

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ШУМАРСКИ ФАКУЛТЕТ

ЗАВРШНИ ИЗВЕШТАЈ

ПРОЈЕКАТ: „УСЛУГЕ ИСПИТИВАЊА СТЕПЕНА ДЕГРАДАЦИЈЕ ЗЕМЉИШТА УСЛЕД ИЗЛИВАЊА ЈАЛОВИШТА СТОЛИЦЕ “

израђен на основу Уговора за закљученог између:

Министарства заштите животне средине Републике Србије, Немањина 22-26 (број 404-02-23/8/2018-02 од 15.05.2018. године) и
Универзитета у Београду - Шумарског Факултета, Кнеза Вишеслава 1, (број 01-1869/1 од 15.05.2018. године).

Руководилац пројекта: др Снежана Белановић Симић, ред. проф.

Сарадници: проф. др Милан Кнежевић, др Елмира Саљников, др Душица Делић, проф. др Ратко Кадовић, доц. др Сара Лукић, доц. др Јелена Белоица, др Оливера Кошанин, ванр. проф., MSc Предраг Миљковић, MSc Александар Баумгертел, MSc Јанко Љубичић, дипл.инж. Александра Ћебић, дипл. инж. Бранислава Михајловић, дипл. инж. Милена Жарковић, дипл. инж. Гордана Петковић.

Београд, новембар, 2018.

Садржај

	страна
1. Увод	2
2. Подручје проучавања	5
3. Методе рада	9
3.1. Методе проучавања стандарних физичких и хемијских особина земљишта	13
3.2. Методе проучавања садржаја штетних микроелемената у земљишту	14
3.3. Микробиолошке особине и респирација земљишта	14
3.4. Статистичке и математичке методе	15
4. Резултати проучавања	18
4.1. Морфолошке карактеристике проучаваних земљишта и њихова класификациона припадност	18
4.2. Основне физичке особине проучаваних земљишта	25
4.3. Основне хемијске особине проучаваних земљишта	25
4.4. Основне хемијске особине површинских узорака земљишта	26
4.5. Садржај тешких метала/металоида у проучаваним земљишта – порекла и утицаја	35
4.5.1. Садржај тешких метала/металоида у проучаваним земљишта	35
4.5.2. Анализа порекла тешких метала и металоида у проучаваним земљиштима	49
4.5.3. Индекси загађења	53
4.6. Микробиолошке анализе и респирација земљишта	62
4.6.1. Микробиолошке особине проучаваних земљишта	62
4.6.2. Респирација земљишта	68
4.7. Препоруке и потребе за даљим истраживањима	72
5. Закључак	75
Литература	77

1. Увод

Рудник Столице–Костајник припада комплексу рудних налазишта Зајача на подручју Борање. На овом подручју су дистрибуирана значајна налазишта антимона, чија експлоатација датира још од 1882. године, а према историјским изворима, традиција прераде руде на овом подручју потиче од 1445. године. Према наводима из Пројекта санације, затварања и рекултивације депоније јаловине (шљаке) из топионице у Зајачи, коју је урадио Институт „Кирило Савић“ (2012), већ 1888. год., био је познат највећи број антимонских руда и локалитета на овом подручју, међу којима се, пре свега, истиче налазиште Костајник-Столице. Руде на овом подручју су, углавном, сулфидне и оксидне.

Према студији која је урађена од стране Japan International Cooperation Agency (2008), „Master Plan Study for Promoting the Mining Industry of Serbia“, укупне геолошке резерве рудних налазишта Зајача, различитих категорија, износе 967.777,0 t, просечно учешће антимона износи 1,55%, а резерве антимона су процењене на 15.044,0 t. Геолошке резерве рудника Столице су процењене на 2.359,0 t, просечно учешће антимона је 1,67% са количином од 39,0 t. У истој студији се наводи да минерални ресурси рудника Зајача, износе 709.932,0 t, са учешћем антимона од 0,97% и количином антимона од 6.901,0 t антимона. Такође, наводи се да су минерални ресурси рудника Столице исцрпљени, а рудник затворен.

На основу историјских података, на депонији јаловине и шљаке у Зајачи, одлагана је:

(а) шљака која је настајала у процесу редукције антимона а која је садржавала и до 15% Pb и 2,5% As, и

(б) шљака из процеса рафинације која је садржала 20-50% Sb, што зависи од степена оксидације, тако да се даље подвргавала преради у шахтним пећима, ради постизања што већег искоришћења.

У резултатима студије Института „Кирило Савић“ (2012), наводи се да је на депонији укупно одложено: 500.000 тона огарака антимона, 80.000 тона шљаке антимона и 15.000 тона шљаке олова. На овом подручју се налази неколико депонија јаловинског материјала, као: Брасина, Костајник, Штира, Долић, Кик, Цип, Заворје и Зајача.

У случају рудника антимона „Столице“, флотацијско јаловиште је долиноског типа (слика 1), Ђокић и Јовановић (2009) наводе да јаловински материјал, према гранулометријском саставу, спада у алевритски песак и песковити алеврит, а тешки метали у депонованом материјалу се јављају у следећим концентрацијама: Pb (1,185-50 ppm), Zn (3,180-633 ppm), Cu (188-55 ppm), Cd (1 ppm), Cr (25-14 ppm), Co (13-6 ppm), Ni (152-73 ppm), Sb (7,9-0,1 ppm), Sn (2,4-0,8 ppm), As (421-115,4 ppm), Hg (0,2-0,1 ppm) и Fe (12,3-1,7%). Концентрације As у водама из околине су веће од максимално дозвољених за трећу и четврту класу. У непосредном окружењу депоније земљиште се обрађује.



Слика 1. Плато јаловишта Столице и брана (десно) (Ђокић, 2012)

Производња антимона престала је 31.05.1990. године, с тим да је топионица наставила са производњом Sb легура из секундарних сировина. Године 2006., извршена је приватизација топионице у Зајачи тако да је постала саставни део концерна „Фармаком МБ“ Шабач, а основна делатност АД „Зајача“ постаје производња олова из секундарних сировина (Институт „Кирило Савић“, 2012). У руднику „Столице“ поновна производња није покретана.

Према наводима Видојевић и сар., (2015), на депонији (јаловишту) рудника Столице у Костајнику, која је затворена 1987. године, налазило се око 1.2 милиона тона рудног отпада, а током маја 2014. године, десио се озбиљан инцидент. Услед превелике количине воде која се акумулирала у оквиру (депоније) јаловине, дошло је до умањења физичке стабилности бране, која је на крају попустила. Преко 100.000 m³ муља од јаловине је отекло у поток Костајник од којег настаје река Коренита а која представља сезонску притоку Јадра. Низводно од јаловишта, поплазни талас је прекрио појас земљишта ширине између 50-75 метара и леве и десне обале (увидом на терену током узорковања у јулу 2018. год., констатовано је да се ширина угроженог појаса, на појединим деоницама, креће и до 100 m), са седиментном наслагом дебљине 5-10 cm.

На подручју Крупња, према подацима са кишомерних станица Крупањ и Планина, у месецу априлу 2014. године, у Крупњу је пало 160,6 mm, а на станици Планина – 186,9 mm. У току месеца маја 2014., у Крупњу је пало укупно 288,2 mm, а од тога 14-16. маја пало је 174,4 mm или 60,5% месечне суме падавина. На станици Планина, подаци су још израженији, тако да је у току маја 2014. год., пало укупно 647 mm, а од тога у току 14-16. маја – 428 mm или 66,15% (Нишавић и сар., 2014).

Ако имамо у виду да је у Крупњу, у периоду 1-13. маја пало 79,4 mm кише или 27,6% месечне суме, онда је сигурно да је земљиште било засићено водом и да су падавине у

периоду 14-16. маја, изазвале површинско отицање и, у вези са тим, поплаве. Међутим, још озбиљнија је ситуација са кишама на станици Планина. Иако је у периоду од 1-13. маја, пало 93,5 mm кише, или 14,45% месечне суме, земљиште је било довољно засићено водом, а енормна количина кише од 428 mm, је изазвала снажно отицање и поплаве разорног дејства. Када се томе додају појаве клизишта и други проблеми, онда се, заиста, може говорити о екстремном догађају, као и о спектру неповољних исхода за становништво, економски развој и животну средину, укључујући и екосистеме са дугорочним катастрофалним последицама за читаво подручје Крупња.

Испитивања **степенa деградације земљишта услед изливања јаловишта Столице** обухватила су теренска и лабораторијска проучавања земљишта, а у оквиру лабораторијских анализа, поред физичко-хемијских својстава земљишта, проучавања су фокусирана на садржај микроелемената/тешких метала и металоида, као и микробиолошка проучавања земљишта.

Таложeње штетних микроелемената у земљиштима, а затим и у терестричним екосистемама, побуђује посебно интересовање, како у теоријском, тако и практичном смислу, јер њихова акумулација може да изазове дугорочне штетне ефекте, а основни ризици могу бити хумано-токсиколошки и екотоксиколошки.

Хумано-токсиколошки ризици деловања тешких метала се огледају у ефектима на људе, у погледу конзумирања различитих плодова из угрожених/контаминираних подручја (биљака, шумског воћа, печурака и др.), са контаминираних земљишта, воде за пиће (из површинских и подземних извора), као и ловне дивљачи. Разматрање ових ризика значајно је са становишта акумулације, пре свега, Pb, Cd, Zn, Sb, As и Hg у храни, плодовима биљака и есенцијалним органима дивљачи.

Екотоксиколошки ризици везани су за повећан садржај тешких метала и металоида могу бити разматрани преко појединих компоненти екосистема, који представљају специфичне рецепторе. Према степену осетљивости, најчешће се издвајају следећи рецептори: земљишни микроорганизми и макрогљиве, земљишна фауна (пре свега инвертебрате), васкуларне биљке (укључујући и дрвеће) и терестрична фауна.

Антимон (Sb) је у животној средини присутан као резултат природних процеса и људских активности. Не сматра се есенцијалним елементом за биљке или животиње. Посебно је значајно његово појављивање у водама као и његове интеракције са микробиотом у односу на његов даљи статус у водама, а токсиколошки ефекти антимоноа зависе од хемијског облика и стања оксидације (Filella et al., 2007). Према истим ауторима, концентрације антимоноа у природним водама су ниске (обично мање од 1 $\mu\text{g/L}$), осим у геотермалним водама (могу бити веће од 1 g/L), као и у налазиштима антимоноа. Вероватно,

због нижег садржаја и што је већина његових једињења, релативно, нерастворна, у великој мери су занемарена истраживања антимона (као елемента) у студијама заштите животне средине. Међутим, током протеклих година се појавио већи број публикација у којима се наводе резултати присуства и понашања антимона у системима заштите животне средине, што одражава растућу заинтересованост научне заједнице за овај елемент. Концентрације овог елемента у наслагама наноса после инцидента који се догодио са јаловиштем у Столицама, сигурно ће довести до појашњења бројних аспеката утицаја овог елемента и његовом понашању у подручју истраживања, нарочито оних који су још увек неизучени.

Поред антимона, посебно је интересантно да је у отпадном материјалу заступљен и арсен (As), који, иначе, потиче из антропогених и геохемијских извора. Арсен је токсични металоид, универзално присутан у многим срединама и веома је отрован за све облике живота. Арсен спада у прву групу канцерогености (Srivastava и Sharma, 2013) и претежно се јавља у неорганском облику као арсенат (AsV) и арсенит (AsIII).

2. Подручје проучавања

Подручје проучавања обухвата подручје низводно од флотацијског јаловишта до ушћа реке Коренита у Јадар, укупне површине 120,18 km² (слика 2).



Слика 2. Подручје проучавања

Непосредно испод јаловишта се налазе обрадиве површине како уз корито потока Костајник, тако и реке Корените до Јадра, а на основу рекогосцирања терена издвојена су

подручја која су плављена (обухваћена су делимично плављена или очишћена након инцидента) 2014. године (слика 3).

Геолошке карактеристике приказане су на слици 4, на основу Геолошке катре Р Србије 1:100 000.

Током теренских истраживања узоркован је површински слој јаловинског материјала, који је обрастао ретком природном вегетацијом (слика 5). Према гранулометријском саставу јаловински материјал се налази у текстурној класи – иловача (50,60% фракције песка, 36,6 % праха и 12,80% глине). Јаловински материјал је неутралне реакције у H_2O (pH - 7,16) и у KCl (pH - 6,92), а у погледу присуства карбоната спада у веома карбонатно (садржај $CaCO_3$ око 14%). Према измереном садржају хумуса (2,09%) ова јаловина је слабо до умерено хумусна, док је сиромашна у садржају укупног азота (0,05 %). Однос C/N је широк из износи 24,19, што поред недостатка азота указује на потребу за додавањем азотног ђубрива у случају избора биолошког начина рекултивације.

Јаловински материјал је сиромашан у погледу садржаја лакоприступачног калијума док је садржај лакоприступачног фосфора висок. У површинском узорку јаловине одређени су укупни садржаји тешких метала и металоида (Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd, As, Sb и Hg), и измерене вредности упоређене су са граничним и ремедијационим вредностима прописаних Уредбом о програму системског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма (Службени гласник РС 88/2010) (Табела 1).

Табела 1. Измерене концентрације тешких метала и металоида у површинском слоју јаловине флотацијског јаловишта „Столице“

ТМ Конц.	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
	mg kg ⁻¹								
Измерена	2406,08**	161,63*	1269,14**	39,1*	21,18	13,48*	13,26	2569,75**	15,49**
Гранична	140	36	85	35	100	0,8	29	3	0,3
Ремед.	720	190	530	210	380	12	55	15	10

* измерене концентрације прелазе граничне вредности

** измерене концентрације прелазе ремедијационе вредности



Слика 5: Флотацијско јаловиште „Столице“

Хемијско понашање антимона је комплексно и слично арсену (Fawell et al., 2003 цит. Wiberg, 1985). У растворљивом облику може се наћи у пијаћој води, док се мање растворљиви облици апсорбују у глине или честице земљишта и нанос где се, углавном, везују за изменљиво гвожђе и алуминијум (Crecelius et al., 1975).

Антропогеном активношћу антимон доспева у животну средину, па су тако измерени садржаји антимона у атмосфери у подручју Алпа - $0,2 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$, а у најнасељенијим подручјима Европе крећу од $0,6\text{--}32 \text{ ng}\cdot\text{m}^{-3}$ (Fawell et al. 2003). Захваљујући смањењу емисије из индустрије увођењем филтера за прашину, сматра се да су концентрације антимона у ваздуху данас смањене. Емисија аеросолног антимона у издувним гасовима возила је његов главни извор у финој прашини урбаних подручја (Fawell et al., 2003).

Према ранијим истраживањима антимон се углавном биолошки не акумулира, и стога не постоји опасност од тровања храном. У случају да се поврће гаји на земљишту контаминираном антимоном, у јестивим деловима може се наћи у веома ниском опсегу $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ тежине у свежем стању или ниже (Fawell et al., 2003). Токсичност Sb је у функцији растворљивости и оксидационог статуса Sb. Sb(III) је токсичнији од Sb(V), као и његова неорганска једињења која су токсичнија од органских (Stemmer, 1976), а стибин (SbH_3) је липофилни гас који је најтоксичнији и канцероген (тровање инхалацијом).

На подручју рударско-топионичарског басена рудника антимона у југозападној Кини, утврђено је значајно загађење околног земљишта Sb, где су Al-Mg-Si минерали и карбонатна фракција углавном могу допринети везивању Sb. Услед високе концентрације антимона у земљишту Ning et al. (2015) утврдили су да је $67,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Sb биорасположиви. Врсте као што су *Chenopodium album*, *Sedum emarginatum* и *Sedum lineare* имају високу акумулацију Sb више од $1000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Садржај Sb у биљним ткивима код већине врста смањује се следећим

редоследом корен>листови>стабло. Биоакумулациони коефицијенти и/или фактор трансфера је код већине врста мањи од 1. Иако нису идентификоване као Sb-хиперакумулатори, ове врсте се могу користити као алтернатива у фиторемедијацији земљишта контаминираних Sb (Ning et al. 2015). У литератури се наводи да је биохемијско понашање антимоноа слично са арсеном са којим се често налази у рудама гвожђа (Oprea et al. 2010).

Различите зељасте врсте као што су *Poa annua*, *Echium vulgare*, *Sonchus asper* и *Barbarea verna* на мало до средње загађеним локалитетима имају способност да у довољној мери смање транспорт Sb и As до изданака показујући просечну концентрацију As у опсегу 5,5-23 mg·kg⁻¹ и Sb у опсегу 1,21-4,9 mg·kg⁻¹ а *Agrostis capillaris* на киселим контаминираним локацијама опстаје и при томе усваја до 240 mg·kg⁻¹ As и 68 mg·kg⁻¹ Sb у изданцима (Bech et al., 2012). Feng, et al. (2013) наводе различите биљке које усвајају више од 100 mg·kg⁻¹ Sb а међу којима су и: *Achillea ageratum* (139–793 mg·kg⁻¹Sb), *Agrostis capillaris* (2904 mg·kg⁻¹Sb), *Brassica camprestis* (5045 mg·kg⁻¹Sb), *Trifolium pratense* L. (160 mg·kg⁻¹Sb). Технике фиторемедијације добијају на значају као исплатива алтернатива или за чишћење или за стабилизацију контаминираних земљишта (Kidd et al., 2009, Pilon-Smits et al., 2005). Врсте које се спонтано јављају на локацијама јаловишта су потенцијални извор гермплазми за потребе фиторемедијације (Bech et al., 2002).

3. Методе проучавања

Према техничком задатку Пројекта на репрезентативним површинама подручја изливања јаловишта Столице отворено је 20 педолошких профила и 40 пратећих површинских узорака земљишта, и сви су просторно позиционирани (табела 2 и 3, слика 6).

Узорци земљишта из отворених педолошких профила су узети по фиксним дубинама: 0-10 cm, 10-20 cm и 20-40 cm за лабораторијска проучавања физичких и хемијских особина и садржај потенцијално штетних микроелемента (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn, As, Sb и Hg) и микробиолошке особине земљишта за површинске слојеве земљишта. Узорци пратећих површинских узорака земљишта (0 – 10 cm) узети су за лабораторијска проучавања хемијских особина и садржај потенцијално штетних микроелемента и микробиолошке особине земљишта.

Табела 2. Положај проучаваних профила

Профил, број	N	E	Надморска висина, mm	Напомена
Слив Корените испод јаловишта				
1/018	44°24,566	19°19,431	343	плављено
2/018	44°24,610	19°19,471	351	неплављено
3/018	44°25,252	19°19,272	295	плављено
4/018	44°27,122	19°19,303	230	плављено
5/018	44°28,623	19°18,739	189	плављено делом очишћено
6/018	44°29,357	19°18,514	172	плављено
7/018	44°30,326	19°21,434	114	плављено
8/018	44°30,551	19°22,518	107	плављено
9/018	44°31,669	19°21,397	103	плављено
10/018	44°31,882	19°21,037	103	плављено
11/018	44°31,699	19°20,973	108	неплављено
12/018	44°32,469	19°19,663	102	плављено делом
Алувијум Јадра				
13/018	44°34,694	19°17,956	131	плављено
14/018	44°33,929	19°18,345	132	плављено
15/018	44°36,479	19°16,671	103	плављено делом
16/018	44°24,292	19°19,210	483	неплављено
17/018	44°29,918	19°18,763	174	плављено
18/018	44°30,054	19°18,601	208	неплављено
19/018	44°33,328	19°18,836	140	плављено
20/018	44°36,514	19°16,330	130	плављено делом

Табела 3. Положај пратећих површинских узорака проучаваног подручја

Редни број	Узорак	N	E	Надморска висина, mm	Напомена
1	B 21/018	44°25,318	19°19,269	294	плављено
2	B 22/018	44°25,955	19°19,412	266	плављено
3	B 23/018	44°25,943	19°19,431	271	неплављено
4	B 24/018	44°26,432	19°19,433	250	плављено
5	B 25/018	44°26,421	19°19,448	250	очишћено
6	B 26/018	44°27,122	19°19,309	211	плављено
7	B 27/018	44°28,614	19°18,741	189	плављено
8	B 28/018	44°29,356	19°18,513	162	плављено
9	B 29/018	44°29,779	19°18,595	162	неплављено
10	B 30/018	44°30,318	19°21,347	114	плављено
11	B 31/018	44°30,298	19°21,385	114	плављено
12	B 32/018	44°30,584	19°22,536	107	неплављено
13	B 33/018	44°30,439	19°22,372	109	плављено
14	B 34/018	44°31,605	19°21,473	103	плављено
15	B 35/018	44°31,734	19°21,340	103	плављено
16	B 36/018	44°31,864	19°21,145	103	плављено
17	B 37/018	44°31,945	19°20,972	103	плављено
18	B 38/018	44°31,646	19°20,925	112	неплављено
19	B 39/018	44°32,470	19°19,663	102	неплављено
20	B 40/018	44°32,506	19°19,625	104	плављено
21	B41/018	44°35,705	19°17,678	130	неплављено
22	B42/018	44°34,888	19°17,948	129	плављено
23	B43/018	44°33,869	19°17,812	116	неплављено
24	B44/018	44°34,564	19°17,642	124	неплављено
25	B45/018	44°35,300	19°18,067	109	неплављено
26	B46/018	44°36,100	19°17,586	105	неплављено
27	B47/018	44°37,692	19°16,851	97	неплављено
28	B48/018	44°25,722	19°19,293	295	неплављено
29	B49/018	44°27,682	19°18,982	225	плављено
30	B50/018	44°29,570	19°18,397	181	неплављено
31	B51/018	44°29,576	19°18,477	181	плављено
32	B52/018	44°29,991	19°18,734	174	неплављено
33	B53/018	44°30,467	19°19,040	213	неплављено
34	B54/018	44°30,774	19°21,139	196	неплављено
35	B55/018	44°31,780	19°18,702	218	неплављено
36	B56/018	44°31,804	19°17,497	219	неплављено
37	B57/018	44°32,686	19°18,392	157	неплављено
38	B58/018	44°34,205	19°18,040	138	плављено
39	B59/018	44°35,942	19°16,562	132	делом
40	B60/018	44°37,819	19°16,855	130	плављено

3.1. Методе проучавања стандарних физичких и хемијских особина земљишта

Проучавање стандардних физичких и хемијских особина земљишта извршено је према следећим методама:

1. Одређивање садржаја хигроскопске воде сушењем у сушници на температури од 105°C у трајању 6 до 8 часова;
2. Гранулометријски састав одређен је третирањем узорак са натријум-пирофосфатом. Фракционисање земљишта извршено је комбиновањем пипет методе и методе елутрације помоћу сита по Attebergu, уз одређивање процентуалног садржаја фракција од: $2-0,2\text{mm}$, $0,2-0,06\text{mm}$, $0,06-0,02\text{mm}$, $0,02-0,006\text{mm}$, $0,006-0,002\text{mm}$ и мањих од $0,002\text{mm}$;
3. Одређивање текстурних класа земљишта (SRPS ISO 11259:2005);
4. Густина сувог земљишта одређена је методом SRPS ISO 11272:2007
5. Густина чврсте фазе проучаваних земљишта одређена је методом SRPS ISO 11508:2002
6. Активна киселост (pH у H_2O) је одређена електрометријски помоћу апарата pH-метра (SRPS ISO 10390:2007 у складу са ISO 3696:1987);
7. Супституциона киселост (pH у $0,01\text{M CaCl}_2$) је одређена електрометријским путем помоћу апарата pH-метра (SRPS ISO 10390:2007);
8. Хидролитичка киселост је одређена по методу *Kappen-a*;
9. Сума адсорбованих базних катјона (S у cmol kg^{-1}) је одређена по методу *Kappen-a*;
10. Тотални капацитет адсорбције за катјоне (T у cmol kg^{-1}) је одређен рачунским путем;
11. Сума киселих катјона ($T-S$ cmol kg^{-1}) је одређена рачунским путем преко хидролитичке киселости;
12. Степен zasiћености земљишта базама је израчунат по *Hissinku* (%);
13. Укупн азот у земљишту је одређен по методу *Kjeldahla* (%), (SRPS ISO 11261:2005);
14. Одређивање органског угљеника оксидацијом помоћу смеше калијум-дихромат/сумпорна киселина (SRPS ISO 14235:2005)
15. Однос угљеника према азоту (C:N) је одређен рачунским путем;
16. Лакоприступачни P_2O_5 и K_2O (mg/100 грама земљишта) је одређени по Al- методи.
17. Одређивање калцијум-карбоната на Scheiblerovom калциметру

3.2. Методе проучавања садржаја штетних микроелемената у земљишту

Садржај штетних микроелемената (тешких метала и металоида) у земљишту поређен је са граничним вредностима према Уредби о програму систематског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма Републике Србије (2010; $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$: граничне: Pb -85 , Cu-36 , Zn-140 , Cd -0,8, Ni -35, Cr -100, As -29 , Sb-3 , Hg -0,3, ремедијационе: Pb-530, Cu- 190, Zn-720 , Cd -12, Ni -210, Cr -380, As -55 , Sb-15 , Hg -10). За одређивање садржаја микроелемената у земљишту вршена је дигестија припремљених узорак у царској води 2 сата према стандардној процедури (International Organization for Standardization ISO 11466:1005 Soil quality, 1995).

Садржаји микроелемента одређени су ААС методом (Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr) користећи пламену технику као и Hg користећи хидридну технику, док су As и Sb одређени ICP техником.

