена је, пре свега, утицајем киселости.

У даљим истраживањима требало би утврдити афинитет приземне вегетације према усвајању Cd, утицаје pH вредности земљишта на транспорт елемената и карактеристике групе органо-минералних једињења.

ЛИТЕРАТУРА

- De Vries W., Bakker D.J. (1998): *Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystems*, Guidelines for critical limits, calculation methods and input data, DLO Winand Staring Centre, Report 166, Wageningen (144)
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. (1989): *Микроелементи в почвах и растениях*, Мир, Москва (439)
- Кадовић Р., Кнежевић М. (2002): *Тешки метали у шумским екосистемима Србије*, Шумарски факултет Универзитета у Београду, Министарство за заштиту природних богатстава и животног средине Р. Србије, Београд (278)
- (1997): *Forest Soil Condition in Europe - Results of Large-Scale Soil Survey*, Prepared by Forest Soil Co-ordinating Centre, ed. Vanmechelen L., Report EC-UN/ECE, Brussels, Geneva
- Шкорић А., Филиповски Г., Ђирић М. (1985): *Класификација земљишта Југославије*, АН БиХ, књига LXXVIII, Сарајево

Snežana Belanović
Milan Knežević
Ratko Kadović
Milorad Danilović

DISTRIBUTION OF SOME HEAVY METALS IN THE SOILS OF BEECH COMMUNITIES IN THE NP “ĐERDAP”

Summary

The study was performed in the region of NP “Đerdap”, in the catchment of Đervinski Potok. The aim was to determine the concentrations and the distribution of Pb, Zn and Cd in the soils of beech communities (*Fagetum submontanum luzuletosum*, *Fagetum submontanum drymetosum* and *Musco-Fagetum*). The following soil types were defined at the study locality: dystric ranker, typical acid brown soil, and podzolised acid brown soil. The study results of these soils in the given conditions show that:

- the concentrations of Pb, Zn and Cd significantly decrease with the increase of the soil depth, they are lower than the critical values and also than the maximum admissible values, except for the content of Zn which is higher than MPC;
- there is no statistically significant difference between the concentrations of Pb and Zn in the soils of different beech communities; the concentration of Cd in the soil under the community *Fagetum submontanum drymetosum* differs from the soil in the other two (*Fagetum submontanum luzuletosum* and *Musco-Fagetum*);
- the dependence of Pb concentration on the soil depth is represented by a linear function, as well as Cd concentration in the soil under the community *Fagetum submontanum drymetosum*, while the dependence of Zn concentration is represented by an exponential function;
- the different distribution of Cd in the soils of the community *Fagetum submontanum drymetosum* compared to the contents of Cd in the soils of the communities *Fagetum submontanum luzuletosum* and *Musco-Fagetum*, is conditioned primarily by the effect of acidity.

Our further studies should determine the affinity of the ground vegetation to absorb Cd, the effects of the soil pH value on the transport of elements and the characteristics of the group of organo-mineral compounds.