3.3. Микробиолошке особине и респирација земљишта

Број укупне микрофлоре, гљивица и актиномицета у земљишту је одређен индиректном методом агарних плоча по принципу засејавања њима одговарајућих селективних хранљивих подлога децималним разређењима суспензије испитиваног земљишта. Претходно је потребно припремити земљишни узорак за микробиолошке анализе просејавањем кроз фламбирано сито промера 2-3 mm као и одредити влагу узорака земљишта да би се добио коефицијент на основу кога се одређује потребна количина свежег земљишта прерачуната на 10g апсолутно сувог земљишта са циљем справљања првог разређења суспензије земљишта (10^{-1} разређење). Коришћене су следеће хранљиве подлоге за наведене групе микроорганизама: број укупне микрофлоре одређен је на агару са земљишним екстрактом, број гљивица на Czapek агару, актиномицета на агарној подлози са сахарозом по Красиљникову, док је број Azotobacter-а одређен у течной безазотној манитној подлози (Тчанова метода) (ЈДПЗ, 1966 цит. Сарић,1989; SRPS ISO 11465:2002).

У термостату на 28°C, период инкубације наведених микроорганизама је износио: за укупну микрофлору 5-7 дана, гљивице 3-5 дана а за актиномицете и Azotobacter 7 дана. После наведеног периода инкубације израсле колоније на агарним плочама су избројане у три понављана и на основу тога је одређен просечан број укупне микрофлоре, гљивица и актиномицета на 1g апсолутно сувог земљишта а према формули:

$$\text{Број микроорганизама на 1 g апсолутно сувог земљишта} = K \times F / A$$

K= просечан број израслих колонија по петри шољи (просек из 3 понављања)

F= фактор разређења из кога је засејано на агарну плочу (10^x)

A= запремина разређења засејаног на агарну плочу

Бројност *Azotobacter-a* се врши на крају периода инкубације одређивањем броја епрувета у којима се на површини подлоге појави *Azotobacter* у виду навлаке, скраме односно опне (безбојне у почетку, затим жућкасте и касније мрке боје) тзв. позитивне епрувете. Помоћу броја позитивних епрувета у сваком разређењу, израчунава се број *Azotobacter-a* на 1g апсолутно сувог земљишта користећи таблицу Mc Crady-a. .

Број рода *Azotobacter* на 1 g апсолутно сувог земљишта се израчунава према формули:

$$\text{MPN} = \text{“вероватан број”} \times F / A$$

MPN - највероватнији број микроорганизама на 1 g апсолутно сувог земљишта

“вероватан број”= број у Mc Crady-евој табlici

F= фактор разређења које даје прву цифру карактеристичног броја (10^x)

A= запремина разређења засејаног у течну подлогу (0.2 ml)

Респирација земљишта је мерена фиксацијом 1M NaOH у контролисаним условима. Ослобођени угљен-диоксид се везује са 1M NaOH, а количина преосталог слободног NaOH одређује се титрацијом са 1M HCl. Из разлике количине NaOH узетог за везивање угљен-диоксида и преосталог слободног, утврђеног титрацијом са 1M HCl, обрачунава се количина ослобођеног угљен-диоксида за инкубациони период.

3.4. Статистичке и математичке методе

За одређивање статистички значајних разлика између варијабли коришћени су Т-тест, ANOVA тест. Значајност корелација између проучаваних елемената анализирана је Пирсоновим корелационим матриксом (Pearson correlation matrix), затим утврђивана је вишеструка линерна регресија (stepwise model), као и факторијалном анализом (PCA (Principal component analysis) са varimax ротацијом (Statgraphics ver. 16.1.11), а која може да укаже на везе између варијабли које нису јасно видљиве корелационом анализом.

Геопросторни приказ садржаја микроелемената и индекса загађења, добијен је применом одговарајућих GIS софтвера. Геопросторна дистрибуција индекса оптерећења екосистема (PLI), Немеровог индекса загађења (PIN) и индекса потенцијалног еколошког ризика (RI), добијена је интерполацијом, применом сложеног геостатистичког ЕВК

(Empirical Bayesian kriging) метода, који великим бројем различитих симулација и формирањем подскупова прилагођава параметре како би се добили што тачнији резултати.

Индекси загађења

Индекси загађења представљају значајан алат у процени степена контаминације одређеног подручја различитим загађујућим материјама (Белановић Симић, 2017). Значајни су за процену квалитета земљишта и будућег тренда одрживости екосистема, нарочито у подручјима са интензивном пољопривредом. За прорачун одређених индекса загађења потребно је утврдити референтне вредности тешких метала као и фактор тоскичности.

Референтна вредност (Geochemical Background-GB) – „background“ концентрација, геохемијска вредност, референтна вредност преиндустријског периода или вредност нултог стања земљишта. Прорачун референтних вредности вршен је на основу концентрација тешких метала из последњег хоризонта у профилима. Коришћена је рачунска метода према следећој формули:

$$GB = MEDIAN + 2 * MAD$$

где је *GB* – референтна вредност, *MEDIAN* – медијана укупног скупа, тј. садржаја елемената из надубљег слоја свих профила, *MAD* – медијана апсолутних девијација.

Појединачани индекс загађења (Pollution Index - PI) – користи се за издвајање појединачних тешких метала и металоида који представљају највећу претњу по екосистем. Служи и за одређивање одређених комплексних индекса загађења. На основу PI индекса, дата је класификација загађења земљишта (табела 1). Рачуна се према формули (Håkanson, 1980):

$$PI = \frac{C_n}{GB}$$

где је *C_n* – концентрација тешког метала у земљишту, *GB* – „background“ концентрација.

Håkanson (1980) предлаже следећу класификацију за појединачне индексе загађења: $PI < 1$ - незагађено; $1 < PI < 2$ – слаб степен загађености; $2,0 < PI < 3,0$ – умерен степен загађења; $3 < PI < 5$ – велики степен загађења и $PI > 5$ – врло велики степен загађења.

Индекс оптерећења екосистема (земљишта) (Pollution Load Index - PLI) – Представља једноставан начин да се укаже на погоршање земљишних услова као резултат акумулације тешких метала у земљишту (Varol, 2011). Рачуна се као геометријска средина појединачних фактора загађења, према следећој формули (Jeffrey et al, 1985):

$$PLI = \sqrt[n]{PI_1 * PI_2 * PI_3 * ... * PI_n}$$

где је PI – појединачни индекс загађења, n – укупан број метала који се анализира.

Класе за вредности PLI индекса су: < 1 – незагађено; $PLI = 1$ – гранична вредност за загађење земљишта, и $PLI > 1$ – смањење квалитета земљишта.

Немеров (Nemerow's) заједнички индекс загађења израчунава се према једначини (Nemerow, 1985):

$$PI_N = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PI\right)^2 + PI_{\max}^2}{2}}$$

где су PI – израчунате вредности појединачних индекса загађења, $PI_{\max}$ – максимална вредност појединачног индекса загађења свих метала у узорку, а n укупан број метала који се анализира.

Класификација загађења земљишта према интегрисаном Немовом индексу је: $PI_N \leq 0,7$ – без загађења (сигурно подручје); $0,7 < PI_N \leq 1,0$ – домен предострожности; $1,0 < PI_N \leq 2,0$ – слаб домен загађења; $2,0 < PI_N \leq 3$ – домен средњег загађења и $PI_N > 3$ – подручје озбиљног загађења.

Потенцијални еколошки ризик (Potential Ecological Risk Index - RI) – представља индекс који се користи за процену степена еколошког ризика чији узрок могу бити високе концентрације тешких метала у води, ваздуху или земљишту. Овај индекс је увео Hakanson (1980) а рачуна се према следећој формули:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r^i$$

где је n – укупан број метала који се анализира, E_r – појединачни индекс еколошког ризика који се рачуна према формули:

$$E_r^i = T_r^i * PI$$

где је T_r – коефицијент токсичности одређеног метала/металоида (Zn – 1, Cu – 5, Pb – 5, Ni – 5, Cr – 2, Cd – 30, As – 10, Sb – 15, Hg – 40), а

PI – израчунат појединачни фактор загађења.

Појединачни еколошки фактор ризика описује се у следећих 5 класа (Qingjie et al., 2008): $E_r^i < 40$, низак потенцијални еколошки ризик; $40 \leq E_r^i < 80$, средњи потенцијални еколошки ризик; $80 \leq E_r^i < 160$, знатан потенцијални еколошки ризик; $160 \leq E_r^i < 320$, висок потенцијални еколошки ризик; и $E_r^i \geq 320$, врло висок еколошки ризик. Потенцијални еколошки индекс ризика се дефинише у 4 класе према (Luo et al., 2007): $RI < 65$ – низак; $65 \leq RI < 130$ – средњи; $130 \leq RI < 260$ – знатан и $RI \geq 260$ – врло висок.

Геоаккумуляциони индекс (Geoaccumulation index - I_{geo}) користи се да укаже на интензитет загађења металима/металоидима, а израчунава се према једначини:

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1,5 * GB} \right]$$

где је, C_n – мерена концентрација метала ‘n’ у узорку

GB – „background“ вредност за метал/металоид ‘n’.

Фактор 1,5 је „background“ матрикс корекциони фактор.

Вредности геоаккумуляционог индекса, такође су изражене у седам класа: $I_{geo} > 0$ – незагађено; 0 – 1 – незагађено до средње; 1 – 2 – средње; 2 – 3 – средње до јако; 3 – 4 – јако; 4 – 5 – јако до врло јако и > 5 – веома јако загађење.

4. Резултати проучавања

4.1. Морфолошке карактеристике проучаваних земљишта и њихова класификациона припадност

Описане су морфолошке карактеристике 20 педолошких профила (фототаблица 1):

Профил 1/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен уз ток реке Корените

I (0 – 50 cm) – шљунковито каменит нанос са 40% ситне земље, мрко-смеђе боје са доста црних црнова јаловинског материјала антимона.

Профил 2/018 – Смеђе земљиште на кречњаку са површинских алохтоним слојем

Профил отворен у воћњаку у сливу реке Корените

I (0 – 17 cm) – преталожени површински слој, 3-4 cm обогаћен хумусом, доњи део жуто-смеђе боје садржи ситне одломке пешчара силикатног материјала.

(B) (17 – 40 cm) – смеђе боје, глиновит, стабилни средње крупни до крупни полиедрични агрегати, присутне црне конкреције и мазотине.

(B) (40 – 85) – смеђе боје, глиновит пластичан, богат црним конкрецијама и мазотинама.

Профил 3/018 – Алувијално земљиште

Усев кукуруза у сливу реке Корените

I (0 – 40 cm) – иловаст алувијални нанос са 15% шљунковитог материјала

II (40 – 80 cm) – иловасто-шљунковит алувијални нанос са 50% шљунковитог материјала

Профил 4/018 – Алувијално земљиште

Засад малина отворен на граници општина Крупањ и Лозница

I (0 – 20/30 cm) – наталожена јаловина сиво-мрке боје, прашкасто-песковита

II_{so} (20/30 – 80 cm) – иловаст алувијални нанос са много рђастих флека

Профил 5/018 – Алувијално земљиште

Усев кукуруза у алувијуму реке Корените, профил отворен на очишћеној површини где је скинут део нанете јаловине

I (0 – 25 cm) – сиве боје алувијални нанос јаловине, ситан песак сиве боје

II (25 – 55 cm) – смеђе боје песковито- иловаст алувијални нанос

III (>55 cm) – шљунковит иловаст нанос

Профил 6/018 – Алувијално земљиште

Воћњак – двориште уз реку Корениту

I (0 – 20/30 cm) – материјал који се исталожио 2014.године, прашкасто-песковит, сиве боје јаловина

II (20/30 – 70 cm) – песковит влажан алувијалан нанос са израженим знацима хидроморфизма, изражене рђасте мазотине.

Профил 7/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен код моста на реци Коренити - Ваљевски пут

I (0 – 35/40 cm) – иловасто-песковит алувијални нанос смеђе боје

II (35/40 – 70 cm) – песковит иловаст нанос смеђе боје

III_{so} (>70 - 100 cm) – оглејен песковит алувијални нанос са доста рђастих флека

Профил 8/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен на левој обали реке Коренита - Ваљевски пут

I (0 – 20 cm) – песковито-иловаст алувијални нанос, оранични, присутно око 5% шљунковитог материјала

II (20 – 40 cm) – прашкасто-песковит- иловаст алувијални нанос смеђе боје

III (40 - 90 cm) – иловаст алувијални нанос у доњем делу изражени делови хидроморфизма

Профил 9/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Коренита у селу Брезјак

I (0 – 20 cm) – иловасто-песковит алувијални нанос,

II (20 – 80 cm) – иловаст алувијални нанос

III (> 80 cm) – песковит алувијални нанос са појавом оглејавања

Профил 10/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен на левој обали реке Корените, плављено, испод села Горње Недељице у пољу кукуруза

I (0 – 10 cm) – сиве боје, песковито-прашкаст алувијални нанос

II (10 – 40 cm) – песковито -иловаст алувијални нанос са израженим процесима хидроморфизма

III (40 - 90 cm) – иловаст алувијални нанос са јаче израженим процесима хидроморфизма

Профил 11/018 – примарни псеудоглеј

Профил отворен на неплављеном делу на благој косини испод села Горње Недељице у засаду соје

Ag (0-10 cm) – хоризонт оранични, обогаћен стајњаком, сиво—смеђе боје

g (10 – 20 cm) – иловасте текстуре са сивим и рђастим зонама

gBt (20 – 80 cm) – глиновит са подједнако израженим сивим и рђастим зонама

Профил 12/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Корените, испод села Доње Недељице у пољу кукуруза

I (0 – 20 cm) – иловаст алувијални нанос, оранични слој

II (20 – 40 cm) – иловаст алувијални нанос са израженим знацима хидроморфизма

III (40 - 80 cm) – иловасто глиновит алувијални нанос са знацима оглејавања

Профил 13/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Јадар, плављено у пољу кукуруза

P (0 – 20 cm) – иловаст алувијални нанос, оранични слој

I (20 – 40 cm) – иловасто-песковит алувијални нанос

II_{G_{so}} (40 - 100 cm) – иловасто глиновит алувијални нанос са рђастим сивим флекама, присутно оглејавање

Профил 14/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Јадар, плављено у пољу соје

P (0 – 20 cm) – иловаст алувијални нанос, оранични слој

I (20 – 50 cm) – иловаст алувијални нанос

C (50 - 80 cm) – алувијални нанос са сивим зонама и рђастим црним флекама

Профил 15/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Јадар, плављено у пољу кукуруза

P (0 – 20 cm) – оранични слој, смеђе боје, иловасте структуре,

I (20 – 90 cm) – смеђе боје, иловасте структуре, повољних особина

C (> 90 cm) – иловаст алувијални нанос

Профил 16/018 – Плитко кисело смеђе земљиште на шкриљцима

Профил отворен у воћњаку поред шуме, у сливу Корените

A (0-17 cm) – угасито смеђе боје, зрнасте структуре, иловасте текстуре

(B)C (17 – 40 cm) – светло сиво-смеђе боје, садржи око 50 % средње крупних одломака супстрата, прашкасто иловаста текстура

Профил 17/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен сливу Корените, плављено у пољу кукуруза

IP (0 – 20 cm) – оранични, иловаст алувијални нанос

II (20 – 70/90 cm) – иловаст алувијални нанос

CG (> 90 cm) – оглејен алувијални нанос

Профил 18/018 – Илимеризовано земљиште на силикатним стенама

Профил отворен у сливу Корените, ливада, неплављено

AE (0 – 10 cm) – сиве боје, прашкасто

E (10 – 20 cm) – елувијални хоризонт, жуто-сиве боје, прашкаста иловача

Bt (20 - 55 cm) – светло смеђе боје иловасте текстуре

C (>55) – супстрат у распадању

Профил 19/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Јадар, плављено у пољу кукуруза

IP (0 – 20 cm) – иловаст алувијални нанос, оранични слој

II (20 – 100 cm) – иловасто-песковит алувијални нанос уједначеног састава по целој дубини

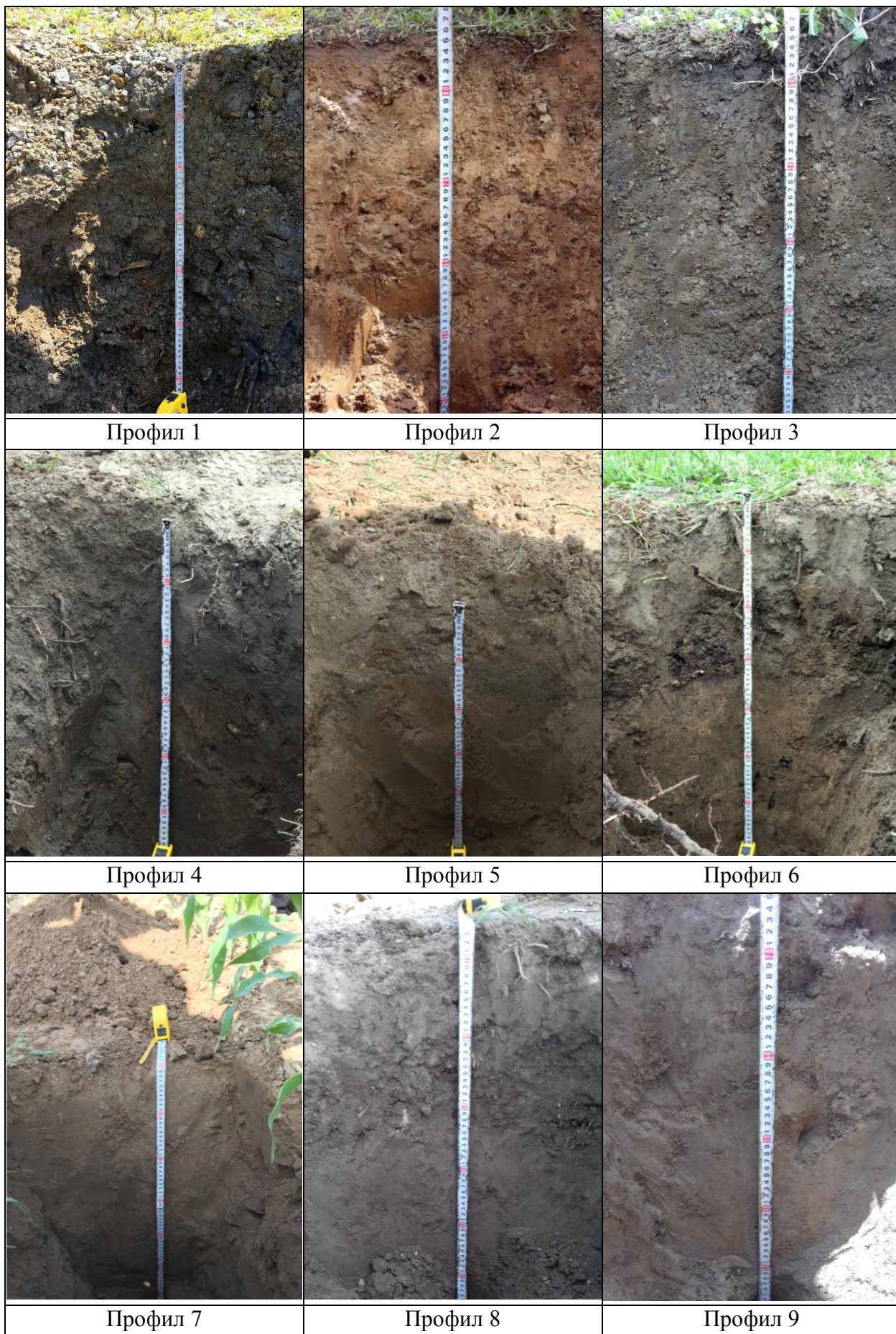
Профил 20/018 – Алувијално земљиште

Профил отворен у алувијуму реке Јадар, плављено у пољу соје

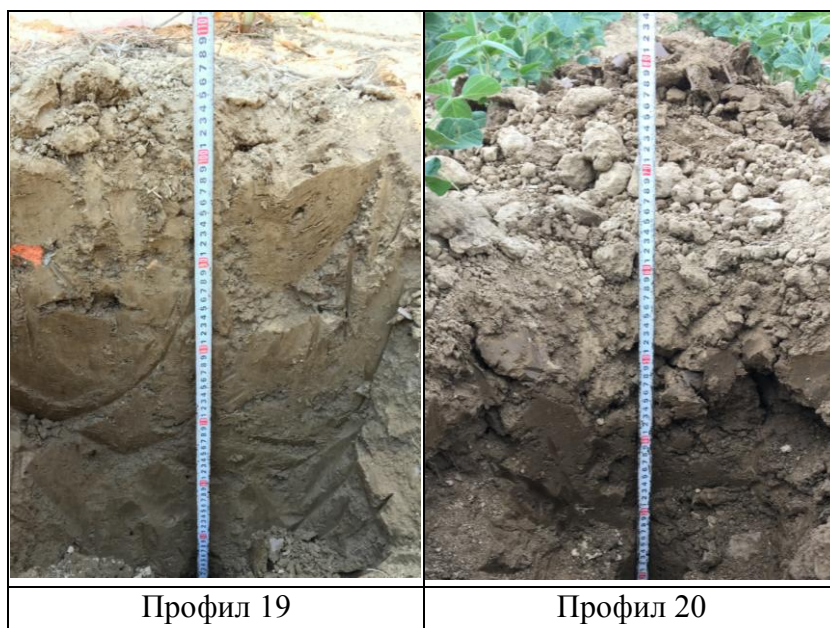
IP (0 – 20 cm) – иловаст алувијални нанос, оранични слој

II (20 – 80 cm) – иловаст алувијални нанос

У подручју истраживања, према критеријумима педолошке класификације (Шкорић и сар., 1985), детерминисано је пет типова земљишта: алувијално земљиште (флувисол), смеђе земљиште на кречњаку (калкокамбисол), псеудоглеј, кисело смеђе земљиште (дистрични камбисол) и илимеризовано земљиште (лувисол). На површинама које су поплављене 2014. године приликом изливања јаловине детерминисан је само један тип земљишта - алувијално земљиште (флувисол). Остали типови земљишта детерминисани су изван поплавне зоне.



		
Профил 10	Профил 11	Профил 12
		
Профил 13	Профил 14	Профил 15
		
Профил 16	Профил 17	Профил 18



Слив реке Корените



Алувијум реке Јадар



Фототаблица 1: Сlike отворених профила и орографске карактеристике проучаваног Подручја (фото: MSc Предраг Миљковић, MSc Александар Баумгертел)

4.2. Основне физичке особине проучаваних земљишта

Аналитичке вредности садржаја гранулометријских фракција приказане су у табели 4. Профиле алувијалног земљиште поплавне зоне реке Корените и реке Јадар карактерише 1-3 слоја алувијалног наноса. Алувијална земљишта у горњем подручју слива реке Корените (поток Костајник) карактеришу се високим садржајем фракције песка и мањим или већим садржајем фракције шљунка. Садржај шљунковитог материјала се смањује у профилима отвореним низводно од профила 5/2018. У фракцији „ситне земље“ (честице земљишта мање од 2 mm), код већине профила највеће учешће има фракција ситног песка (честице 0,2-0,02mm). Такође, високо учешће има и фракција праха (честице 0,02-0,002mm). У неким слојевима фракција праха има и највеће учешће. Према текстурном саставу узорци алувијалног земљишта узети по фиксним дубинама до 40 cm из плавног проучаваног подручја припадају текстурним класама иловастог песка, песковите иловаче, прашкасте иловаче, иловаче и прашкасто-глиновите иловаче. Припадност земљишта наведеним текстурним класама обезбеђује добру аерацију и пропустљивост за воду. Сви типови земљишта у граничној зони са алувијалним земљиштем плавне зоне реке Корените и реке Јадар према текстурном саставу до 40 cm дубине припадају класи прашкасте иловаче, изузимајући слој од 20 - 80 cm дубине смеђег земљишта на кречњаку који припада класи глинуше.

4.3. Основне хемијске особине проучаваних земљишта

Аналитичке вредности проучених хемијских особина приказане су у табели 5. Сви профили алувијалног земљишта плавног проучаваног подручја до 40 cm дубине садрже слободан калцијум-карбонат. Садржај калцијум карбоната се креће у распону од 0,20 – 20,82 %. Велики број узорка садржи више од 5 % калцијум карбоната и припадају класи јако карбонатног земљишта. Хемијска реакција земљишта је у корелацији са садржајем калцијум-карбоната. pH- вредност у води се креће у распону од 7,49 – 8,24 pH- јединице и припадају класама слабо алкалног и умерено алкалног земљишта. У алувијалном земљишту поплавне зоне реке Јадар присуство калцијум-карбоната до 40 cm дубине није утврђено. Међутим, pH - вредност у води код профила 13/018, 17/018 и 19/018 се креће у распону од 7,36 – 7,85 pH- јединице и припадају класи слабо алкалног земљишта. Алувијална земљишта проучаваног подручја су слабо обезбеђена хумусом. Саджај хумуса креће се у распону од 0,64 – 2,79 %. Само два узорка припадају класи средње обезбеђености хумусом. Садржај укупног азота варира и зависи од начина коришћења и уношења минералних и органских ђубрива.

Процентуални садржај азота у једном броју узорака је испод нивоа границе детекције метода. Већи број узорака припада класи добре обезбеђености азотом ($>0,1\%$ азота).

Садржај лакоприступачних облика фосфора јако варира. Према утврђеном садржају лакоприступачног фосфора узорци се налазе у распону од класе врло слабе обезбеђености до класе врло богате обезбеђености. Само у једаном узорку је испод нивоа границе детекције метода. На садржај лакоприступачних облика фосфора у земљишту, поред ђубрења, велики утицај има и јаловина која је исталожена после изливања из акумулације „Столице“. Највећи садржај лакоприступачних облика фосфора је утврђен у узорцима који садрже доста јаловинског материјала.

Према садржају лакоприступачних облика калијума узорци припадају класама слабе до добре обезбеђености. Садржај лакоприступачних облика калијума креће се у распону од $4,33 - 22,65 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$.

Хемијске особине земљишта неплављених површина која се налазе у контактної зони са плављеним површинама проучаваног подручја имају типске карактеристике детерминисаних педосистематских јединица, изузимајући површински оранични слој код кога су промене резултат примењених агротехничких мера. Садржај лакоприступачних облика фосфора у земљишту неплавне зоне је нижи и налази се у границама слабе обезбеђености.

4.4. Основне хемијске особине површинских узорака земљишта

Аналитичке вредности проучених хемијских особина приказане су у табели 6. Према величини рН- вредности узорци земљишта узети из површинских слојева са дубине 0 – 10 cm на површинама које су плављене 2014. године, су слабо алкалне до умерено алкалне хемијске реакције. За 9 узорака утврђена је рН- вредност нижа од 7 рН- јединица, узорци су узети са неплавних површина. Узорци који су слабо до умерено алкалне реакције садрже слободан калцијум-карбонат. Садржај калцијум-карбоната се налази у распону од 0,30 – 14,16 %. Према садржају хумуса сврставају се у класу слабе и средње обезбеђености. У већем броју узорака који се сврставају у класу средње обезбеђености, утврђене вредности процентуалног садржаја хумуса су ближе вредностима доње границе класе.

Табела 4. Гранулометријски састав и текстурне класе проучаваних земљишта

Профил број	дубина (cm)	Хигроск опска вода (%)	Гранулометријски састав земљишта (%)								Текстурна
			крупан песак	ситан песак		прах		глина	Укупан		класа
				2,0-0,2 mm	0,2-0,06 mm	0,06- 0,02 mm	0,02- 0,006 mm		0,006-0,002 mm	< 0,002 mm	песак >0,02 mm
Плављено											
Алувијална земљишта											
1/018	0-10	0,77	16,60	50,50	9,10	10,40	5,50	7,90	76,20	23,80	песковита иловача
1/018	10-20	0,69	14,90	48,70	9,50	11,60	6,90	8,40	73,10	26,90	песковита иловача
1/018	20-40	0,68	14,30	43,30	12,70	13,10	7,00	9,60	70,30	29,70	песковита иловача
3/018	0-10	1,95	15,40	36,80	6,60	17,60	9,50	14,10	58,80	41,20	песковита иловача
3/018	10-20	2,18	14,50	14,60	12,50	23,90	13,90	20,60	41,60	58,40	прашката иловача
3/018	20-40	2,07	16,60	15,80	11,30	20,90	17,00	18,40	43,70	56,30	иловача
4/018	0-10	0,69	0,50	83,70	7,80	3,60	1,70	2,70	92,00	8,00	иловаст песак
4/018	10-20	0,65	2,90	81,90	8,70	1,90	2,30	2,30	93,50	6,50	иловаст песак
4/018	20-40	2,50	5,10	29,00	14,90	21,90	11,60	17,50	49,00	51,00	иловача
6/018	0-10	0,69	24,40	59,50	7,30	1,00	3,70	4,10	91,20	8,80	иловаст песак
6/018	10-20	1,76	16,00	37,70	15,90	15,00	6,60	8,80	69,60	30,40	песковита иловача
6/018	20-40	1,22	1,70	48,30	23,50	14,10	3,60	8,80	73,50	26,50	иловача
7/018	0-10	1,19	4,10	47,00	20,50	16,40	3,90	8,10	71,60	28,40	иловача
7/018	10-20	1,13	4,00	47,40	17,70	16,20	6,40	8,30	69,10	30,90	иловача
7/018	20-40	0,89	5,20	50,00	19,40	15,50	3,70	6,20	74,60	25,40	песковита иловача
8/018	0-10	1,78	9,90	25,60	18,60	20,60	10,60	14,70	54,10	45,90	иловача

8/018	10-20	1,53	13,80	31,70	11,90	19,30	10,90	12,40	57,40	42,60	иловача
8/018	20-40	1,95	4,90	23,00	15,70	22,60	12,70	21,10	43,60	56,40	прашката иловача
9/018	0-10	1,21	0,50	50,50	17,80	17,10	5,50	8,60	68,80	31,20	иловача
9/018	10-20	1,33	0,40	40,30	20,70	22,30	5,90	10,40	61,40	38,60	иловача
9/018	20-40	1,41	0,30	39,20	31,50	9,10	8,10	11,80	71,00	29,00	иловача
10/018	0-10	2,35	0,10	16,80	24,40	30,00	11,10	17,60	41,30	58,70	прашката иловача
10/018	10-20	2,07	0,20	21,20	23,30	28,80	9,50	17,00	44,70	55,30	прашката иловача
10/018	20-40	2,10	0,10	16,00	26,60	30,70	9,00	17,60	42,70	57,30	прашката иловача
13/018	0-10	3,26	0,80	3,30	12,90	31,70	24,70	26,60	17,00	83,00	прашката иловача
13/018	10-20	3,24	0,90	10,40	7,70	30,60	22,30	28,10	19,00	81,00	прашкато-глиновита иловача
13/018	20-40	3,16	0,60	7,80	9,10	28,50	24,40	29,60	17,50	82,50	прашкато-глиновита иловача
14/018	0-10	2,11	1,30	29,00	13,00	20,50	13,10	23,10	43,30	56,70	прашката иловача
14/018	10-20	2,28	0,90	29,20	11,30	20,80	14,50	23,30	41,40	58,60	прашката иловача
14/018	20-40	3,09	0,20	8,80	6,50	28,60	20,00	35,90	15,50	84,50	прашкато-глиновита иловача
17/018	0-10	2,63	1,60	23,70	17,50	24,70	10,80	21,70	42,80	57,20	прашката иловача
17/018	10-20	2,62	1,90	11,80	25,50	26,50	11,40	22,90	39,20	60,80	прашката иловача
17/018	20-40	2,65	2,60	15,20	20,00	26,50	9,90	25,80	37,80	62,20	прашката иловача
Делом плављено или чишћен терен/ Алувијално земљиште											
5/018	0-10	0,90	42,40	36,10	8,50	5,30	3,40	4,30	87,00	13,00	иловаст песак
5/018	10-20	0,79	45,80	37,80	5,50	4,50	3,10	3,30	89,10	10,90	иловаст песак
5/018	20-40	1,79	12,70	36,90	14,40	15,60	7,60	12,80	64,00	36,00	иловача
12/018	0-10	3,16	0,20	6,50	13,20	33,10	19,20	27,80	19,90	80,10	прашката иловача
12/018	10-20	3,52	0,30	8,00	11,80	31,90	13,80	34,20	20,10	79,90	прашкато-глиновита иловача
12/018	20-40	3,52	0,10	8,30	11,40	31,20	13,90	35,10	19,80	80,20	прашкато-глиновита иловача
15/018	0-10	2,57	0,00	12,00	11,90	35,20	15,90	25,00	23,90	76,10	прашката иловача
15/018	10-20	2,47	0,00	9,40	12,30	36,40	17,00	24,90	21,70	78,30	прашката иловача

15/018	20-40	2,81	0,00	7,20	11,30	37,10	19,00	25,40	18,50	81,50	прашкаста иловача
19/018	0-10	2,28	3,80	18,20	20,40	26,70	12,80	18,10	42,40	57,60	прашкаста иловача
19/018	10-20	2,13	6,80	20,80	6,80	35,10	12,30	18,20	34,40	65,60	прашкаста иловача
19/018	20-40	2,51	1,70	17,90	16,00	31,00	15,00	18,40	35,60	64,40	прашкаста иловача
20/018	0-10	3,01	0,00	4,10	14,10	35,40	19,40	27,00	18,20	81,80	прашкаста иловача
20/018	10-20	2,87	0,10	8,40	9,40	35,20	19,30	27,60	17,90	82,10	прашкasto-глиновита иловача
20/018	20-40	2,92	0,20	4,00	13,10	36,80	17,70	28,20	17,30	82,70	прашкasto-глиновита иловача
Неплављено											
2/018	0-10	2,50	7,80	10,60	16,70	24,50	12,90	27,50	35,10	64,90	прашкаста иловача
2/018	10-20	3,39	3,40	11,60	11,70	18,10	10,80	44,40	26,70	73,30	прашкаста глинуша
2/018	20-40	5,48	1,40	3,60	8,40	15,10	4,90	66,60	13,40	86,60	глинуша
2/018	40-85	4,34	5,80	6,80	7,10	11,50	9,40	59,40	19,70	80,30	глинуша
Псеудоглеј, падински											
11/018	0-10	3,84	1,00	7,20	15,00	23,90	10,10	42,80	23,20	76,80	прашкаста глинуша
11/018	10-20	3,99	3,50	15,00	12,20	18,60	9,00	41,70	30,70	69,30	прашкаста глинуша
11/018	20-40	4,46	1,00	2,90	11,20	26,10	10,30	48,50	15,10	84,90	прашкаста глинуша
Плитко кисело смеђе земљиште на шкриљцима											
16/018	0-10	2,28	16,00	15,60	11,10	27,30	16,10	13,90	42,70	57,30	прашкаста иловача
16/018	10-20	1,72	13,80	16,30	12,00	29,50	15,40	13,00	42,10	57,90	прашкаста иловача
16/018	20-40	2,63	11,40	19,50	9,80	27,10	14,40	17,80	40,70	59,30	прашкаста иловача
Илимеризовано земљиште на силикатним стенама											
18/018	0-10	3,07	0,40	8,90	19,20	32,70	12,10	26,70	28,50	71,50	прашкаста иловача
18/018	10-20	3,12	1,10	1,20	27,50	32,10	10,50	27,60	29,80	70,20	прашкаста иловача
18/018	20-40	2,84	1,30	6,30	21,30	32,40	12,40	26,30	28,90	71,10	прашкаста иловача

Табела 5. Хемијска својства проучаваних земљишта

Профил број	дубина (cm)	pH		Y1 mL NaOH / 50g	Адсор птивн и компл екс			V	CaC Oз	Хумус	C	N	C/N	лакоприступачни	
		H ₂ O	CaCl ₂		cmol·kg ⁻¹									(%)	(%)
Плављено															
Алувијална земљишта															
1/018	0-10	7,93	7,36	-	-	-	-	-	17,58	1,06	0,61	-	-	59,92	7,38
1/018	10-20	7,84	7,35	-	-	-	-	-	19,01	1,85	1,07	0,03	35,77	71,38	7,01
1/018	20-40	7,86	7,32	-	-	-	-	-	20,82	1,58	0,92	-	-	67,11	7,76
3/018	0-10	7,49	6,97	-	-	-	-	-	3,66	2,22	1,29	0,09	14,31	36,06	15,49
3/018	10-20	7,51	6,98	2,00	1,30	40,40	41,70	96,88	-	3,45	2,00	0,20	9,99	2,05	7,94
3/018	20-40	7,78	6,92	1,50	0,98	43,85	44,83	97,82	-	2,61	1,51	0,16	9,45	1,61	6,35
4/018	0-10	7,67	6,96	-	-	-	-	-	13,61	0,89	0,51	-	-	66,64	5,51
4/018	10-20	7,65	6,97	-	-	-	-	-	15,33	0,92	0,54	-	-	54,69	6,63
4/018	20-40	7,51	7,09	1,50	0,98	47,55	48,53	97,99	-	2,90	1,68	0,17	9,90	2,78	8,34
6/018	0-10	8,04	7,00	-	-	-	-	-	11,34	0,68	0,40	-	-	31,24	21,64
6/018	10-20	7,88	7,18	-	-	-	-	-	5,83	4,07	2,36	0,27	8,73	17,10	31,77
6/018	20-40	8,08	7,16	-	-	-	-	-	10,53	1,29	0,75	-	-	2,05	6,63
7/018	0-10	7,74	7,23	-	-	-	-	-	8,91	1,65	0,96	-	-	11,88	7,94
7/018	10-20	7,98	7,39	-	-	-	-	-	8,75	1,94	1,13	0,11	10,25	15,37	7,94

7/018	20-40	8,11	7,31	-	-	-	-	-	9,00	1,11	0,64	-	-	4,69	4,62
8/018	0-10	7,85	7,17	-	-	-	-	-	2,33	1,87	1,08	0,15	7,23	21,44	22,65
8/018	10-20	7,90	7,23	-	-	-	-	-	3,85	2,16	1,25	0,17	7,37	27,57	19,07
8/018	20-40	7,99	7,19	1,25	0,81	35,65	36,46	97,77	-	1,39	0,81	-	-	6,60	17,48
9/018	0-10	7,88	7,27	-	-	-	-	-	9,24	1,77	1,03	0,06	17,11	36,05	10,72
9/018	10-20	7,90	7,30	-	-	-	-	-	8,78	1,87	1,08	0,13	8,32	30,15	13,11
9/018	20-40	8,00	7,36	-	-	-	-	-	7,11	1,61	0,93	-	-	18,16	7,94
10/018	0-10	7,68	7,26	-	-	-	-	-	2,01	2,01	1,17	0,19	6,13	19,26	12,31
10/018	10-20	7,86	7,33	-	-	-	-	-	3,31	2,00	1,16	0,14	8,28	33,42	9,13
10/018	20-40	7,85	7,17	-	-	-	-	-	3,81	1,99	1,15	0,14	8,24	30,09	9,53
13/018	0-10	7,85	6,79	1,50	0,98	25,10	26,08	96,26	-	2,60	1,51	0,24	6,28	8,67	10,88
13/018	10-20	7,59	6,62	1,50	0,98	24,70	25,68	96,20	-	2,63	1,53	0,23	6,64	9,26	11,70
13/018	20-40	7,43	6,11	4,50	2,93	19,10	22,03	86,72	-	1,86	1,08	0,20	5,39	2,52	8,43
14/018	0-10	6,71	5,00	9,00	5,85	8,75	14,60	59,93	-	1,19	0,69	-	-	1,53	6,79
14/018	10-20	6,08	5,10	10,50	6,83	9,60	16,43	58,45	-	1,04	0,60	-	-	0,90	7,20
14/018	20-40	5,71	4,84	14,25	9,26	10,60	19,86	53,37	-	0,70	0,41	-	-	0,77	8,02
17/018	0-10	7,36	6,40	3,00	1,95	16,65	18,60	89,52	-	1,75	1,02	0,15	6,77	2,53	9,37
17/018	10-20	7,52	6,26	3,00	1,95	15,90	17,85	89,08	-	1,85	1,07	0,19	5,63	2,02	10,52
17/018	20-40	7,42	6,06	3,25	2,11	14,50	16,61	87,28	-	1,02	0,59	-	-	-	10,13
Делом плављено или чишћен терен/ Алувијално земљиште															
5/018	0-10	8,07	7,25	-	-	-	-	-	8,95	0,64	0,37	-	-	21,64	6,26
5/018	10-20	8,24	7,34	-	-	-	-	-	8,68	0,58	0,34	-	-	13,74	4,33
5/018	20-40	8,00	7,40	-	-	-	-	-	3,65	1,66	0,96	-	-	3,31	6,35
12/018	0-10	7,83	7,39	-	-	-	-	-	2,71	2,79	1,62	0,21	7,71	21,20	21,45
12/018	10-20	7,96	7,34	-	-	-	-	-	1,33	2,55	1,48	0,16	9,25	10,76	17,88
12/018	20-40	8,01	7,35	1,25	0,81	40,50	41,31	98,03	-	2,55	1,48	0,19	7,78	9,56	17,48
15/018	0-10	6,40	6,02	7,50	4,88	14,70	19,58	75,10	-	1,99	1,16	0,18	6,42	2,54	12,11

15/018	10-20	6,53	5,92	7,00	4,55	14,80	19,35	76,49	-	1,81	1,05	0,19	5,54	2,14	11,29
15/018	20-40	6,85	6,04	5,00	3,25	18,15	21,40	84,81	-	1,60	0,93	-	-	1,97	8,84
19/018	0-10	7,51	7,07	1,25	0,81	23,15	23,96	96,61	-	2,22	1,29	0,16	8,06	5,34	14,70
19/018	10-20	7,85	7,00	1,50	0,98	30,05	31,03	96,86	-	1,95	1,13	0,18	6,27	3,25	8,23
19/018	20-40	7,75	6,64	1,75	1,14	18,40	19,54	94,18	-	1,83	1,06	0,19	5,60	2,46	7,93
20/018	0-10	6,85	5,88	7,00	4,55	15,75	20,30	77,59	-	2,17	1,26	0,18	7,01	2,95	13,90
20/018	10-20	6,71	5,84	6,50	4,23	16,50	20,73	79,61	-	2,46	1,42	0,22	6,48	2,62	17,26
20/018	20-40	6,75	5,86	6,50	4,23	16,50	20,73	79,61	-	2,14	1,24	0,21	5,91	3,21	14,65
Неплављено															
Смеђе земљиште на кречњаку са површинских алохтоним слојем															
2/018	0-10	5,94	5,13	14,50	9,43	10,05	19,48	51,60	-	2,30	1,33	0,15	8,89	1,89	19,77
2/018	10-20	5,81	4,80	14,37	9,34	13,30	22,64	58,74	-	1,12	0,65	-	-	0,51	20,14
2/018	20-40	6,27	5,05	13,75	8,94	20,20	29,14	69,33	-	0,90	0,52	-	-	0,00	22,25
2/018	40-85	7,74	7,17	1,87	1,22	37,90	39,12	96,89	-	0,64	0,37	-	-	1,06	17,48
Псеудоглеј, падински															
11/018	0-10	7,51	7,01	-	-	-	-	-	2,16	1,76	1,02	0,13	7,85	6,32	23,44
11/018	10-20	7,80	7,24	1,00	0,65	48,15	48,80	98,67	-	1,58	0,92	-	-	7,83	30,60
11/018	20-40	5,96	4,46	19,25	12,51	13,65	26,16	52,17	-	0,56	0,33	-	-	0,92	17,08
Плитко кисело смеђе земљиште на шкриљцима															
16/018	0-10	5,65	4,52	24,75	16,09	5,80	21,89	26,50	-	3,41	1,98	0,25	7,91	3,57	9,66
16/018	10-20	5,52	4,39	20,50	13,33	4,45	17,78	25,04	-	2,24	1,30	0,21	6,18	0,54	6,71
16/018	20-40	5,61	4,53	19,50	12,68	2,85	15,53	18,36	-	1,48	0,86	-	-	0,90	7,85
Илимеризовано земљиште на силикатним стенама															
18/018	0-10	6,50	5,43	10,00	6,50	11,70	18,20	64,29	-	2,43	1,41	0,18	7,84	8,75	74,69
18/018	10-20	6,81	5,38	8,50	5,53	11,80	17,33	68,11	-	2,22	1,29	0,18	7,15	4,10	67,08
18/018	20-40	6,69	5,60	8,00	5,20	10,85	16,05	67,60	-	1,71	0,99	-	-	3,77	50,00

Табела 6: Основна хемијска својства из површинских узорак земљишта (0 – 10 cm)

Ред бр.	Пратећи узорак број	pH		Y1 mL NaOH / 50g	Адсорптивни комплекс			V	CaCO ₃	Хумус	C	N	C/N	Лакоприступачни	
		H ₂ O	CaCl ₂		cmol·kg ⁻¹									(%)	(%)
Плављено															
1	B21/018	7,68	7,07	-	-	-	-	-	11,70	0,83	0,48	-	-	39,10	5,00
2	B22/018	7,52	7,04	-	-	-	-	-	14,16	0,81	0,47	-	-	49,82	5,00
3	B24/018	7,74	7,02	-	-	-	-	-	14,12	0,90	0,52	-	-	52,36	6,79
4	B26/018	8,23	7,35	-	-	-	-	-	8,65	0,61	0,35	-	-	11,24	7,20
5	B27/018	7,74	7,12	-	-	-	-	-	10,80	0,64	0,37	-	-	49,01	9,66
6	B28/018	8,11	7,20	-	-	-	-	-	7,31	1,02	0,59	-	-	13,48	4,62
7	B30/018	7,99	7,38	-	-	-	-	-	3,27	1,91	1,11	0,23	4,81	16,80	8,02
8	B31/018	7,81	7,47	-	-	-	-	-	4,37	1,84	1,07	0,16	6,68	15,58	12,93
9	B33/018	8,13	7,39	-	-	-	-	-	2,29	1,71	0,99	-	-	15,34	13,75
10	B34/018	8,08	7,27	-	-	-	-	-	1,05	2,53	1,46	0,22	6,66	18,68	19,07
11	B35/018	7,80	7,33	1,50	0,98	43,70	44,68	97,82	-	2,87	1,67	0,25	6,66	4,43	11,29
12	B36/018	7,84	7,33	-	-	-	-	-	1,79	3,33	1,93	0,27	7,15	9,08	14,98
13	B37/018	7,96	7,47	-	-	-	-	-	2,70	2,02	1,17	0,18	6,49	7,77	10,48
14	B40/018	7,81	6,87	-	-	-	-	-	2,94	2,13	1,23	0,16	7,71	20,80	13,34
15	B42/018	7,70	6,95	-	-	-	-	-	1,31	2,17	1,26	0,19	6,62	4,07	9,42

16	B49/018	7,79	7,15	-	-	-	-	-	6,97	2,46	1,43	0,16	8,91	11,44	7,56
17	B51/018	7,65	6,77	-	-	-	-	-	8,14	1,09	0,63	-	-	36,86	7,18
18	B58/018	5,94	4,57	14,75	9,59	9,60	19,19	50,03	-	2,21	1,28	0,20	6,41	4,19	14,21
19	B60/018	7,96	6,92	-	-	-	-	-	1,97	1,97	1,15	0,22	5,21	5,44	14,21
Неплављено															
20	B23/018	7,24	6,51	5,00	3,25	15,75	19,00	82,89	-	2,07	1,20	0,14	8,58	6,18	25,83
21	B29/018	6,77	5,80	6,00		12,80			-	2,30	1,33	0,21	6,35	5,61	14,57
22	B32/018	7,26	6,82	2,50		19,95			-	2,38	1,38	0,20	6,92	3,51	10,48
23	B38/018	6,01	5,14	14,75	9,59	6,75	16,34	41,32	-	2,14	1,24	0,12	10,36	15,60	13,34
24	B39/018	8,09	7,30	1,25	0,81	35,65	36,46	97,77	-	2,34	1,36	0,09	15,09	8,41	15,80
25	B41/018	6,39	5,50	11,00	7,15	11,20	18,35	61,04	-	2,16	1,25	0,19	6,59	1,56	9,42
26	B43/018	5,98	5,03	8,25	5,36	12,10	17,46	69,29	-	2,53	1,47	0,19	7,73	5,60	13,90
27	B44/018	5,31	4,10	26,75	17,39	3,95	21,34	18,51	-	3,13	1,81	0,21	8,63	7,51	9,05
28	B45/018	5,63	5,00	14,00	9,10	9,35	18,45	50,68	-	1,91	1,11	0,18	6,15	6,95	11,29
29	B46/018	7,18	6,96	1,50	0,98	24,30	25,28	96,14	-	2,57	1,49	0,23	6,49	3,94	13,90
30	B47/018	6,61	5,45	8,50	5,53	20,35	25,88	78,65	-	2,74	1,59	0,27	5,89	8,68	19,50
31	B48/018	6,54	5,85	15,00	9,75	9,90	19,65	50,38	-	2,98	1,73	0,22	7,86	0,44	8,30
32	B50/018	7,89	6,94	-	-	-	-	-	2,46	3,18	1,84	0,22	8,38	6,76	10,54
33	B52/018	7,38	6,73	5,50	3,58	11,60	15,18	76,44	-	1,76	1,02	0,14	7,27	1,29	15,39
34	B53/018	6,24	4,87	11,75	7,64	10,80	18,44	58,58	-	2,39	1,39	0,18	7,70	2,89	9,79
35	B54/018	7,55	7,06	2,00	1,30	36,80	38,10	96,59	-	2,27	1,31	0,18	7,30	8,78	6,06
36	B55/018	7,35	6,07	11,50	7,48	12,15	19,63	61,91	-	2,37	1,38	0,21	6,56	3,28	26,06
37	B56/018	6,58	5,18	7,50	4,88	11,55	16,43	70,32	-	1,67	0,97	-	-	0,22	15,43
38	B57/018	7,74	6,72	-	-	-	-	-	1,30	2,67	1,55	0,21	7,37	19,23	13,80
Очишћено или делом плављено															
39	B25/018	7,30	7,05	-	-	-	-	-	6,80	2,58	1,50	0,20	7,48	37,72	14,57
40	B59/018	7,37	5,84	2,50	1,63	20,05	21,68	92,50	-	3,82	2,21	0,21	10,54	6,24	15,43

4.5. Садржај тешких метала/металоида у проучаваним земљиштима - порекла и утицаји

4.5.1. Садржај тешких метала/металоида у проучаваним земљиштима

Резултати лабораторијских проучавања садржаја микроелемената у узорцима земљишних профила на проучаваном подручју приказани су у табели 7.

Садржај цинка у проучаваним профилима углавном опадају са дужином у профилу, што је посебно изражено у профилима отвореним у плављеном подручју (слика 7). Измерене вредности цинка у профилима који су отворени у плавној зони у слоју 0 – 10 cm крећу се од 59,8 – 1558,1 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm крећу се од 61,1 – 1931,0 mg·kg⁻¹, у слоју 20 – 40 cm крећу се од 54,5 – 1519,5 mg·kg⁻¹. Измерене вредности веће су од граничне и ремедијационе вредности за цинк у профилу 1/018, профилу 4/018 (у слоју 0 – 20 cm) и површинском слоју профила 6/018, док су веће од граничне вредности измерене у површинском слоју профила 3/018, профилу 6/018 (у слоју 10 – 20 cm), профилу 7/018 (у слоју 0 – 20 cm), профилу 9/018 и 10/018. У профилима 13/018, 14/018 и 17/018 измерене вредности су ниже од граничних. У узорцима земљишних профила делимично плављеним или очишћеним садржаји цинка у слоју 0 – 10 cm вредности се крећу од 74,2 – 466,5 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 74,5 – 358,4 mg·kg⁻¹, у слоју 20 – 40 cm од 76,8 – 148,3 mg·kg⁻¹. У профилима 15/018, 19/018 и 20/018 измерени садржаји су нижи од граничних вредности, док су садржаји цинка већи од граничне вредности у профилу 5/018 и у профилу 12/018 у слоју 0–20 cm. У неплављеној зони сви измерени садржаји цинка (у слоју 0 – 10 cm крећу се од 46,1 – 92,2 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm имају вредности од 53,3 – 112,8 mg·kg⁻¹, и у слоју 20 – 40 cm од 56,1 – 125,0 mg·kg⁻¹) су нижи од граничне вредности, сем у профилу 2/018 у слоју 40 – 80 cm, где се и садржаји цинка са дужином повећавају.

Садржаји бакра (слика 10) су уједначени по дужини профила сем у профилу 2/018, где се са дужином повећава садржај. Такође, измерени садржаји бакра у свим профилима нижи су од граничне вредности, сем у профилу 1/08 где су садржаји бакра већи од граничне вредности али нижи од ремедијационе. Измерене вредности бакра у профилима у слоју 0 – 10 cm крећу се од 12,9 – 36,4 mg·kg⁻¹ (плављено), 13,6 – 24,6 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и од 13,4 – 20,7 mg·kg⁻¹ (неплављено), затим у у слоју 10 – 20 cm крећу се од 12,9 – 43,9 mg·kg⁻¹ (плављено), 13,2 – 21,5 mg·kg⁻¹ (делимично плављено), 12,4 – 25,5 mg·kg⁻¹ (неплављено), и у слоју 20 – 40 cm крећу се од 11,4 – 54,1 mg·kg⁻¹ (у плавној зони), 15 – 20,3 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и од 14,7 – 32,7 mg·kg⁻¹ (неплављено).

Садржаји олова као и цинка у проучаваним профилима углавном опадају са дужином у профилу (слика 8). Измерене вредности олова у профилима који су отворени у плавној зони у слоју 0 – 10 cm крећу се од 35,6 – 468,3 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 34,3 – 502,6 mg·kg⁻¹, и у слоју 20 – 40 cm од 22,7 – 674,7 mg·kg⁻¹. Измерене вредности веће су од граничне и ремедијационе вредности за олово у истим профилима као и за цинк: у профилу 1/018, профилу 4/018 (у слоју 0 – 20 cm) и површинском слоју профила 6/018, док су веће од граничне вредности измерене у површинском слоју профила 3/018, профилу 6/018 (у слоју 10 – 20 cm), профилу 7/018 (у слоју 10 – 20 cm), профилу 9/018 и 10/018. У профилима 13/018, 14/018 и 17/018 измерене вредности су ниже од граничних. У узорцима земљишних профила делимично плављеним или очишћеним садржаји олова се крећу у слоју 0 – 10 cm од 24,7 – 145,1 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 24,3 – 117,1 mg·kg⁻¹, и у слоју 20 – 40 cm од 24,5 – 95,1 mg·kg⁻¹. У профилима 15/018, 19/018 и 20/018 измерени садржаји су ниже од граничних вредности, док су садржаји олова већи од граничне вредности у профилу 5/018 и у профилу 12/018 у слоју 10-20 cm. У неплављеној зони сви измерени садржаји олова као и цинка (у слоју 0 – 10 cm од 12,2 – 28,2 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 12,8 – 37,8 mg·kg⁻¹, у слоју 20 – 40 cm од 13,3 – 34,4 mg·kg⁻¹) су ниже од граничне вредности сем у профилу 2/018 у слоју 40 – 80 cm, где се и садржаји олова са дужином повећавају.

Садржаји никла у свим измереним профилима ниже су од граничне вредности сем у случају неплављених профила, где се са дужином и повећава садржај никла, у профилу 2/018 у слоју 20 – 85 cm и у профилу 16/018 у слоју 20 – 40 cm. На слици 11, види се да се просторно садржаји никла не мењају значајно дуж целог истраживаног подручја, пре свега у алувијалним земљиштима. Измерене вредности никла се крећу по слојевима: 0-10 cm од 11,9 – 27,4 mg·kg⁻¹ (плављено), 15,2 – 34,2 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 17,1 – 34,2 mg·kg⁻¹ (неплављено), у слоју 10-20 cm 13,9 – 26,1 mg·kg⁻¹ (плављено), 15,8 – 29,8 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 19,3 – 35,9 mg·kg⁻¹ (неплављено), и у слоју 20 – 40 cm од 11,9 – 29,9 mg·kg⁻¹ (плављено), 20,5 – 29,9 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 22,1 – 40,9 mg·kg⁻¹ (неплављено).

Табела 6 : Садржаји микроелемената у проучаваним земљиштима

Ред Бр.	Профил	Дубина	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
		cm	mg·kg ⁻¹								µg·kg ⁻¹
Плављено											
Алувијална земљишта											
1	1/018	0-10	1402,42	36,44	468,29	14,17	11,28	9,39	2772,83	1467,77	7361,94
2	1/018	10-20	1457,51	43,50	502,62	14,30	14,69	9,04	2882,71	1597,47	7341,77
3	1/018	20-40	1519,54	54,10	674,71	15,78	18,80	8,49	2848,48	1979,41	6800,11
4	3/018	0-10	485,22	21,84	127,66	20,56	19,89	2,99	1101,60	481,82	1007,34
5	3/018	10-20	95,38	19,84	37,94	22,80	16,83	0,30	126,32	225,64	44,95
6	3/018	20-40	89,03	18,31	38,11	20,69	17,52	0,30	110,33	0,00	30,48
7	4/018	0-10	1558,05	18,09	379,95	11,98	8,38	10,45	4936,16	1116,04	7465,82
8	4/018	10-20	1931,01	19,00	422,68	13,88	8,41	11,58	4649,56	1189,80	8602,30
9	4/018	20-40	88,33	15,62	42,01	20,08	21,42	0,44	155,67	101,33	170,97
10	6/018	0-10	805,45	15,58	224,18	13,64	8,55	5,60	2314,44	599,61	4244,03
11	6/018	10-20	260,95	15,11	95,82	16,55	12,81	1,50	488,46	462,80	512,80
12	6/018	20-40	86,50	12,18	51,57	14,50	8,93	0,42	137,27	921,27	156,70
13	7/018	0-10	164,34	12,86	64,13	12,59	7,92	1,01	367,01	484,35	323,86
14	7/018	10-20	222,75	15,99	92,81	15,81	10,23	1,25	568,12	494,19	499,20
15	7/018	20-40	94,45	11,43	39,22	11,94	7,60	0,49	143,31	621,92	185,21
16	8/018	0-10	107,98	15,57	47,44	19,14	17,85	0,63	158,59	18,66	134,22
17	8/018	10-20	121,58	15,31	47,43	17,21	18,92	0,77	178,96	41,66	202,22
18	8/018	20-40	80,85	17,16	45,31	24,25	23,63	0,52	117,08	0,00	66,15
19	9/018	0-10	596,46	16,97	178,59	16,77	10,71	4,20	1627,77	491,13	3313,44
20	9/018	10-20	529,61	17,81	155,78	18,07	12,17	3,66	1018,56	426,29	1129,38
21	9/018	20-40	207,09	18,18	162,53	18,60	13,02	3,63	1272,44	428,37	1138,07

22	10/018	0-10	350,24	22,06	137,07	23,69	20,08	2,16	1,183,45	279,54	664,72
23	10/018	10-20	408,88	21,67	159,01	22,15	16,99	2,44	1,414,38	356,93	792,48
24	10/018	20-40	355,27	21,91	143,36	22,85	19,91	2,21	1,274,86	307,81	714,58
25	13/018	0-10	87,16	20,97	38,49	27,44	27,43	0,28	87,02	0,00	83,13
26	13/018	10-20	81,90	20,87	38,33	26,07	27,98	0,30	98,25	0,00	40,98
27	13/018	20-40	85,44	21,48	38,78	29,89	23,25	0,16	84,26	0,00	101,11
28	14/018	0-10	59,79	18,62	61,83	20,30	21,85	0,10	63,99	0,00	79,68
29	14/018	10-20	61,96	19,00	65,45	21,62	22,34	0,10	64,96	0,00	81,14
30	14/018	20-40	77,78	22,17	44,16	27,90	22,89	0,11	81,31	0,00	93,17
31	17/018	0-10	64,32	13,60	35,57	23,64	26,42	0,30	102,93	0,00	38,25
32	17/018	10-20	61,10	12,95	34,33	20,65	26,56	0,25	96,63	0,00	39,57
33	17/018	20-40	54,52	12,54	22,73	23,20	22,54	0,16	86,63	0,00	27,46
Делом плављено или чишћен терен/ Алувијално земљиште											
34	5/018	0-10	466,50	13,64	145,13	15,19	9,00	3,02	1229,84	354,29	1089,34
35	5/018	10-20	358,45	13,16	117,11	15,76	8,96	2,19	971,03	261,68	712,49
36	5/018	20-40	148,32	15,07	95,07	20,49	17,42	0,79	274,58	170,95	453,90
37	12/018	0-10	250,16	24,57	123,63	29,40	32,12	1,43	698,46	165,28	427,33
38	12/018	10-20	151,50	21,55	68,72	29,77	33,44	0,79	331,05	49,29	233,62
39	12/018	20-40	98,46	20,08	41,80	29,86	30,48	0,46	166,29	0,00	107,65
40	15/018	0-10	77,43	20,82	26,57	28,51	23,32	0,09	80,32	0,00	114,43
41	15/018	10-20	78,58	20,74	27,44	28,41	22,97	0,15	81,68	0,00	112,90
42	15/018	20-40	77,05	20,36	25,19	28,56	22,69	0,13	76,62	0,00	108,06
43	19/018	0-10	74,16	16,51	24,70	23,26	33,22	0,19	93,35	0,00	97,11
44	19/018	10-20	74,49	16,37	24,32	23,99	30,33	0,21	93,68	0,00	266,59
45	19/018	20-40	78,66	18,68	27,48	24,82	23,97	0,22	96,26	0,00	112,10
46	20/018	0-10	78,04	20,29	25,43	28,41	25,92	0,22	71,67	0,00	62,95
47	20/018	10-20	78,65	20,72	24,63	28,88	27,66	0,13	73,30	0,00	73,50
48	20/018	20-40	76,76	20,21	24,52	28,23	25,28	0,09	70,28	0,00	88,63

Неплављено											
Смеђе земљиште на кречњаку са површинских алохтоним слојем											
49	2/018	0-10	76,46	19,01	23,58	27,15	30,48	0,21	110,04	212,74	62,30
50	2/018	10-20	112,82	25,49	37,79	35,88	24,80	0,08	152,02	274,04	137,21
51	2/018	20-40	125,02	32,68	34,38	40,98	28,37	0,10	168,36	328,72	137,09
52	2/018	40-85	163,49	30,38	39,99	48,27	36,35	0,34	201,70	357,73	241,75
Псеудоглеј, падински											
53	11/018	0-10	46,09	13,44	18,26	17,08	29,02	0,12	72,02	0,00	13,50
54	11/018	10-20	53,31	12,45	15,06	19,33	31,85	0,13	80,93	0,00	21,82
55	11/018	20-40	58,43	14,71	16,82	22,06	28,21	0,01	95,35	0,00	20,26
Плитко кисело смеђе земљиште на шкриљцима											
56	16/018	0-10	92,24	20,68	28,23	34,17	35,29	0,14	72,01	0,00	35,12
57	16/018	10-20	90,79	22,04	27,07	34,86	33,93	0,12	67,32	0,00	22,22
58	16/018	20-40	80,06	18,90	19,83	37,93	33,86	0,00	61,31	0,00	0,00
Илимеризовано земљиште на силикатним стенама											
59	18/018	0-10	55,22	15,87	12,25	23,21	33,15	0,06	69,62	0,00	20,41
60	18/018	10-20	56,22	15,56	12,80	24,53	29,45	0,01	71,04	0,00	23,23
61	18/018	20-40	56,09	16,07	13,28	24,15	28,38	0,03	70,66	0,00	19,14

Садржаји хрома су у свим измереним профилима нижи од граничне вредности за хром, и садржаји хрома су или уједначени или се повећавају са дужином у профилу. На слици 12, јасно се види да просторно садржај хрома мало варира дуж целог истраживаног подручја. Измерене вредности хрома се крећу по слојевима: 0 – 10 cm од 7,9 – 27,4 mg·kg⁻¹ (плављено), 9,0 – 35,3 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 29 – 35,3 mg·kg⁻¹ (неплављено), у слоју 10 – 20 cm 8,4 – 27,9 mg·kg⁻¹ (плављено), 8,9 – 33,4 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 24,8 – 33,9 mg·kg⁻¹ (неплављено), и у слоју 20 – 40 cm 7,6 – 23,6 mg·kg⁻¹ (плављено), 17,4 – 30,5 mg·kg⁻¹ (делимично плављено) и 28,2 – 33,8 mg·kg⁻¹ (неплављено).

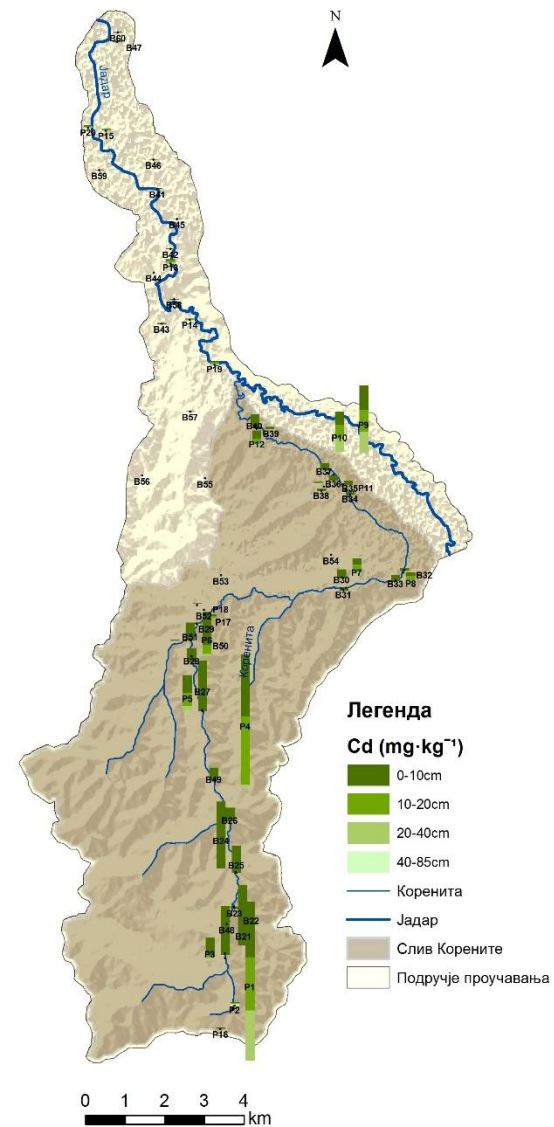
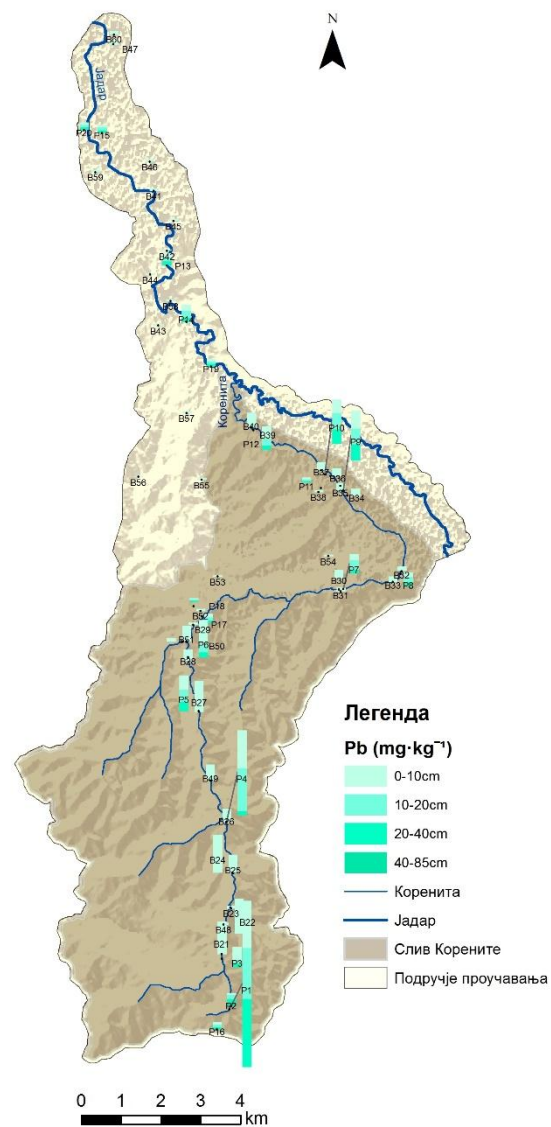
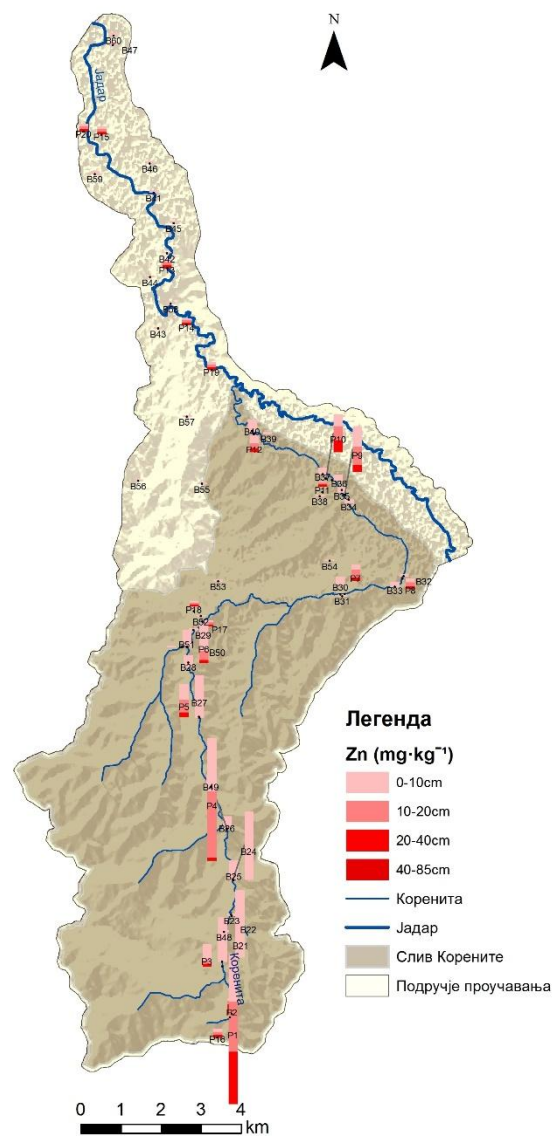
Већи **садржаји кадмијума** од граничних вредности, али ниже од ремедијационих, измерени су у оним профилима где су измерени и већи садржаји олова и цинка (слика 9). Измерене вредности кадмијума у профилима који су отворени у плавној зони у слоју 0 – 10 cm крећу се од 0,1 – 10,5 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 0,1 – 11,6 mg·kg⁻¹, и у слоју 20 – 40 cm од 0,1 – 8,5 mg·kg⁻¹. Веће вредности од граничне вредности за кадмијум измерене су у профилу 1/018, у површинском слоју профила 3/018, профилу 4/018 (у слоју 0 – 20 cm), површинском слоју профила 6/018, (у слоју 10 – 20 cm), профилу 7/018 (у слоју 10 – 20 cm), профилу 9/018 и 10/018. У узорцима земљишних профила делимично плављеним или очишћеним садржаји кадмијума се у слоју 0 – 10 cm крећу од 0,09 – 3,02 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 0,13 – 2,19 mg·kg⁻¹, и у слоју 20 – 40 cm од 0,09 – 0,79 mg·kg⁻¹. У профилима 15/018, 19/018 и 20/018 измерени садржаји кадмијума су нижи од граничних вредности, док су у профилу 5/018 (0 – 20 cm) и у профилу 12/018 (0 – 10 cm) садржаји кадмијума већи од граничне вредности. У неплављеној зони сви измерени садржаји кадмијума (у слоју 0 – 10 cm од 0,06 – 0,21 mg·kg⁻¹, у слоју 10 – 20 cm од 0,01 – 0,13 mg·kg⁻¹ и у слоју 20 – 40 cm до 0,1 mg·kg⁻¹) су нижи од граничне вредности.

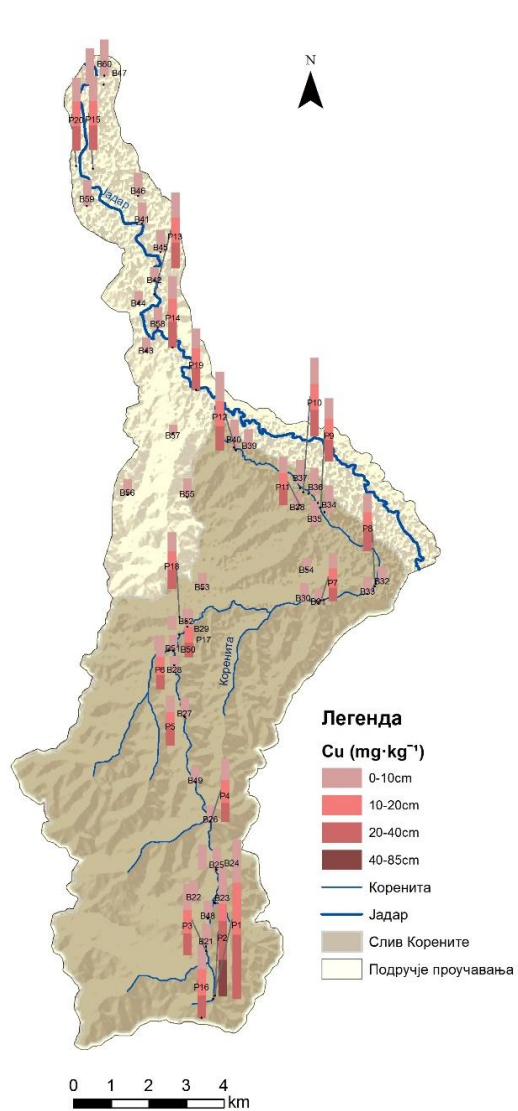
Садржаји арсена су у свим профилима већи од ремедијационе вредности. Посебно високе вредности As измерене су у профилима где је дошло до изливања јаловинског материјала и то у профилима 1/018, 9/018 и 10/018 до 40 cm дубине, док је у осталим повећан садржај у површинском слоју. Садржаји арсена се смањују, пре свега, у алувијалним земљиштима, од места изливања јаловинског материјала дуж тока реке Корените до улива у Јадар (слика 13). У плављеним алувијалним земљиштима измерене вредности се крећу у слоју: 0 – 10 cm од 63,98 – 4936,2 mg·kg⁻¹ (плављено), 71,6 – 1229,8 mg·kg⁻¹ (делимично

плављено) и од $69,6 - 110,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (неплављено), затим у у слоју $10 - 20 \text{ cm}$ од $64,9 - 4649,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (плављено), $73,3 - 971 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (делимично плављено), $67,3 - 152,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (неплављено), и у слоју $20 - 40 \text{ cm}$ од $81,3 - 2848,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (у плавној зони), $70,3 - 274,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (делимично плављено) и од $61,3 - 168,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (неплављено).

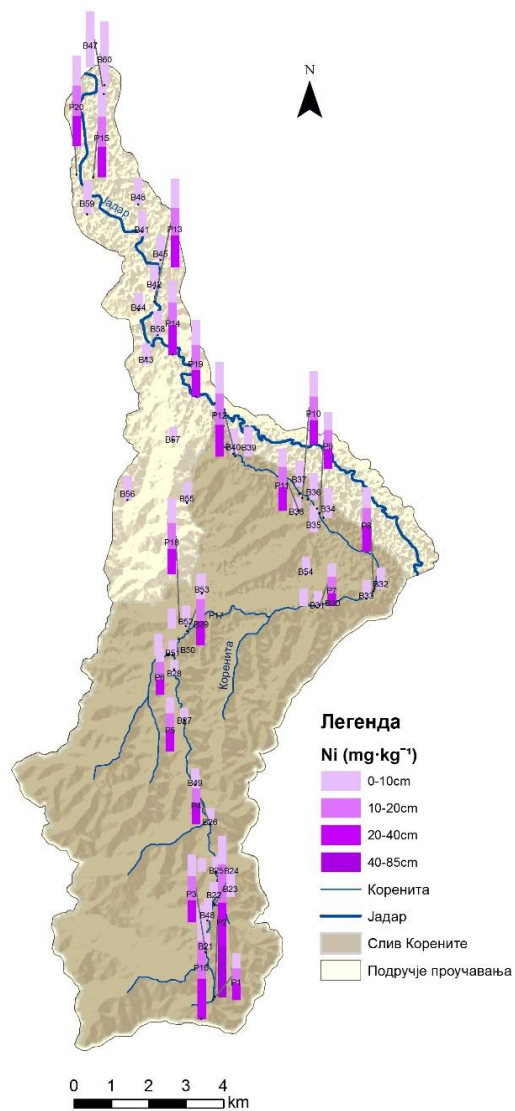
У профилима, у површинским слојевима, отвореним на плављеном и делом плављеном подручју измерени **садржаји антимона** су већи од ремедијационе вредности. Садржаји антимона нижи од границе детекције утврђени су плавној зони у профилима 13/018, 14/018 и 17/018, затим на делом плављеним површинама у профилима 15/018, 19/018 и 20/018, и у неплављеним профилима 11/018, 16/018 и 18/018. У неплављеном профилу 2/018 (смеђе земљиште на кречњаку са површинским алохтоним слојем) садржаји антимона су знатно већи од ремедијационих као и за арсен, што је вероватно последица раније нанетог алохтоног слоја и депозиције ових металоида услед рудничких активности независно од поплава 2014. године. На слици 14, уочава се да се садржаји антимона значајно смањују од флотацијске јаловине дуж проучаваног подручја.

Измерени **садржаји живе** већи су од граничне вредности у профилима плављеног подручја: профил 1/018, површинском слоју 3/018, профилу 4/018 ($0-20 \text{ cm}$), профилу 6/018 ($0-20 \text{ cm}$), профилу 7/018 ($0-20 \text{ cm}$), профил 9/018, профил 10/018, као и делимично плављеном подручју профил 5/018 и профил 12/018 ($0 - 10 \text{ cm}$). Концентрације живе у профилима отвореним у неплављеном подручју значајно су ниже од граничних. На слици 15, види се да су највеће концентрације живе у делу одмах испод флотацијске јаловине дуж тока потока Костајник.

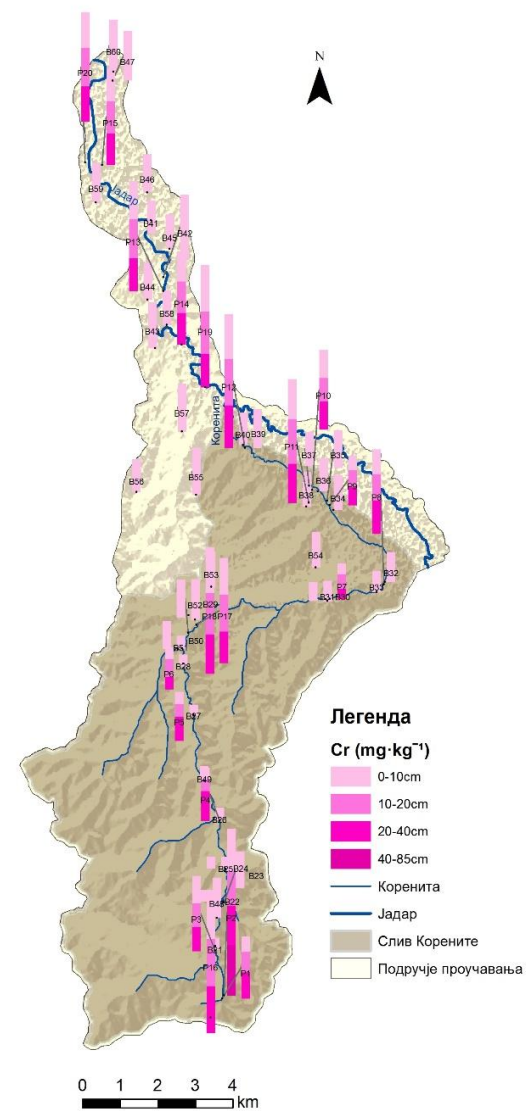




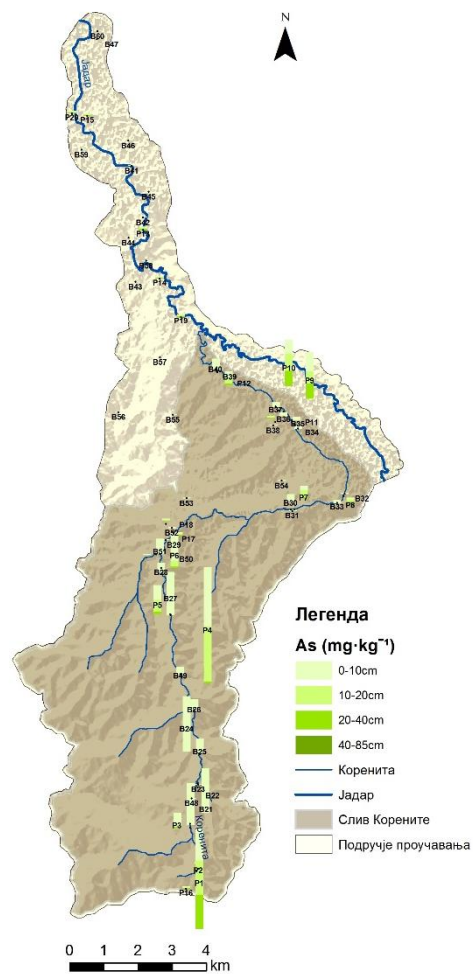
Слика 10: Садржај бакра у проучаваним земљиштима



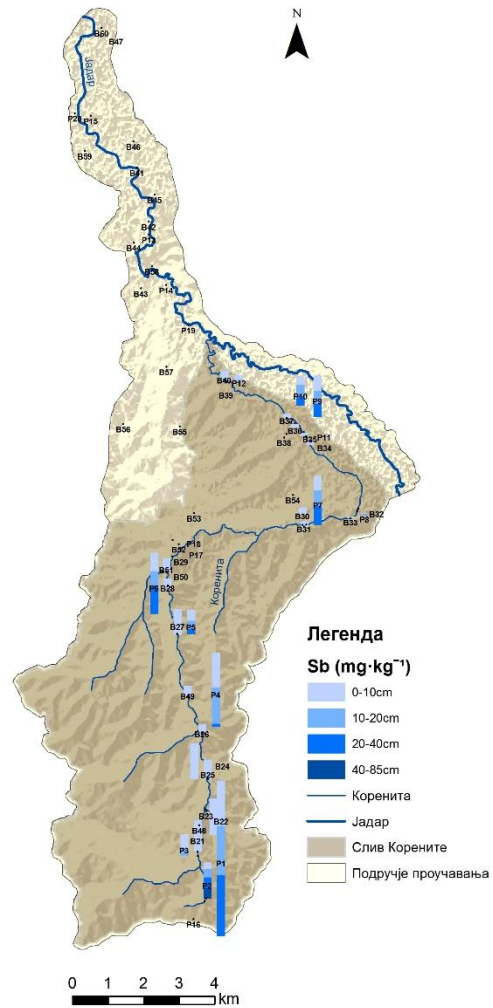
Слика 11: Садржај никла у проучаваним земљиштима



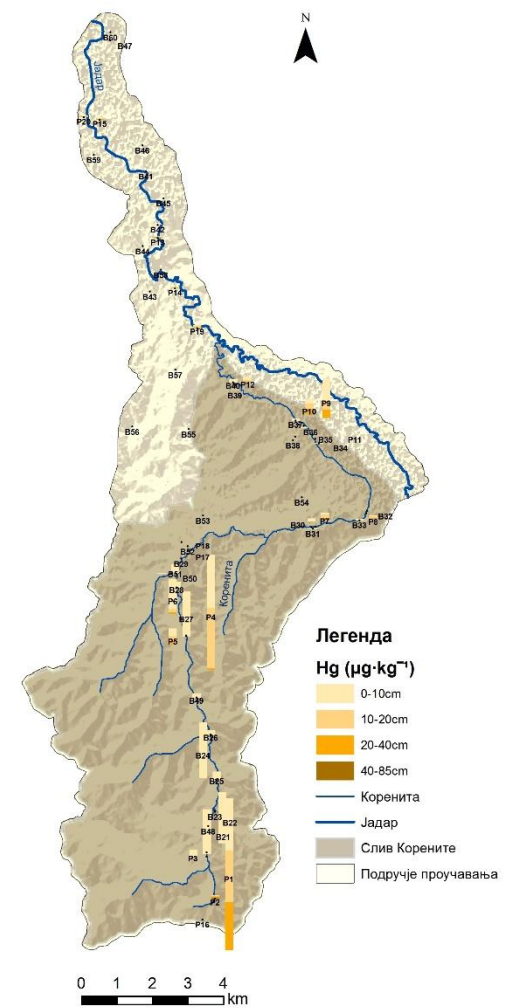
Слика 12: Садржај хрома у проучаваним земљиштима



Слика 13: Садржај арсена у проучаваним земљиштима



Слика 14: Садржај антимона у проучаваним земљиштима



Слика 15: Садржај живе у проучаваним земљиштима

Садржаји тешких метала/металоида у пратећим површинским узорцима земљишта

Садржаји микроелемената у помоћним површинским узорцима земљишта приказани су у табели 8. Узорци су узети у плављеној зони (где се види мешање са јаловинским материјалом) или у неплављеној зони, и само 2 узорка су узоркована на очишћеном или делимично плављеном терену.

У површинским слојевима плављеног и неплављеног проучаваног подручја измерени садржаји Zn, Pb, Cr, Cd, As, Sb, Hg се статистички значајно разликују ($p < 0,01$, табела 8), као и Cu ($p < 0,05$), док се садржаји Ni статистички не разликују.

Ово јасно указује на оптерећење земљишног површинског слоја јаловинским материјалом, јер су у плављеном подручју у свим површинским узорцима земљишта измерене веће вредности за Zn, Pb, Cd, As, Sb и Hg у односу на неплављене узорке. Садржаји Cr и Ni у површинским слојевима проучаваних земљишта већи су у неплављеном у односу на плављено подручје и ниже су од граничне вредности.

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Zn крећу се од 50,3 – 1999,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ у плављеној зони док је у неплављеној 44,3 – 98,8 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Измерени садржаји цинка у неплављеној зони су испод граничне вредности, док у плављеној зони у 79% од мерених узорака вредности су веће од граничне вредности.

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Cu крећу се од 11,4 – 30,5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ у плављеној зони и у неплављеној 7 – 30,2 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, и све су ниже од граничне вредности.

Табела 8: Садржај микроелемената у површинским слојевима

Ред Бр.	Површ.слој	Zn**	Cu*	Pb**	Ni ^(ns)	Cr**	Cd**	As**	Sb**	Hg**
		mg·kg ⁻¹								µg·kg ⁻¹
Плављено										
1	B21/018	1305,49	19,37	324,81	14,60	8,64	8,39	3497,52	1035,40	6369,95
2	B22/018	1975,93	18,91	346,72	13,46	8,58	10,18	3794,54	1185,29	7248,94
3	B24/018	1999,87	20,77	378,56	12,94	8,76	11,26	4640,69	1149,26	7932,09
4	B26/018	369,25	13,53	131,50	15,16	9,18	2,32	929,12	286,04	623,12
5	B27/018	1236,38	16,42	310,61	12,09	7,97	8,62	3645,82	851,47	6406,69
6	B28/018	359,23	12,79	113,40	14,38	8,76	2,39	827,92	327,30	847,94
7	B30/018	235,83	15,64	90,84	16,97	13,80	1,51	622,98	243,66	446,84
8	B31/018	74,30	12,40	38,33	15,71	15,12	0,48	129,68	171,69	100,22
9	B33/018	161,63	14,69	57,06	17,55	15,55	0,98	291,99	59,33	217,39
10	B34/018	143,45	22,69	75,64	28,01	25,14	0,67	270,77	104,04	133,77
11	B35/018	150,52	20,55	76,02	25,65	26,97	0,76	283,09	107,37	127,48
12	B36/018	178,57	21,96	84,92	25,26	24,10	0,89	361,48	103,37	160,04
13	B37/018	196,05	19,83	80,49	24,74	24,70	1,03	370,17	139,61	287,33
14	B40/018	343,51	23,85	148,93	24,22	23,60	2,02	965,84	307,62	588,63
15	B42/018	50,33	11,40	15,26	24,16	46,58	0,16	64,00	0,00	213,77
16	B49/018	368,28	13,36	161,65	16,07	10,79	2,08	628,79	346,22	639,62
17	B51/018	484,77	12,84	153,62	13,84	9,18	3,02	1315,14	423,50	1245,49
18	B58/018	71,63	17,72	24,32	23,56	24,91	0,14	52,00	0,00	10,83
19	B60/018	96,82	30,56	37,90	60,26	37,49	0,16	82,64	0,00	29,17
Неплављено										
20	B23/018	86,14	19,58	28,19	26,15	26,28	0,26	85,33	0,00	43,71

21	B29/018	61,72	11,68	27,12	18,82	27,17	0,23	85,97	0,00	26,88
22	B32/018	75,40	15,14	43,21	20,73	21,57	0,39	122,67	0,00	37,25
23	B38/018	55,59	12,96	18,44	16,70	24,88	0,32	57,65	0,00	1,49
24	B39/018	76,33	17,91	30,38	28,16	28,15	0,35	103,66	0,00	44,82
25	B41/018	70,52	18,31	25,38	24,36	23,60	0,14	67,65	0,00	65,74
26	B43/018	57,46	12,54	20,90	19,81	33,23	0,21	61,32	0,00	42,77
27	B44/018	50,41	9,74	14,77	16,39	26,76	0,06	51,97	0,00	23,41
28	B45/018	70,80	18,22	20,58	23,30	24,48	0,10	65,29	0,00	93,73
29	B46/018	75,42	19,39	23,96	25,03	27,23	0,11	70,30	0,00	96,01
30	B47/018	98,75	30,21	38,64	52,67	35,90	0,19	74,64	0,00	55,52
31	B48/018	70,37	15,02	21,14	21,25	28,89	0,00	76,66	0,00	29,27
32	B50/018	44,96	11,89	32,78	20,18	19,93	0,16	64,31	0,00	58,36
33	B52/018	44,35	10,94	24,09	19,90	29,36	0,00	93,67	0,00	10,38
34	B53/018	61,27	13,23	12,95	19,17	25,55	0,00	60,34	0,00	0,00
35	B54/018	54,66	10,01	18,15	16,92	25,69	0,02	73,32	0,00	0,00
36	B55/018	49,32	15,90	18,52	19,35	34,03	0,00	50,66	0,00	0,00
37	B56/018	49,66	13,16	11,19	22,92	23,60	0,00	78,68	0,00	0,00
38	B57/018	48,72	7,82	20,39	12,65	34,42	0,11	67,99	0,00	0,00
Очишћено или делом плављено										
39	B25/018	599,87	19,13	186,84	15,22	9,12	4,66	1336,00	649,01	1300,12
40	B59/018	82,72	21,96	25,19	31,51	28,52	0,08	62,69	0,00	43,69

Т тест за плављено и неплављено: *- $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$, ns - нема значајних разлика

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Pb крећу се од 15,3 – 378,6 mg·kg⁻¹ у плављеној зони док су садржаји олова у неплављеној у рангу 11,2 – 43,2 mg·kg⁻¹. Измерени садржаји Pb у неплављеној зони су испод граничне вредности, док у плављеној зони у 58% од мерених узорака вредности су веће од граничне вредности.

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Ni крећу се од 12,1 – 60,3 mg·kg⁻¹ у плављеној зони и само у узорку B60/018 вредност Ni је већа од граничне вредности. Садржаји Ni у неплављеној зони крећу се 12,6 – 52,7 mg·kg⁻¹, а вредност већа од граничне вредности је само у узорку B47/018.

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Cr крећу се од 7,9 – 46,6 mg·kg⁻¹ у плављеној зони и у неплављеној 19,9 – 35,9 mg·kg⁻¹, и све су ниже од граничне вредности.

Измерене вредности у површинским слојевима земљишта за Cd крећу се од 0,14 – 11,26 mg·kg⁻¹ у плављеној зони, где у 68,4% од укупно мерених узорака садржаји кадмијума су већи од граничне вредности. У неплављеној зони у површинским слојевима земљишта измерени садржаји кадмијума су у неким узорцима на граници детекције до 0,387 mg·kg⁻¹, и нижи су од граничне вредности.

Садржаји арсена у површинским узорцима плављене зоне у свим узорцима су већи од ремедијационе вредности сем у случају B58/018, где је измерена и најнижа вредност 51,9 mg·kg⁻¹, а максимална измерена вредност износи 4.640,7 mg·kg⁻¹. И у неплављеној зони садржаји арсена су већи од ремедијационе вредности сем у два узорка (B55/018 и B44/018) где су већи од граничне вредности. Концентрације арсена се крећу у распону 50,6 – 122,7 mg·kg⁻¹.

Садржаји антимона у узорцима плављене зоне су већи од ремедијационе вредности сем у три случаја где су испод границе детекције (B42/018, B58/018 и B60/018), а концентрације за остале узорке се крећу од 59,3 – 1185,3 mg·kg⁻¹. У неплављеној зони у свим узорцима садржаји антимона су испод границе детекције.

Садржаји живе у узорцима плављене зоне су већи од граничне вредности у 52,6% узорака и концентрације се крећу од 0,01 – 7,93 mg·kg⁻¹. У неплављеној зони у свим узорцима садржаји живе су нижи од граничне вредности и крећу се у концентрацијама које су испод границе детекције до 0,096 mg·kg⁻¹.

4.5.2. Анализа порекла тешких метала и металоида у проучаваним земљиштима

У циљу утврђивања порекла метала у површинском слоју земљишта утврђена је корелациона веза између проучаваних елемената и факторска анализа (Statgraphics ver. 16.1.11) са varimax ротацијом, за проучавана земљишта.

Приказана је корелација (анализа Pearson коефицијента) између садржаја укупних тешких метала и металоида и неких својстава земљишта (табела 9).

Табела 9. Матрица корелација између садржаја укупних тешких метала и металоида у земљиштима и неких својстава земљишта плављеног подручја

	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg	pH	хумус	лакопр. Р	лакоп. К
Zn	1	,24	,95**	-,46*	-,58**	,99**	,97**	,94**	,97**	,065	-,64**	,89**	-,42*
Cu		1	,35	,46**	,21	,24	,17	,30	,26	,04	,14	,27	,12
Pb			1	-,48**	-,62**	,97**	,94**	,97**	,96**	,13	-,63**	,91**	-,41*
Ni				1	,77**	-,50**	-,48**	-,53**	-,46*	-,01	,51**	-,50**	,35
Cr					1	-,62**	-,60**	-,65**	-,57**	-,18	,65**	-,62**	,33
Cd						1	,98**	,96**	,99**	,09	-,67**	,93**	-,40*
As							1	,92**	,97**	,08	-,67**	,91**	-,39*
Sb								1	,95**	,12	-,64**	,92**	-,44*
Hg									1	,06	-,67**	,91**	-,37*
pH										1	-,06	,14	,07
хумус											1	-,59**	,42*
лакопр. Р												1	-,24
лакопр. К													1

Ниво значајности * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

Плављено подручје захватају алувијална земљишта слабо до умерено алкална, изложена повременим променама хидролошког режима а што утиче на процесе у земљишту. У литератури се наводи да се у алувијалним земљиштима повећава садржај метала, и да се њихова акумулација повећава са смањењем пречника честица наноса као и да на њихово понашање утиче садржај органске материје, хидроксиди гвожђа и мангана као и редокс потенцијал (Kobierski, 2015). Oprea et al., (2010) наводе да су у околини извора загађења (топионице и рудници) на удаљености 25-30 km земљишта контаминирани високим концентрацијама метала и металоида. У земљиштима плављене зоне, где је нанета флотацијска јаловина, утврђена је веома значајна корелација између Zn-Pb (0,95**), Zn-Cd (0,99**), Zn-As (0,97**), Zn-Sb (0,94**), Zn-Hg (0,97**), затим Pb-Cd (0,97**), Pb-As (0,94**), Pb-Sb (0,97**), Pb-Hg (0,96**), Cd-As (0,98**), Cd-Sb (0,96**), Cd-Hg (0,99**), као и As-Sb (0,92**), As-Hg (0,97**), и Sb-Hg (0,95**). Утврђена је статистички значајна корелација између Ni и Cr (0,77**), док са другим елементима Ni и Cr имају значајну негативну корелацију. У плављеним земљиштима нема статистички значајне корелације између

елемената и рН – вредности, док садржај хумуса има значајну позитивну корелацију са Ni и Cr, са баком и лакоприступачним калијумом нема, и значајну негативну корелацију са осталим проучаваним елементима. Лакоприступачни фосфор има статистички значајну корелацију са Zn, Pb, Cd, As, Sb и Hg, док је са Ni и Cr има негативну корелацију, што указује да на садржај фосфора поред ђубрења, велики утицај има и исталожена јаловина. Високе концентрације фосфора имају значајну улогу у имобилизацији арсена (Чакмак и сар., 2016)

Табела 10. Матрица корелација између садржаја укупних тешких метала и металоида у земљиштима и неких својстава земљишта неплављеног подручја

	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg	pH	хумус	лакопр. P	лакопр. K
Zn	1	,86**	,58**	,80**	,21	,44*	,36	,17	,56**	-,23	,25	-,16	-,08
Cu		1	,48*	,93**	,29	,27	,18	,17	,57**	-,17	,10	-,22	,15
Pb			1	,51*	-,08	,67**	,57**	,01	,46*	,31	,25	-,04	-,25
Ni				1	,37	,22	,20	,12	,44*	-,15	,22	-,17	,09
Cr					1	-,17	-,15	,11	-,16	-,11	,26	,19	,36
Cd						1	,51*	,14	,31	,11	,01	,28	-,08
As							1	,42*	,17	,30	-,24	-,27	-,02
Sb								1	,2	-,23	-,05	-,19	,04
Hg									1	-,16	,15	-,21	-,10
pH										1	-,18	,17	,04
хумус											1	,12	-,15
лакопр. P												1	,12
лакопр. K													1

Ниво значајности *p<0,05 ** p<0,01

У неплављеним земљиштима, за разлику од плављених утврђена је статистички значајна разлика између Zn-Cu (0,86**), као и позитивна и значајна корелација Zn-Ni (0,80**), затим са Zn-Pb (0,58**), Zn-Hg (0,56**), Zn-Cd (0,44*), док са Cr, As, Sb нема (табела 10). Садржај бакара у земљиштима плављене зоне има високу статистички значајну корелацију са Cu-Ni (0,93**), Cu-Hg (0,57**), и са оловом на 95% значајности Cu-Pb (0,48*). Такође, утврђена је и корелација између Ni-Pb (0,51*), Cd-Pb (0,67**), Pb-As (0,57**), As-Cd (0,51*), As-Sb (0,42*), Hg-Pb (0,46*), Hg-Ni (0,44*) и Sb-As (0,42*). Између садржај хумуса и рН – вредности, лакоприступачног фосфора и калијума и проучаваних тешких метала и металоида нема статистички значајне корелације

Интеракције између микроелемената у земљиштима плављених и неплављених зона проучаваног подручја значајно се разликују, а што је пре свега условљено наносом из јаловинског материјала, услед поплава 2014. године. Високе концентрације Zn, Pb, Cd, As, Sb, Hg у земљиштима плављене зоне и значајне статистичке корелације између ових елемената указују на њихово заједничко порекло а тиме и приступачност. Adriano (2001) наводи да се кадмијум у карбонатним земљиштима (рН- 8,4) везује у облику CdCO₃ и Cd₃(PO₄)₂, као и да је смањена његова биоприступачност у условима плављења. Такође, при

вишим pH – вредностима смањује се приступачност тешких метала, а у проучаваним земљиштима нема статистички значајне корелације елемената са pH – вредностима. Органска материја има велики ефекат на специјалну адсорпцију, али у плављеним алувијалним земљиштима хумус са Zn, As, Pb, Sb, Cd има значајну али негативну корелацију док са Ni и Cr има позитивну. У литератури се наводи геолошка повезаност цинка са баком, што је изражено у случају неплављених површина. Антимон и арсен показују слично биохемијско понашање, а њихове лабилне форме углавном се везују за Fe, Al и Mn хидроксиде (Oprea, et al., 2010). Важно је одређивање облика везивања арсена и антимона у земљишту због различитих нивоа токсичности. Антимон је у загађеним индустријским областима углавном у неприступачним облицима и више од 90% (Oprea, et al., 2010). Према истраживањима Yang, et al., (2015), мале количине антимона се налазе у мобилим фракцијама (изменљиви облици) и углавном је заступљен у резидуалној фракцији, док је арсен у већој количини од антимона заступљен у мобилној фракцији, и углавном се налази везан за Fe-оксиде и у резидијуму. Şakmak, et al. (2015) наводе да се садржаји арсена у земљиштима у околини рудника у Западној Србији (Лиса) углавном налазе у резидуалној фракцији и у фракцији везани за оксиде мангана, док је мобилна фракција заступљена са < 1%. Такође, наводе да је резидуална фракција арсена пореклом из седиментних стена, што наводи и Adriano (2001). Арсен, поред индустријских активности, антропогено у животну средину доспева и уносом пестицида и хербицида (Adriano, 2001). Растворљиви облици антимона посебно Sb (V) се адсорбују у условима киселе реакције и у оксидационим условима (Oprea, et al., 2010). Према наводима Tschan et al. (2009) антимон и арсен се не усвајају и транспортују у биљке на исти начин уз изузетак усвајања када су у оксидационом стању V. Просечан биоакумулациони коефицијент за антимон је 0,0022 Tschan et al. (2009). Fu et al., (2011) наводе да биолошка приступачност антимона знатно нижа од приступачности арсена и живе. Слично олову и живи антимон се може и прекогранично транспортовати као ваздушни загађивач, али локалне емисије антимона имају већи значај.

Са циљем да се дефинише структура зависности садржаја тешких метала и металоида у проучаваним земљиштима у односу на јаловински нанос као и фактори са највећим утицајем на концентрацију тешких метала и металоида у оквиру факторске анализе коришћене су следеће варијабле: садржај Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd, As, Sb и Hg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) у слоју од 0-10 cm дубине за плављено и неплављено подручје.

На основу резултата факторске анализе варијабле се групишу око два фактора који дефинишу 92,148% (плављено) и 92,538% (неплављено) кумулативне варијансе (табела 11).

Фактори су изабрани критеријумом карактеристичне вредности (карактеристична вредност ≥ 1) и комбиновано са критеријумом процента укупне објашњене укупне варијансе.

Табела 11: Параметри факторске анализа

Фактор	плављено			неплављено		
	Карактеристична вредност (Eigenvalue)	Варијанса %	Кумулативна варијанса %	Карактеристична вредност (Eigenvalue)	Варијанса %	Кумулативна варијанса %
1	6,6	73,34	73,34	6,37	70,8	70,8
2	1,69	18,81	92,15	1,96	21,74	92,54
3	0,4	4,48	96,63	0,49	5,4	97,94
4	0,19	2,14	98,77	0,09	0,95	98,89
5	0,04	0,48	99,24	0,07	0,74	99,62
6	0,03	0,33	99,57	0,02	0,2	99,82
7	0,02	0,24	99,81	0,01	0,1	99,92
8	0,02	0,18	99,99	0	0,05	99,97
9	0	0,01	100	0	0,03	100

Први фактор (**F1**) за плављену зону описује 73,340% укупног варијабилитета, а за неплављену зону описује 70,802% варијабилитета, и оба случаја обухвата варијабле: Zn, Pb, Cd, As, Sb и Hg (табела 12). Овај фактор се може описати као утицај антропогеног фактора на садржаје проучаваних елемената у земљишту. Високо негативно факторско оптерећење за Ni (-0,41) и Cr (-0,58) у плављеној зони и за Cr (-0,70) у неплављеној издваја се у оквиру овог фактора али указује на другачије порекло ових елемената. Овај фактор објашњава антропогени утицај вишедеценијских рударских активности као и утицај флотацијске јаловине.

Други фактор (**F2**) придружује 18,808% укупног варијабилитета у плављеној зони и као своје компоненте укључује: Cu, Ni и Cr, а у неплављеној зони 21,736% варијабилитета и укључује варијабле: Cu и Ni (табела 12). Реч је о фактору који објашњава делом геолошки утицај а делом утицај других антропогених активности. Ова анализа као и матрица корелација указују да су Cu, Ni и Cr пореклом из других извора у односу на остале проучаване елементе. У ранијим истраживањима на подручју Зајаче које није обухватило Столице (Институт за земљиште, 2015) утврђено је да су Cu, Ni, Cr и Zn а у већини узорака и Cd условљени геолошким пореклом. Свакако Cu, Ni и Cr нису пореклом из јаловинског материјала, а на овом подручју Столица где су флотацијска јаловина и активности у руднику имали велики утицај на стање у земљишту и пре изливања јаловине.

Варијабла са највећим комуналитетом у плавној зони је је **Cd** (0,99), а у неплављеној **As** (0,99) (табела 13).

Табела 12. Резултати факторске анализе и расподела факторских оптерећења након варимах ротације

	плављено		неплављено	
	Фактор		Фактор	
	1	2	1	2
Zn	0,97	-0,1	0,99	0,09
Cu	0,39	0,83	0,18	0,96
Pb	0,99	-0,06	0,98	0,08
Ni	-0,41	0,84	-0,17	0,97
Cr	-0,58	0,66	-0,70	0,3
Cd	0,99	-0,13	0,99	-0,01
As	0,96	-0,15	0,99	-0,03
Sb	0,97	-0,13	0,96	0
Hg	0,98	-0,08	0,99	0,03

Табела 13. Комуналитет и специфична варијанса варијабли

варијабла	Плављено		Неплављено	
	Процењен комуналитет	Специфична варијанса	Процењен комуналитет	Специфична варијанса
Zn	0,96	0,04	0,99	0,01
Cu	0,85	0,15	0,95	0,05
Pb	0,98	0,02	0,97	0,03
Ni	0,88	0,12	0,96	0,04
Cr	0,77	0,23	0,58	0,42
Cd	0,99	0,01	0,99	0,01
As	0,94	0,06	0,99	0,01
Sb	0,96	0,04	0,92	0,08
Hg	0,96	0,04	0,99	0,01

4.5.3. Индекси загађења

Анализирани су појединачни фактор загађења (PI), индекс оптерећења екосистема (PLI), Немеров индекс загађења (PI_N), појединачни индекс еколошког ризика (E_r), укупни потенцијални еколошки ризик (RI) и геоакумулациони индекс (I_{geo}) (слике 16 - 20).

Појединачни индекс загађења (PI)

На проучаваном подручју, средње вредности појединачних фактора загађења (PI) се смањују редоследом $Sb > As > Hg > Zn > Cd > Pb > Cu > Cr > Ni$. У табели 14, је приказано којој класи загађења припадају средње вредности овог индекса за сваки метал.

Табела 14. Класе загађења према PI индексу

Класа	Вредност PI	Степен загађења	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
1	PI < 1	Незагађено		*		*	*				
2	1 < PI < 2	Слаби степен загађења			*						
3	2 < PI < 3	Умерени степен загађења	*					*			
4	3 < PI < 5	Велики степен загађења									*
5	PI > 5	Врло велики степен							*	*	

PI вредности појединачног фактора загађења се крећу у опсегу од 0,43 до 19,21 са средњом вредношћу од 2,98 за Zn, у опсегу од 0,32 до 1,5 са средњом вредношћу од 0,71 за Cu, од 0,17 до 7,08 са средњом вредношћу 1,39 за Pb, од 0,37 до 1,86 са средњом вредношћу од 0,67 за Ni, од 0,25 до 1,45 са просеком 0,7 за Cr, од 0 до 16,04 са просеком од 2,54 за Cd, од 2,12 до 206,53 са просеком од 29,85 за As, од 0 до 244,63 са просеком 36,56 за Sb, и од 0 до 30,21 са просеком 3,95 за Hg.

У табели 15, приказане су минималне, максималне, средње и вредности стандардне девијације PI индекса, као и процентуално учешће класа загађења у односу на укупан број проучаваних узорак.

Табела 15. Вредности PI индекса према класама загађења

	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
Min	0.43	0.32	0.17	0.37	0.25	0.00	2.12	0.00	0.00
Max	19.21	1.50	7.08	1.86	1.45	16.04	206.53	244.63	30.21
Mean	2.98	0.71	1.39	0.67	0.70	2.54	29.85	36.56	3.95
SD	4.46	0.21	1.62	0.26	0.29	4.17	49.29	59.04	8.23
	%								
PI < 1	56.7	93.3	61.7	95.0	83.3	60.0	0.0	53.3	65.0
1 < PI < 2	11.7	6.7	15.0	5.0	16.7	8.3	0.0	0.0	6.7
2 < PI < 3	3.3	0.0	11.7	0.0	0.0	6.7	26.7	0.0	6.7
3 < PI < 5	13.3	0.0	5.0	0.0	0.0	10.0	26.7	1.7	8.3
PI > 5	15.0	0.0	6.7	0.0	0.0	15.0	46.7	45.0	13.3
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Вредности PI индекса су високе у узорцима који су били под утицајем плављења, што је нарочито уочљиво код Sb, чије вредности PI индекса припадају само класи врло јаког степена загађења, 45%. У прву класу, незагађеном земљишту припада 53,3 % узорак, тј. сви они локалитети где није дошло до плављења, или је садржај Sb испод граница детекције. Сличне резултате показују и концентрације As, где се највећи проценат проучаваних узорак налази у зони плављења и припада класи врло великог загађења. Узорци у ужој зони плављења у сливу реке Корените, као и профили у долини Јадра низводно од ушћа Корените у Јадар, показују високе вредности PI индекса за Hg –класа великог степена загађења, Zn и Cd – класа умереног степена загађења овим елементима. Узорци који су били делимично плављени или ван зоне плављења припадају класама слабог загађења или незагађеном подручју. Елементи Cu, Ni и Cr имају ниске концентрације, чије вредности PI индекса показују да је земљиште незагађено овим елементима, док средње вредности PI индекса сврставају ово подручје у класу слабог степена загађења овим елементом.

Индекс оптерећења екосистема (PLI)

Индекс оптерећења екосистема загађењем представља значајан показатељ погоршања стања екосистема. Вредности PLI индекса (табела 16) на проучаваном подручју се крећу од минималних 0,09 што припада класи 1, тј. земљиште доброг квалитета, до максималних 20,47 са средњом вредношћу од 4,19, обе вредности у класи загађеног земљишта.

Табела 16 – Класификација степена загађења према PLI индексу

Класа	Вредност PLI	Статус загађења	% од укупног броја узорак
1	$PLI < 1$	Степен незагађености	53,33
2	$PLI = 1$	Граница загађења земљишта	0
3	$PLI > 1$	Степен погоршања квалитета земљишта	46,67
			$\Sigma = 100$

Класе загађења земљишта према вредностима PLI индекса показују да скоро подједнако учешће у укупном броју узорак припада првој и трећој класи, тј. 53,33 % припада подручју које није означено као загађено, док 46,67% показује да су анализирани узорци узети са локалитета који припадају земљишту погоршаног квалитета.

Немеров индекс загађења (PI_N)

Немеров заједнички индекс загађења показује врло високе вредности. Минимална вредност овог индекса је 1,55 што припада класи 3, тј. подручју слабог загађења. Средња и максимална вредност овог индекса налазе се у последњој класи, тј. подручју озбиљног загађења и износе 28,26 односно 176,17. Разлог високих вредности овог индекса јесу високе концентрације Zn, Pb, Cd и Hg у великом броју узорак, као и високе концентрације As и Sb у свим анализираним узорцима, а самим тим и високим вредностима појединачног фактора загађења (PI). У табели 17, су дате класе заједничког индекса загађења PI_N , као и процентуално учешће класа загађења у односу на укупан број узорак. Према Немеровом индексу загађења ниједан узорак не припада подручју без загађења или подручју предострожности, а чак 51,76% узорак припада класи озбиљног загађења.

Табела 17. Класификација загађења земљишта према интегрисаном Немеровом индексу

Класа	Вредност PI_N	Квалитет земљишта	% од укупног броја узорак
1	$PI_N < 0.7$	Подручје без загађења	0.00
2	$0.7 < PI_N < 1$	Домен предострожности	0.00
3	$1 < PI_N < 2$	Подручје слабог загађења	18.33
4	$2 < PI_N < 3$	Подручје умереног загађења	30.00
5	$PI_N > 3$	Подручје озбиљног загађења	51.67
			$\Sigma = 100$

Појединачни индекс еколошког ризика (E_r)

На проучаваном подручју, средње вредности индекса еколошког ризика (E_r) се смањују редоследом $Sb > As > Hg > Cd > Pb > Cu > Ni > Zn > Cr$ (слика). У табели 18 је приказано којој класи загађења припадају просечне вредности овог индекса за сваки метал.

Табела 18. Класификација загађења земљишта према средњим вредностима E_r индекса за сваки елемент

Класа	Вредност E_r	Степен загађења	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
1	$E_r < 40$	Низак еколошки ризик	*	*	*	*	*				
2	$40 < E_r < 80$	Умерен еколошки ризик						*			
3	$80 < E_r < 160$	Значајан еколошки ризик									*
4	$160 < E_r < 320$	Висок еколошки ризик							*		
5	$E_r > 320$	Врло висок еколошки ризик								*	

E_r вредности се крећу у опсегу од 0,43 до 19,21 са средњом вредношћу од 2,98 за Zn, у опсегу од 1,6 до 7,48 са средњом вредношћу од 3,56 за Cu, од 0,85 до 35,41 са средњом вредношћу од 6,94 за Pb, од 1,95 до 9,28 са средњом вредношћу од 3,34 за Ni, од 0,49 до 2,91 са просеком од 1,39 за Cr, од 0,14 до 481,22 са просеком од 76,25 за Cd, од 21,20 до 2065,34 са просеком од 298,45 за As, од 0 до 3669,43 са просеком 548,39 за Sb, и од 0 до 1208,34 са просеком 158,03 за Hg.

У табели 19, су дате минималне, максималне, средње и вредности стандардне девијације индекса еколошког ризика E_r за сваки елемент, као и процентуално учешће појединих класа потенцијалног еколошког ризика на проучаваном подручју.

Табела 19. Вредности E_r индекса према класама загађења

	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
Min	0.43	1.60	0.85	1.85	0.49	0.14	21.20	0.00	0.00
Max	19.21	7.48	35.41	9.28	2.91	481.22	2065.34	3669.43	1208.34
Mean	2.98	3.56	6.94	3.34	1.39	76.25	298.45	548.39	158.03
SD	4.46	1.07	8.08	1.30	0.58	125.11	492.90	885.57	329.10
%									
$E_r < 40$	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	63.33	48.33	53.33	65.00
$40 < E_r < 80$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33	10.00	1.67	6.67
$80 < E_r < 160$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.33	10.00	1.67	10.00
$160 < E_r < 320$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	5.00	5.00	5.00
$E_r > 320$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	26.67	38.33	13.33
Σ	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Појединачне вредности E_r индекса показују да Cd и Hg имају учешћа од око 28% у класама од значајног до врло високог еколошког ризика, док As и Sb имају велико учешће тј. 41,7% односно 45% у класама од значајног до врло високог еколошког ризика, а самим тим и у индексу укупног еколошког ризика (RI).

Укупни потенцијални еколошки ризик (RI)

Укупни потенцијални индекс еколошког ризика RI се користи како би се ближе дефинисао степен контаминације земљишта анализираним елементима. Представља збир појединачних индекса еколошког ризика. У табели 20, дате су класе потенцијалног еколошког ризика (Håkanson, 1980).

Табела 20. Класе потенцијалног еколошког ризика

Класа	Вредност RI	Степен загађења	% од укупног броја узорака
1	$RI < 65$	Низак еколошки ризик	37
2	$65 < RI < 130$	Умерен еколошки ризик	17
3	$130 < RI < 260$	Значајан еколошки ризик	2
4	$RI > 260$	Врло висок еколошки ризик	45
			$\Sigma = 100$

Вредности укупног потенцијалног еколошког ризика показују да 17% проучаваних узорака припада класи умереног еколошког ризика, 2% припада класи значајног, док 45% припада класи врло високог еколошког ризика што је у сагласности са PLI индексом, који има исти проценат у класи погоршања квалитета земљишта, док се према Немеровом индексу, сви узорци налазе у некој од класа које показују извешан степен загађења. У ранијим истраживањима на подручју Зајаче (Институт за земљиште, 2015) утврђен је такође, висок еколошки ризик у 50 % узорака и 27% високог ризика, где примарну улогу имају Pb, As и Sb. У овом пројекту аутори су закључили да је загађење условљено скоро искључиво антропогеним фактором, односно утицајем топионице и депонија јаловине.

Геоакумулациони индекс (I_{geo})

Средње вредности геоакумулационог индекса опадају следећим редоследом од веома јако загађеног до незагађеног земљишта $Sb > As > Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Cd > Hg$. У табели 21 је приказано којој класи загађења припадају просечне вредности овог индекса за сваки метал.

Табела 21. Класификација загађења земљишта према средњим вредностима I_{geo} индекса за сваки елемент.

Класа	Вредност I_{geo}	Степен загађења	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
1	$I_{geo} < 0$	Незагађено	*	*	*	*	*	*		*	*
2	$0 < I_{geo} < 1$	Незагађено до умерено загађено									
3	$1 < I_{geo} < 2$	Умерено загађено									
4	$2 < I_{geo} < 3$	Умерено до јако загађено							*		
5	$3 < I_{geo} < 4$	Јако загађење									
6	$4 < I_{geo} < 5$	Јако до веома јако загађење									
7	$I_{geo} > 5$	Веома јако загађење								*	

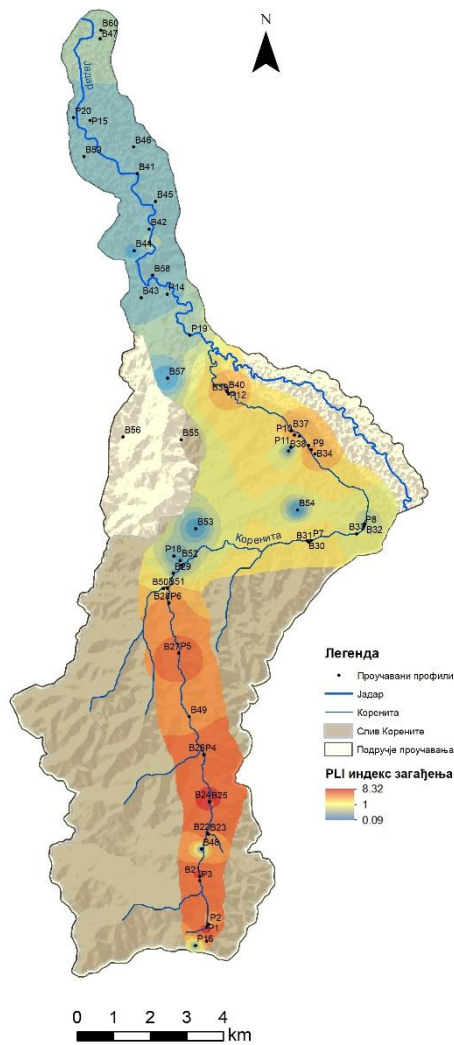
I_{geo} вредности се крећу у опсегу од -1,82 до 3,68 са средњом вредношћу од -0,07 за Zn, у опсегу од -2,22 до 0 са средњом вредношћу од -1,13 за Cu, од -3,15 до 2,24 са средњом вредношћу -0,91 за Pb, од -2,02 до 0,31 са средњом вредношћу од -1,25 за Ni, од -2,6 до -0,05 са просеком -1,27 за Cr, од -8,3 до 3,42 са просеком од -1,46 за Cd, од 0,5 до 7,11 са просеком од 2,69 за As, од 1,05 до 7,35 са просеком 5,13 за Sb, и од -16,85 до 4,33 са просеком -2,41 за Hg.

У табели 22, су дате минималне, максималне, средње и вредности стандардне девијације I_{geo} индекса, као и процентуално учешће класа загађења у односу на укупан број проучаваних узорака.

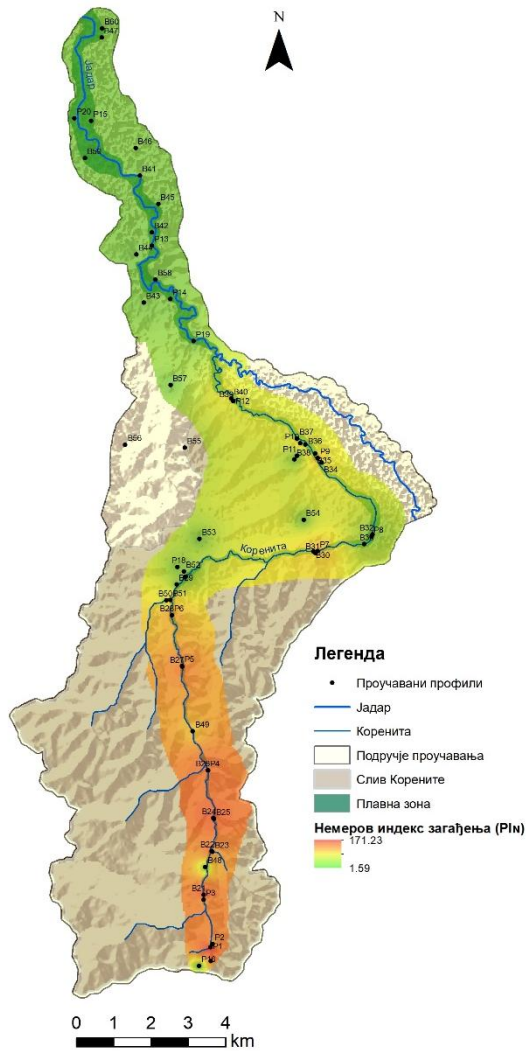
Табела 22. Вредности I_{geo} индекса према класама загађења

	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd	As	Sb	Hg
Min	-1.82	-2.22	-3.15	-2.02	-2.60	-8.30	0.50	1.05	-16.85
Max	3.68	0.00	2.24	0.31	-0.05	3.42	7.11	7.35	4.33
Mean	-0.07	-1.13	-0.91	-1.25	-1.27	-1.46	2.69	5.13	-2.41
SD	1.59	0.42	1.47	0.47	0.73	3.05	2.08	1.43	5.14
%									
$I_{geo} < 0$	61.67	100.00	70.00	96.67	100.00	68.33	0.00	0.00	68.33
$0 < I_{geo} < 1$	10.00	0.00	18.33	3.33	0.00	6.67	26.67	0.00	10.00
$1 < I_{geo} < 2$	16.67	0.00	10.00	0.00	0.00	11.67	30.00	3.57	8.33
$2 < I_{geo} < 3$	3.33	0.00	1.67	0.00	0.00	5.00	5.00	3.57	0.00
$3 < I_{geo} < 4$	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	8.33	6.67	14.29	3.33
$4 < I_{geo} < 5$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.67	21.43	10.00
$I_{geo} > 5$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.00	57.14	0.00
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

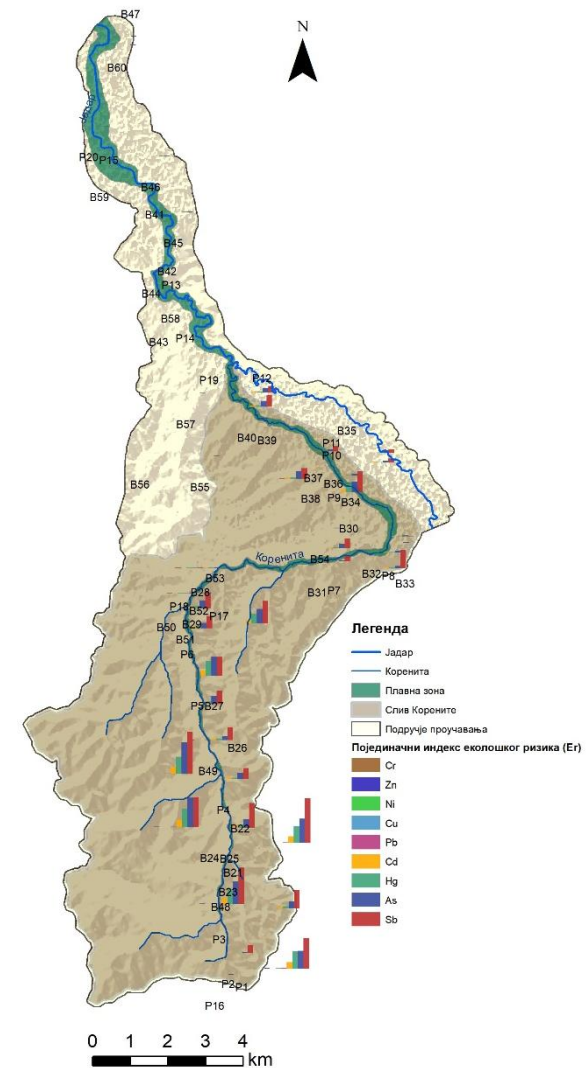
Највећи степен загађења према I_{geo} индексу се јавља на узорцима где су високе концентрације Sb и As, тј. на плављеном подручју. Ниже вредности I_{geo} индекса су на узорцима где није дошло до плављења, или су концентрације Sb и As ниске или испод границе детекције. Остали елементи показују да у просеку око 30% проучаваних узорака припада незагађеном земљишту.



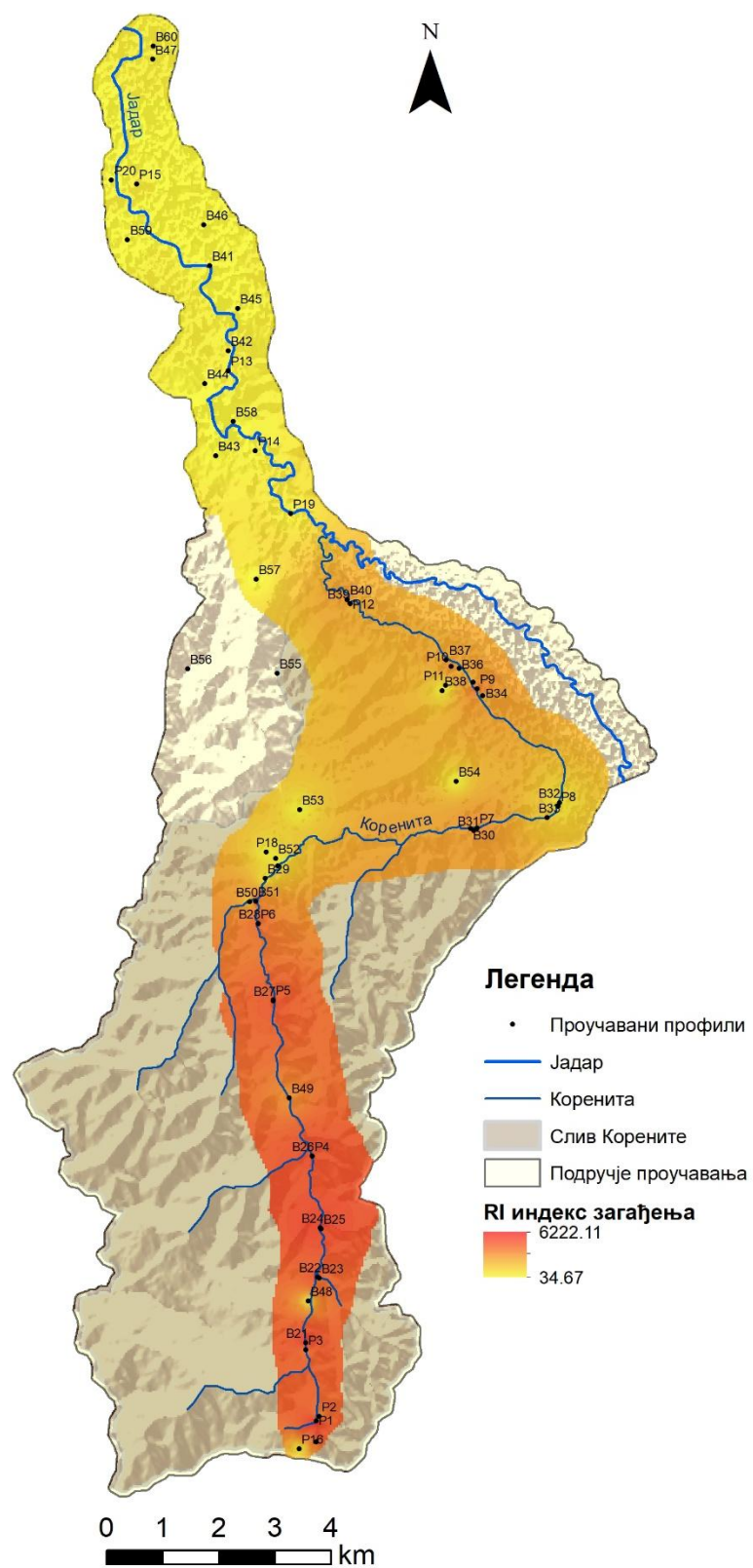
Слика 16: Зоне загађења проучаваног подручја према PLI индексу



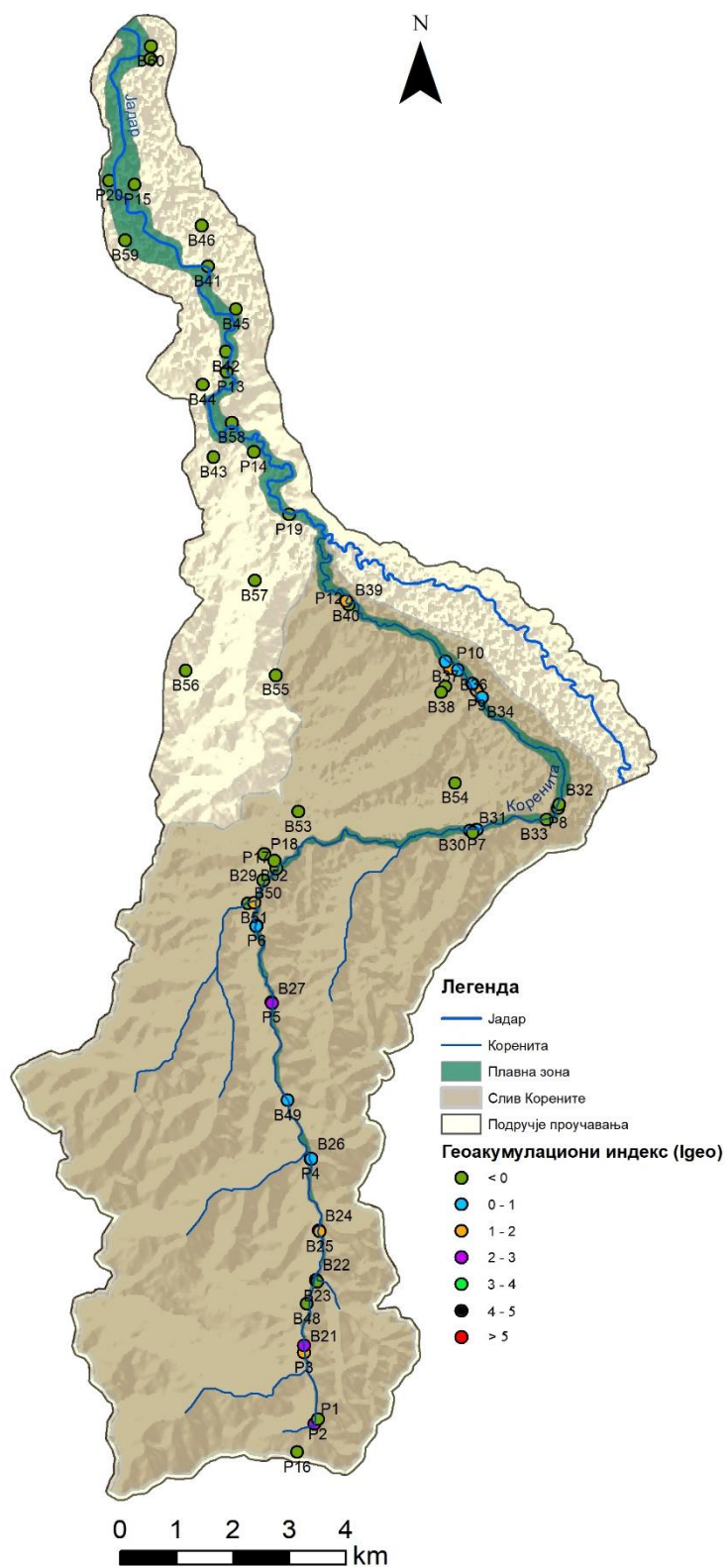
Слика 17: Зоне загађења проучаваног подручја према Немовом индексу



Слика 18: Загађење према појединачном еколошком ризику



Слика 19: Зоне загађења према укупном потенцијалном еколошком ризику



Слика 20: Просторна дистрибуција геоакумулационог индекса проучаваног подручја

4.6. Микробиолошке анализе и респирација проучаваних земљишта

4.6.1. Микробиолошке особине проучаваних земљишта

Земљиште је природно станиште микроорганизама у које спадају различите врсте бактерија, гљива, алги и актиномицета. Њихова бројност и активност, међусобни односи као и односи са осталим представницима живог света у земљишту, утичу у значајној мери на физичке, хемијске и биолошке процесе у педосфери. Као део процеса кружења материје и енергије у природи, земљишни микроорганизми, захваљујући свом учешћу у биохемијским процесима (хумификација, минерализација, нитрификација, азотофиксација, редукција нитрата, денитрификација) врше разлагање органске материје у земљишту, распад стена, стварање хумуса до потпуне минерализације органских остатака и тиме представљају важан фактор који има значајан ефекат на структуру и плодност земљишта. На тај начин се обезбеђују приступачне хранљиве материје и погодна средина за раст биљке. Најважнију улогу у томе имају хетеротрофне бактерије и гљиве. У оквиру микрофлоре, најбројније групе микроорганизама представљају бактерије и актиномицете а затим следе гљиве и алге.

Број бактерија у земљишту се креће 10^6 - 10^9 по граму земљишта, и хетеротрофне бактерије се налазе у већем броју у односу на аутотрофне. Бактерија има највише у земљиштима неутралне реакције, при чему су аеробне и мезофилне бактерије највише заступљене.

Актиномицете су посебна група бактерија коју специфичне особине одвајају од других бактерија. Њихов кончаст облик подсећа на хифе гљива. У земљишту се налазе 10^6 - 10^8 по граму земљишта при чему у плодним земљиштима тај број износи 10^7 - 10^8 по граму земљишта. Гљиве су микроорганизми веома значајни, као и бактерије, за разлагање и чување хранљивих материја у земљишту. Њихов број у земљишту је 10^3 - 10^6 а оптималан број износи 10^5 - 10^6 по граму земљишта. Влажност је веома важан фактор који утиче на велики број гљива док се оне не развијају у сувом супстрату. Гљиве и актиномицете су хетеротрофни микроорганизми претежно сапрофити и највише их има у земљиштима са високим садржајем органске материје. Обе ове групе су углавном аеробне и мезофилне. Док су гљиве претежно ацидофилне јер су доминантне у киселим земљиштима, актиномицете су алкалофилне. Улога гљива се огледа у синтези хумуса и минерализацији сложених органских молекула као што су лигнин и пектин, а актиномицета у хумификацији и минерализацији органске материје. Обе ове групе продукују неке антибиотике, док само актиномицете продукују неке витамине (из Б групе).

Род *Azotobacter* је индикатор плодности земљишта јер је заступљен у добро аерисаним плодним земљиштима каква су оптимална за раст већине биљака. Њихов оптималан број се креће од неколико хиљада до неколико стотина хиљада (10^3 - 10^5 /граму земљишта). Као слободан азотофиксатор род *Azotobacter* користи азот из ваздуха али и амонијумове соли, нитрате, нитрите и аминокиселине те је добар индикатор азотног биланса у земљишту. Погодују му неутрална земљишта са добрим водно-ваздушним режимом и добро снабдевена Са, Мо и Fe а осетљив је на киселу реакцију средине.

На бројност и активност микроорганизама утичу различити фактори. У абиотичке факторе спадају: реакција земљишта односно рН вредност земљишта, температура и влажност земљишта, присуство тешких метала, пестицида и других штетних материја у земљишту. Зато се распрострањеност и бројност микроорганизама разликује у различитим типовима земљишта које карактеришу одређене физичко-хемијске особине. Међутим присуство и активност микроорганизама зависи и од такозваних биотичких фактора и то: биљног покривача а посебно ризосфере, природе органске материје присутне у земљишту али и други фактора као што су обрада земљишта и разни антропогени фактори (процес ерозије, интензивна дефорестација, пестициди, ђубрива, смањење природног станишта микроорганизама узроковано експанзијом градова и саобраћајница). У антропогени фактор се убраја и одлагање тешких метала и пољопривредног и индустријског отпада као загађујућих материја за земљиште. Јаловина, отпадни материјал при обради руда, спада у загађујући материјал рударске индустрије. У облику муља овај отпад загађује земљиште и реке па је неопходно да се испита његов утицај на плодност и здравље земљишта. Ниски садржаји Cd, Hg, Pb и других су штетни за микроорганизме, а при вишим концентрацијама како есенцијални тако и неесенцијални метали смањују бројност популација микроорганизама, биохемијску активност (Чакмак et al., 2016). На основу тестова токсичности Courtin-Nomade, et al., (2012) закључују да је развој бактерија озбиљно угрожен повећаним концентрацијама арсена и антимона, а утицај антимона изазива негативне ефекте на неколико врста бактерија.

У свим површинским узорцима земљишта (0 – 10 cm) 60 узорака земљишта који обухватају узорке из 20 профила земљишта, као и 40 површинских узорака земљишта анализирана је заступљеност група микроорганизама (табела 23, 24).

Табела 23. Заступљеност група микроорганизама у плављеним, неплављеним и делимично плављеним и очишћеним локалитетима

Ознака узорка	Укупна микрофлора ($\times 10^6$)	Гљиве ($\times 10^4$)	Актиномицете ($\times 10^4$)	<i>Azotobacter</i> MPN
Плављено				
B21/018	2,33	11,67	1,33	45
B22/018	5,33	4,67	12,00	45
B24/018	7,00	25,33	7,33	0
B26/018	9,33	4,33	0,33	25
B27/018	1,67	4,00	2,33	45
B28/018	8,00	3,00	6,67	25
B30/018	11,67	8,00	11,33	250
B31/018	11,00	7,00	5,00	95
B33/018	5,33	4,67	11,67	95
B34/018	4,67	10,00	16,67	250
B35/018	25,00	10,33	8,33	150
B36/018	21,00	18,00	9,33	450
B37/018	5,67	3,67	13,00	25
B40/018	8,33	31,00	3,33	95
B42/018	25,67	6,00	3,67	95
B49/018	13,67	4,00	6,67	250
B51/018	18,33	4,67	3,67	45
B58/018	2,00	16,67	4,67	45
B60/018	5,67	10,33	8,33	45
1/018	1,67	0,33	3,67	450
3/018	11,67	10,00	8,33	45
4/018	3,00	0,67	4,33	25
6/018	9,00	3,33	3,67	15
7/018	3,00	2,00	2,00	250
8/018	7,67	6,00	0,33	250
9/018	9,00	4,67	3,00	450
10/018	20,00	4,67	8,33	250
13/018*	77,00	31,00	3,00	25
14/018	17,67	7,67	2,67	25
17/018	7,67	7,67	2,33	95
Неплављено				
B23/018	14,00	10,33	2,00	95
B29/018	40,00	13,33	0,33	9
B32/018	48,00	9,33	15,67	95
B38/018	5,67	12,33	4,00	4
B39/018	13,33	19,00	0,33	95

B41/018	10,33	17,00	4,67	45
B43/018	22,33	12,33	5,33	45
B44/018	37,67	38,67	4,67	25
B45/018	6,00	13,33	6,33	25
B46/018	24,67	7,67	7,00	250
B47/018	10,00	11,00	5,67	95
B48/018	10,00	12,00	8,33	25
B50/018	13,00	3,67	7,33	150
B52/018	25,00	10,67	8,00	95
B53/018	17,00	12,67	7,67	45
B54/018	13,67	3,33	5,33	25
B55/018	35,33	20,33	5,00	95
B56/018	5,33	7,00	6,00	15
B57/018	0,33	6,67	4,33	95
2/018	2,67	10,33	0,67	25
11/018	32,00	24,33	1,67	95
16/018	0,33	15,00	3,00	25
18/018	23,67	40,00	3,33	0
Делимично плављено и очишћено				
B59/018	33,33	11,00	5,33	250
B25/018	24,67	5,33	3,67	15
5/018	10,67	3,00	1,33	45
12/018	28,00	6,67	13,00	450
15/018*	87,00	35,67	3,67	25
19/018	4,67	2,00	4,00	250
20/018	0,33	9,00	4,33	25
Плављено	9,72	8,08	6,01	135,52
Неплављено	17,84	14,36	5,07	64,04
Делимично	16,95	6,17	5,28	172,50
<i>p</i>	0,023	0,009	0,668ns	0,045

ANOVA за $p > 0,05$ нема значајних разлика (ns), $p < 0,05$ значајне разлике, $p < 0,01$ веома значајне разлике, *узорци нису узети у обзир због великих одступања

Проучавано подручје, изложено утицају јаловишта, је анализирано у погледу квантитативне заступљености укупне микрофлоре односно укупног броја микроорганизама, броја гљивица, актиномицета и бактерија рода *Azotobacter*.

Укупан број микроорганизама се кретао од $0,33-87,00 \cdot 10^6$ CFU g⁻¹ апсолутно сувог земљишта што указује на умерену биогеност земљишта испитиваног подручја. Резултати су показали да је садржај укупне микрофлоре у испитиваном земљишту у позитивној корелацији са присуством органске материје и хумуса у земљишту а негативној са

неорганским угљеником ($\text{CaCO}_3\%$) и приступачним облицима фосфора ($\text{P}_2\text{O}_5 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$). Негативне корелације су утврђене и са тешким металима: Zn, Pb и Cd, и металоидима: As, Sb и Hg (Табела 2). У 45% узорака (27 узорка) бројност микроорганизама је била до $9,33 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ апсолутно сувог земљишта. У осталим узорцима та бројност је била већа и може се поделити у 3 целине према растућим вредностима броја укупне микрофлоре: у 14 узорака (23%) број укупне микрофлоре је износио $10,00\text{--}18,33 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ (ту спадају контролни узорци B53, B54 – неплављено подручје), у 16 узорака (27%) број је био $20\text{--}40 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ (B55, P11, P18 – неплављено подручје) а само у 3 (5%) узорка тај број је био највећи, $48 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ (узорак B32), $77 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ у узорку P13 и $87 \times 10^6 \text{ CFU g}^{-1}$ у узорку P15.

Табела 24. Број различитих група микроорганизама у 60 узорка

Групе микроорганизама	Средња вредност	SD*	Минимум	Максимум
Укупна микрофлора ($\times 10^6$)	15,97	16,589	0,33	87
Gljive ($\times 10^4$)	11,14	9,190	0,33	40
Актиномицете ($\times 10^4$)	5,49	3,739	0,33	16,67
<i>Azotobacter spp.</i>	108,13	121,086	0	450

*стандардна девијација

Вишеструка регресиона анализа примењена на број испитаних микроорганизама (у свих 60 узорка) као зависно променљиве величине и физичко-хемијских карактеристика као независних променљивих показала је значајан утицај рН (H_2O) земљишта на укупан број микроорганизама (56% варијација) у односу на утицај осталих хемијских карактеристика земљишта (табела 25).

Табела 25. Вишеструка линеарна регресија (stepwise model) физиолошких група микроорганизама и физичко-хемијских особина земљишта ($p < 0.05$).

Физиолошке групе микроорганизама (Зависна варијабла)	Физичко-хемијске особине (Предиктор)	R^2
Укупан број микроорганизама	pH H_2O	0,564
Актиномицете	pH H_2O	0,513
<i>Azotobacter</i>	pH CaCl_2	0,484

R^2 -Коефицијент диференцијације који указује на пропорцију варирања у зависној варијабли која је предвидива од независне варијабле (предиктор)

Број гљивица је био $0,33\text{--}40,00 \times 10^4 \text{ CFU g}^{-1}$ апсолутно сувог земљишта и у позитивној је корелацији са садржајем органске материје, хумуса, лако приступачног К у

земљишту као и Cr а у негативној је корелацији са садржајем лако приступачног P и садржајем Pb и Sb. Бројност гљива до $9,33 \times 10^4$ CFU g⁻¹ је показала половина узорака (52%, 31 узорак а ту су неплављени узорци B54, B56, B57), док је у 35% (у 21 узорку) тај број био од 10,00 (ту улазе неплављени узорци P3, B34) - 19×10^4 (бр. B39) (ту улазе неплављени узорци P2, P16, B38 и B53). Највећи број гљива је нађен у 8 узорака (13% и то P13, P15, B40, B44 као и неплављени P11, P18, B55) и то од $20,33 \times 10^4$ па до највећег броја од 40×10^4 CFU g⁻¹ у неплављеном узорку бр. P18. Број гљивица је опадао са порастом pH вредности у земљишту што је и очекивано јер су оне претежно ацидофилни организми. Њихов број указује да само половина земљишта има потребан број гљива који могу да обезбеде услове за одржавање добре биогености земљишта.

Број актиномицета у 88% узорака (53 узорка) није био већи од $8,33 \times 10^4$ CFU g⁻¹ што указује на потребу побољшања плодности испитиваног подручја. Осталих 12% узорака је садржао актиномицете од 11,33 до $16,67 \times 10^4$ CFU g⁻¹ (узорак бр. B34). Овде се истицао и профил P12. Број актиномицета је био у позитивној корелацији са присуством азотних једињења (укупан азот) у земљишту. Утврђен је значајан утицај pH (H₂O) на укупан број актиномицета (51% варијација).

Присуство бактерија из рода *Azotobacter* указује на слабу плодност земљишта у испитиваном подручју јер је број *Azotobacter* у 78% узорака износио 4-95 MPN g⁻¹ апсолутно сувог земљишта. У осталим узорцима (13 узорака, 22%) њихов број је био неколико пута већи, 150-450 MPN g⁻¹: узорци P1, P7-P10, P12, P19, B30, 35, 36, 49, 50, 59. Максимална бројност овог азотофиксатора нађена је у узорцима P9, P12 и B36. Заступљеност рода *Azotobacter* spp. је била у високо значајној позитивној корелацији са pH вредностима земљишта као и садржајем Cr.

Регресиона анализа примењена на укупан број микроорганизама из 20 профила показала је да је највећи утицај имала количина хигроскопне влаге (96% варијација) што је и очекивано с обзиром да је подручје било плављено. Значајан утицај је имао гранулометријски састав земљишта и то глина на присуство гљива (85% варијација), садржај органске материје (90% варијација) на бројност актиномицета док је на број *Azotobacter* највише утицала супституциона киселост земљишта pH (CaCl₂) (93% варијација).

Статистичка обрада резултата (ANOVA) је показала значајне разлике у броју укупне микрофлоре, гљива и *Azotobacter* између плављених, неплављених и делимично плављених локалитета, док значајних разлика није било у броју Актиномицета анализираних са ових локалитета (табела 23).

Број укупне микрофлоре је био значајно мањи у плављеним локалитетима у односу на остале локалитете. Осим физичко-хемијских карактеристика земљишта овог подручја на смањење укупног броја микроорганизама утицали су и поједини тешки метали и металоиди чије вредности прелазе граничне вредности у земљишту што је потврђено њиховом међусобном негативном корелацијом.

Није било значајних разлика у броју актиномицета између плављених, делимично плављених и неплављених локалитета што је и код ове групе микроорганизама очекивано услед њихове толерантности на стресне факторе животне средине па тако и на тешке метале и металоиде.

Плављено али и делимично плављено подручје је имало значајно мањи број гљивица у односу на неплављено што указује на њихову осетљивост на промене у земљишту узроковане плављењем а тиме и негативан утицај тешких метала/металоида (негативна међусобна корелација).

Azotobacter је био значајно мање заступљен у неплављеним локалитетима у односу на плављене и делимично плављене локалитете. Генерално, присуство и мала бројност *Azotobacter*-а у целокупном проучаваном подручју указује на слабу плодност земљишта.

На основу анализа броја укупне микрофлоре, броја гљива, актиномицета и рода *Azotobacter* у земљишту може се закључити да више од 50% испитиваног подручја не показује оптималну плодност и биогеност земљишта те да је потребно предузети одређене агротехничке мере за побољшање физичко-хемијских а тиме и микробиолошких особина земљишта.

4.6.2. Респирација земљишта

Дисање (респирација) земљишта одражава капацитет земљишта да одржи раст биљака, земљишне фауне и микроорганизама. Она указује на ниво микробне активности и садржај органске материје и његово распадање. Дисање земљишта се може користити за процену кружења хранљивих материја у земљишту и способност земљишта да одржи раст биљака.

Према USDA класификацији ниво микробне активности земљишта подељен је на пет класа (табела 26).

Према класификацији биолошке активности, проучавна земљишта су показала углавном ниску активност микроорганизама. Од анализираних 20 профила 65% узорак имају веома ниску активност, 30% имају ниску активност, док 5% имају средњу активност микроорганизама (табела 27).

Табела 26. Класификација земљишта према нивоу ресипрације (приближан ниво CO₂)

Very Low soil activity (VL)	Low soil activity (L)	Medium soil activity (M)	Ideal soil activity (I)	Unusually high soil activity (H)
Типично за сува пешчана земљишта и мало или без органске материје	Земљиште је маргинално у погледу биолошке активности и органске материје	Земљиште је у умерено балансираном стању и добија додатке органске материје	Земљиште је добро снабдевано органском материјом и има активну популацију микроорганизама	Високи/прекомерни додаци органске материје
<300 mg CO ₂ /kg soil/wk	300-500	500-1000	1000-2000	>2000
< 12 mg CO ₂ -C kg soil/d	12-20	20-40	40-80	>80

Извор: Doran, J. (2001) (адаптирано Е.Салников).

Од анализираних 60 узорак из површинских слојева земљишта у 67,5% имају веома ниску активност микроорганизама, 30% имају ниску активност, и 2,5% имају средњу активност микроорганизама.

Висока респирација земљишта указује на високу биолошку активност, што може бити добар знак здравог земљишта која лако разлаже органске остатке и рециклира нутријенте неопходне за раст биљака.

Ниске стопе дисања земљишта указују на то да земљиште има малу или никакву количину органске материје или активност земљишних микроорганизама. То такође може значити да услови земљишта (температура земљишта, влага, аерација, доступни N) ограничавају биолошку активност и разградњу органске материје. Уз низак ниво респирације земљишта, хранљиви састојци се не ослобађају из органске материје у довољној мери потребну за исхрану биљака и микроорганизама. Смањено дисање земљишта се јавља када су земљишта поплављена или засићена, а азот се губи кроз денитрификацију и сумпор се губи кроз испаравање.

На проучаваном подручју један узорак из профила (18/018) и један узорак из површинског узорка (B44/018) су показали највишу биолошку активност (средњи ниво). Профил 18/018 је једини узорак који је узет са ливаде, што је очекивано и указује да у природним екосистемима, где приток органске материје у облику биљних остатака је неприкидан и целокупно се враћа у земљиште, микроорганизми су бројни и активни што се потврђује квантитативним подацима микроорганизама и респирације.

Табела 27. Ниво респирације проучаваног земљишта – микробиолошка активност

Узорци 0-10cm	mg CO ₂ -C/kg soil/day	Класа микробиолошке активности	Класа микробиолошке активности	Ознака класе
Плављено				
1/018	7,16	Very low	Веома ниска	VL
3/018	10,25	Very low	Веома ниска	VL
4/018	1,44	Very low	Веома ниска	VL
6/018	9,37	Very low	Веома ниска	VL
7/018	5,41	Very low	Веома ниска	VL
8/018	3,40	Very low	Веома ниска	VL
9/018	5,98	Very low	Веома ниска	VL
10/018	6,89	Very low	Веома ниска	VL
13/018	14,42	Low	Ниска	L
14/018	5,62	Very low	Веома ниска	VL
17/018	8,33	Very low	Веома ниска	VL
B 21/018	5,023	Very low	Веома ниска	VL
B 22/018	4,580	Very low	Веома ниска	VL
B 24/018	4,264	Very low	Веома ниска	VL
B 26/018	4,393	Very low	Веома ниска	VL
B 27/018	4,780	Very low	Веома ниска	VL
B 28/018	4,934	Very low	Веома ниска	VL
B 30/018	6,286	Very low	Веома ниска	VL
B 31/018	6,692	Very low	Веома ниска	VL
B 33/018	5,314	Very low	Веома ниска	VL
B 34/018	5,608	Very low	Веома ниска	VL
B 35/018	5,058	Very low	Веома ниска	VL
B 36/018	7,576	Very low	Веома ниска	VL
B 37/018	4,242	Very low	Веома ниска	VL
B 40/018	3,927	Very low	Веома ниска	VL
B42/018	12,045	Low	Ниска	L
B49/018	11,163	Very low	Веома ниска	VL
B51/018	11,937	Low	Ниска	L
B58/018	5,329	Very low	Веома ниска	VL
B60/018	14,686	Low	Ниска	L
Неплављено				
2/018	13,66	Low	Ниска	L
11/018	12,20	Low	Ниска	L
16/018	12,12	Low	Ниска	L
18/018	27,39	Medium	Средња	M
B 23/018	6,369	Very low	Веома ниска	VL
B 29/018	8,242	Very low	Веома ниска	VL
B 38/018	5,605	Very low	Веома ниска	VL
B 39/018	7,938	Very low	Веома ниска	VL
B41/018	11,080	Very low	Веома ниска	VL
B43/018	11,455	Very low	Веома ниска	VL
B44/018	25,986	Medium	Средња	M
B45/018	10,263	Very low	Веома ниска	VL
B46/018	16,278	Low	Ниска	L
B47/018	9,285	Very low	Веома ниска	VL
B48/018	13,002	Low	Ниска	L
B50/018	13,805	Low	Ниска	L
B52/018	14,414	Low	Ниска	L
B53/018	13,072	Low	Ниска	L
B54/018	14,166	Low	Ниска	L
B55/018	19,768	Low	Ниска	L

B56/018	10,584	Very low	Веома ниска	VL
B57/018	17,136	Low	Ниска	L
Делом плављено или очишћено				
5/018	5,52	Very low	Веома ниска	VL
12/018	13,44	Low	Ниска	L
15/018	6,24	Very low	Веома ниска	VL
19/018	16,24	Low	Ниска	L
20/018	7,68	Very low	Веома ниска	VL
B 25/018	6,585	Very low	Веома ниска	VL
B59/018	11,019	Very low	Веома ниска	VL

Инхерентне стопе респирације земљишта у највишој мери зависи од климе, која се не може променити: од количине и квалитета органске материје, температуре, влаге, заслаћености, рН - вредности и аерације. Биолошка активност организама земљишта варира сезонски и дневно.

Микробиолошко дисање повећава се више од дупло за свако повећање температуре за 10°C до максимално 35 до 40°C, изнад које је температура ограничава раст биљака, активност микроорганизама и дисање земљишта.

Дисање земљишта се повећава са повећањем влаге у земљишту до нивоа где су поре попуњене до мере када влага ограничава приступачност кисеоника, што омета способност организма за дисање.

Идеална влага у земљишту је близу пољског капацитета, или када је око 60 посто пора попуњено водом. Дисање се смањује у сувом земљишту због недостатка влаге за микроорганизме и друге биолошке активности. Када су земљишта сатурисана, поре испуњене водом више од 80 процената, дисање земљишта пада на минимални ниво, а анаеробни микроорганизми "прелазе стазе" и користе нитрат (NO_3), уместо кисеоника, што резултира губитком азота, као азотних гасова (N_2 и оксиди азота), емисија гасова стаклене баште, смањење приноса и повећан трошак N - ђубрива.

Корелација проучаваних агрохемијских показатеља са респирацијом земљишта је показала да су садржај глине и органског угљеника највише утицали на ниво респирације у датим условима климе. Висока корелација са садржајем калијума је посредна веза.

Вероватно, претежно влажно стање земљишта, се одразило како и на агрохемијским тако и на биолошким показатељима, и одговорно је за смањену биолошку активност микроорганизама, што је потврђено високом корелацијом респирације земљишта са садржајем гљива која је отпорна на превлажене услове земљишта.

Табела 28. Корелација агрохемијских показатеља земљишта са респирацијом

	песак	глина	pH	CaCO ₃	хумус	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Укупна микроф.	Гљиве	Амониф.	Azotobacter
CO ₂	-0.51*	0.51*	-0.35	-0.42	0.49*	0.49*	0.18	-0.39	0.79**	0.31	0.42*	-0.17	-0.02

Земљишта текстурне класе иловаче су често повољна за респирацију земљишта због њихове добре аерације и високог расположивог капацитета воде. У глиновитим земљиштима је ограничено дисање земљишта уз пратећу минерализацију (амонификација) органског азота. Песковита земљишта су обично ниска у садржају органске материје и имају слабо расположиву воду која ограничава дисање и минерализацију азота.

Статистички значана позитивна корелација респирације земљишта са садржајем укупне глине као и негативна корелација са садржајем песка је у складу са више поменутих објашњењима за факторе који утичу на ниво респирације земљишта (табела 28).

Обично је потребно неколико година да се земљиште побољша од ниског биолошког статуса до активнијег. Са правилним управљањем остацима, разноврсним усевима, додавањем органске материје и избегавањем деструктивних пракси орања, скраћује се време за постизање оптималнијег стања биолошке активности земљишта.

4.7. Препоруке и потребе за даљим истраживањима

На основу извршених анализа проучавано подручје припада категорији загађених подручја (око 50 % испитиваних узорак) услед антропогених активности из рудника Столице – Зајача, али пре свега, услед изливања јаловинског материјала 2014. године. Земљишта плавне зоне су слабо обезбеђена хумусом са високим садржајем лакоприступачног фосфора и високим садржајем цинка, олова, кадмијума, арсена, антимона и живе. Пошто се ова земљишта углавном користе за пољопривредну производњу, неопходно је бити посебно образив, пре свега, због могућих хумано-токсиколошких ефеката. Због тога се препоручује:

1) **Унос органског ђубрива**, пре свега, ради побољшања стања земљишта – микробиолошких особина и респирације земљишта. Земљишта проучаваног подручја нису оптималне плодности и биогености па су неопходне одређене агротехничке мере за побољшање како физичко-хемијских својстава тако и микробиолошких особина земљишта. Малчирање остацима усева, редукован пролаз механизације, плодоређи су неке од мера.

Малчирање остацима култура са ниским односом C/N (на пример соје) брже се разлажу од остатака са високим односом C/N (слама пшенице). Културе које имају велику биомасу уз додатак азота (из различитих извора) повећавају разлагање и количину органске материје (Doran, 2001). Локалну пољопривредну саветодавну службу обавестити о резултатима овог пројекта како би правовремено предузели неопходне мере и упутили земљораднике на најбоље праксе управљања земљишним простором.

2) На плављеном подручју са високим садржајем штетних микроелемената потребно је додати адитиве за везивање истих или **зеолит или неке полимере**. Sanchez и Aysto, (2008) наводе да коришћење зеолита значајно смањује испирање Co, Cd, Cu, Ni, Zn у подземне воде. Приступачност металоида у земљишту за биљке и њихово испирање у подземне воде редукује се хемијском и биолошком имобилизацијом. У циљу имобилизације металоида у литератури се наводи коришћење креча, фосфорних ђубрива, као и компостирање (Sapogale, 2011). Проучавана земљишта садрже слободан калцијум-карбонат и високе садржаје лакоприступачног фосфора, па се предлаже да се у земљиште додају зеолит и компост.

3) Од посебног значаја је **биолошка рекултивација** флотацијске јаловине да би се смањило развејавање честица ветром, и то на свим депонијама на подручју рудника Зајача.

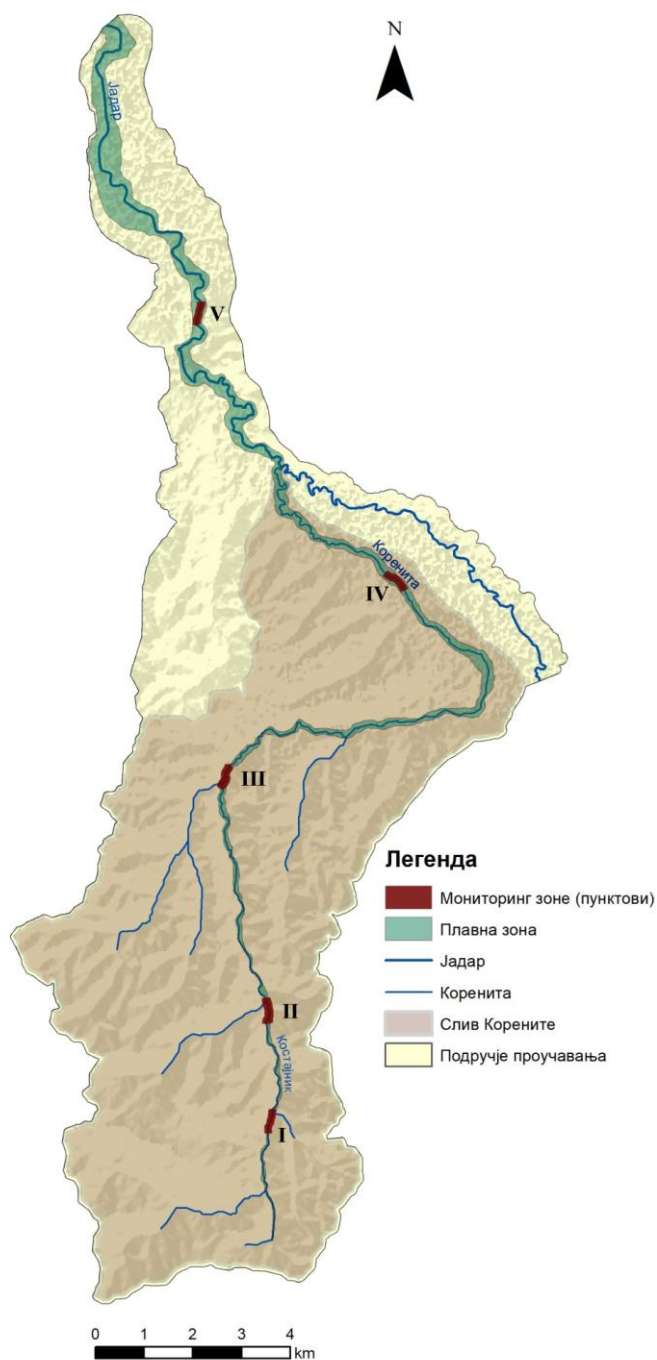
4) **Наставити мониторинг** на овом подручју и то са аспекта приступачности тешких метала и металоида, пре свега Zn, Pb, Cd, As, Sb, Hg (из 0,005 М DTPA (раствор који садржи 0,005 М DTPA- diethylene-triamine-pentaacetic acid, 0,1М ТЕА – trietanolamin, р.а. и 0,01М CaCl₂ при рН 7,3), или секвенцијалном екстракцијом) у земљишту, као и њихове садржаје у различитим пољопривредним културама (кукуруз, соја, воћњаци и повртарске биљке – углавном су заступљене на овом подручју), као и у лековитим биљкама (на проучаваном подручју заступљено је и пчеларство). Пожељно је пратити микробиолошку активност ових земљишта.

- За стални мониторинг се предлажу површине означене на слици 21. Површине су одређене према степену загађења и то на подручју врло високог загађења два пункта (I – у близини површинских узорак B22, B23 и II - у близини профила P4 и површинског узорка B26), један на прелазу врло високог у значајно загађење (III - у близини површинских узорак B29, B51), један у значајном (IV - у близини профила P10 и површинских узорак B36, B37) и један пункт у долини Јадра у умерено загађеном подручју (V - у близини профила P13 и површинског узорка B42).

Пунктови су одабрани према степену загађења на локацијама где су у поједином степену загађења (врло висок, значајан до умерен) измерене највеће концентрације проучаваних елемената. Павна зона алувијума реке Корените је уска па на одређеном пункту,

лево и десно у земљиштима различитог начина коришћења (уколико је само једна култура заступљена изабрати једну површину) узети композитни узорак према фиксним дубинама 0-10 cm, 10-20 cm и 20-40 cm. Композитни узорак узети из 5 појединачних (у пресеку дијагонала и пресеку страница квадрата димензија 25x25 метара).

- Поред узорковања земљишта узорковати површинске воде (из водотока) и из бунара (најближи бунари мониторинг зони – најмање 3) на означеним пунктовима.



Слика 21. Пунктови за континуиран мониторинг стања земљишта и вода

5. Закључак

Испитивања **степенa деградације земљишта услед изливања јаловишта Столице** обухватила су теренска и лабораторијска проучавања земљишта, а у оквиру лабораторијских анализа, поред физичко-хемијских својстава земљишта, проучавања су фокусирана на садржај микроелемената/тешких метала и металоида, као и микробиолошка проучавања земљишта. Непосредно испод јаловишта се налазе обрадиве површине уз корито реке Корените до Јадра, а на основу рекогосцирања терена издвојена су подручја која су плавлена, неплавлена и делимично плавлена или очишћена након инцидента 2014. године. Узорци земљишта по фиксним дубинама: 0-10 cm, 10-20cm и 20-40cm су узети из 20 отворених педолошких профила, и узорци 0-10 cm су узети из пратећих површинских узорака земљишта.

На површинама које су поплављене 2014. године приликом изливања јаловине детерминисан је само један тип земљишта - алувијално земљиште (флувисол). Према текстурном саставу узорци алувијалног земљишта из плавног проучаваног подручја припадају текстурним класама иловастог песка, песковите иловаче, прашкасте иловаче, иловаче и прашкасто-глиновите иловаче. Алувијална земљишта проучаваног подручја су слабо обезбеђена хумусом. Највећи садржај лакоприступачних облика фосфора је утврђен у узорцима који садрже доста јаловинског материјала.

Садржаји цинка и олова у проучаваним профилима углавном опадају са дубином у профилу. Измерене вредности у појединим профилима веће су од граничне и ремедијационе вредности. **Садржаји никла, хрома и бакра у плавленим земљиштима** нижи су од граничне вредности, сем садржаји бакра у профилу 1/018. Већи **садржаји кадмијума** од граничних вредности измерени су у оним профилима где су измерене и већи садржаји олова као и цинка, али нису измерене вредности веће од ремедијационих. **Садржаји арсена** су у свим профилима већи од ремедијационе вредности. **Садржаји антимона** су високи у плавленим и неким делом плавленим профилима, и у слојевима где је измерен Sb је већи од ремедијационе вредности. **Садржаји живе** већи од граничне вредности измерене су у плавленим профилима, док су у неплавленим ниже. У површинским слојевима плавленог и неплавленог проучаваног подручја измерени садржаји Zn, Pb, Cr, Cd, As, Sb, Hg се статистички значајно разликују ($p < 0,01$), као и Cu ($p < 0,05$), док се садржаји Ni статистички не разликују.

На основу статистичких анализа (корелација и факторске анализе) закључено је да се проучавани тешки метали / металоиди могу поделити у 2 групе: прва која обухвата Zn, Pb, Cd, As, Sb и Hg, који су доспели услед антропогеног фактора утицаја, пре свега, изливањем

јаловинског материјала; и друга група Cu, Ni и Cr који су пореклом из других извора. Свакако Cu, Ni и Cr нису пореклом из јаловинског материјала, а на овом подручју Столица где је флотацијска јаловина имала велики утицај на стање у земљишту и пре изливања јаловине остали проучавани елементи су пореклом антропогени.

На проучаваном подручју, средње вредности појединачних фактора загађења (PI) се смањују редоследом Sb>As>Hg>Zn>Cd>Pb>Cu>Cr>Ni, а средње вредности индекса еколошког ризика (E_r) се смањују редоследом Sb>As>Hg>Cd>Pb>Cu>Ni>Zn>Cr. Вредности укупног потенцијалног еколошког ризика показују да 17% проучаваних узорака припада класи умереног еколошког ризика, 2% припада класи значајног, док 45% припада класи врло високог еколошког ризика што је у сагласности са PLI индексом, који има исти проценат у класи погоршања квалитета земљишта, док се према Немеровом индексу, сви узорци налазе у некој од класа које показују извршан степен загађења. Највећи степен загађења према I_{geo} индексу се јавља на узорцима где су високе концентрације Sb и As, тј. на плављеном подручју.

Број укупне микрофлоре као и број гљивица је био значајно мањи у плављеним локалитетима у односу на остале локалитете. Није било значајних разлика у броју актиномицета између плављених, делимично плављених и неплављених локалитета што је и код ове групе микроорганизама очекивано услед њихове толерантности на стресне факторе животне средине. Присуство и мала бројност *Azotobacter*-а у целокупном проучаваном подручју указује на слабу плодност земљишта. Слаба микробиолошка активност је у корелацији и са врло ниском до ниском респирацијом свих земљишта сем узорка (18/018) средње активности под природним екосистемом и није плављен.

На основу извршених анализа проучавано подручје припада категорији загађених подручја услед антропогених активности, а како се користе углавном за пољопривредну производњу препоручује се:

- 1) унос органских ђубрива, уз примену малчирања и других агротехничких мера,
- 2) на плављеном подручју са високим садржајем штетних микроелемената потребно је додати адитиве за везивање истих или зеолит или неке полимере
- 3) биолошка рекултивација флотацијске јаловине „Столице“ и осталих депонија на подручју рудника Зајача,
- 4) наставити мониторинг на овом подручју и то са аспекта приступачности тешких метала и металоида, пре свега Zn, Pb, Cd, As, Sb, Hg, према утврђеној шеми у земљиштима и усевама, а пожељно је пратити и микробиолошку активност ових земљишта,
- 5) вршити мониторинг површинских вода и вода из бунара.

Литература

1. Adriano D.C. (2001): Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. Springer, New York, p.866
2. Белановић Симић, С. (2017): Квалитет земљишта – изазови система коришћења, Универзитет у Београду – Шумарски факултет, CD-ROM, ISBN 978-86-7299-258-8, p. 1- 214.
3. Bech J. Corrales I. Tume P. Barcelo J. Duran P. Roca N. Poschenrieder C. (2012): Accumulation of antimony and other potentially toxic elements in plants around a former antimony mine. *Journal of Geochemical Exploration* 113, p. 100-105.
4. Bech J. Poschenrieder C. Barcelo J. Lansac A. (2002): Plants from Mine Spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm for Phytoremediation Technologies. *Acta Biotechnol.* 22(1-2), p. 5-11.
5. Varol, M. (2011): Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. *Journal of Hazardous Materials*, 195, p. 355–364.
6. Vidojević, D., Jovičić, M., Dimić, B., Baćanović N. (2015): Degradacija životne sredine usled oštećenja jalovišta rudnika “Stolice” u Kostajniku 2014. godine, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, ppt., www.sepa.gov.rs
7. Doran, J. (2001): USDA-ARS Soil Quality Institute correlation of Solvita® and field soil respiration. Calculations based on a e-inch soil core (7.6 cm), Guides for Educators, p. 1-8
8. Đokić B. V., Jovanović M. (2009): Tehnogenic waste dumps of metal mines in Serbia. Work shop: Applied Environmental Geochemistry-Antropogenic impact on the human environment in the SE Europe. RESTCA. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, p. 36-38.
9. Ђокић Б. (2012): Геохемијске карактеристике флотацијског јаловишта рудника Грот (Југоисточна Србија), докторска дисертација, Универзитет у Београду - Рударско-геолошки факултет, Београд, 1-214 стр.
10. Институт „Кирило Савић“, (2012): Извод из Пројекта санације, затварања и рекултивације депоније јаловине (шљаке) из топионице у Зајачи, Београд, 1-30 стр., www.iks.rs
11. Japan International Cooperation Agency, Economic Development Department, 2008. Master Plan Study for Promoting the Mining Industry of Serbia, Final Report (Summary), Belgrade, p. 1-64
12. ЈДПЗ (1966): Хемијске методе испитивања земљишта, ЈДПЗ
13. ЈДПЗ, (1997): Методе истраживања и одређивања физичких својстава земљишта, ЈДПЗ
14. . Jeffrey D.W., Wilson J.G., Harris C.R., Tomlinson D.L. (1985): The Application of Two Simple Indices to Irish Estuary Pollution Status. In: Wilson J.G., Halcrow W. (eds) *Estuarine Management and Quality Assessment*. Springer, Boston, MA
15. Kobierski, M. (2015): Evaluation of the Content of Heavy metals in Fluvisols of Floodplain Area Depending on the Type of Land Use, *Journal of Ecological Engineering* Volume 16, Issue 1, p. 23-31, DOI: 10.12911/22998993/582
16. Kidd P. Barcelo J. Pilar Bernal M. Navari-Izzo F. Poschenrieder C. Shilev S. Clemente R. Monterroso C. (2009): Trace element behaviour at the root–soil interface Implications in phytoremediation. *Environmental and Experimental Botany* 67, p.243-259.
17. Luo, W., Lu, Y., Giesy, J.P., Wang, T., Shi, Y., Wang, G., Xing, Y.(2007): Effects of land use on concentrations of metals in surface soils and ecological risk around Guanting Reservoir, China, *Environmental eochem Health* 29, p. 459 – 471, doi 10.1007/s10653-007-9115-z
18. Muller, G. (1969): Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *GeoJournal*, 2, p. 108-118

19. Nemerow N.L. (1985): Stream, lake, estuary and ocean pollution, Van Nostrand Reinhold Publishing Co., New York
20. Ning Z. Xiao T. Xiao E. (2015): Antimony in the soil plant system in an Sb minings melting Area of Southwest China. *International Journal of Phytoremediation* 17(11), p.1081-1089.
21. Нишавић, А., Зарић, М., Гулан, М., Декић, Љ. (2014): Метеоролошки услови у мају 2014. године и могућност прогнозирања обилних падавина, Стручни скуп „Поплаве у Србији у мају 2014“, РХМЗ, Београд, Сава Центар
22. Oprea, G., Michnea, A., Mihali, C., Senilă, M., Roman, C., Jelea, S., Butean, C., Barz, M. (2010): Arsenic and Antimony Content in Soil and Plants from Baia Mare Area, Romania, *American Journal of Environmental Sciences* 6 (1), p. 33 -40.
23. Pilon-Smits E. (2005): Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Biol.* 56, p.15-39.
24. Sanchez, A.G. Aysto, E. A. (2008): Soil Remediation in Mining Polluted Areas, *Conferencia invitada García y Álvarez, Macla* 10 (2008), p. 76-84.
25. Службени гласник Републике Србије број 88 (2010): Уредба о програму систематског праћења квалитета земљишта, индикаторима за оцену ризика од деградације земљишта и методологији за израду ремедијационих програма Републике Србије
26. Srivastava, S. and Sharma, YK. (2013): Impact of Arsenic Toxicity on Black Gram and Its Amelioration Using Phosphate, *ISRN Toxicology Volume 2013, Article ID 340925*, p. 1-8, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/340925>
27. Stemmer K.L. (1976): Pharmacology and toxicology of heavy metals: Antimony. *Pharmac Ther. A.*, p. 157-160.
28. Tschan, M., Robinson, B.H., Schulin, R. (2009): Antimony in the soil-plant system – a review, *Environ. Chem.* 6., p.106-115. doi:10.1071/EN08111
29. Fawell J.K. Ohanian E. Giddings M. Toft P. Magara Y. Jackson P. (2003): Antimony in Drinking-water. WHO/SDE/WSH/03.04/74 World Health Organization p. 14.
30. Feng, R., Wei, C., Tu, S., Ding, Y., Wang, R., Guo, J. (2013): The uptake and detoxification of antimony by plants: A review, *Environmental and Experimental Botany* 96, p. 28 – 34.
31. Filella, M., Belzile, N., Lett, MC. (2007): Antimony in the environment: A review focused on natural waters. III. Microbiota relevant interactions, *Earth-Science Reviews* 80 (2007) p. 195–217, www.sciencedirect.com
32. Fu, Z., Wu, F., Mo, C., Liu, B., Zhu, J., Deng, Q., Liao, H., Zhang, Y. (2011): Bioaccumulation of antimony, arsenic, and mercury in the vicinities of a large antimony mine, China, *Microchemical Journal* Vol. 97, Issue 1, p. 12 -19.
33. Håkanson, L. (1980): An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: A Sedimentological Approach. *Water Research*, 14, p. 975–1001.
34. Caporale, A. (2011): Mobility and Phhyto-Availability of Arsenic in Soil-Plant System and Decontamination Techniques of Arsenic Polluted Areas, Ph. Dissertation, University of Naples Federico II - Faculty of Agriculture, 201p.
35. Courtin-Nomade, A., Rakotoarisoa, O., Bril, H., Grybos, M., Forestier, L., Foucher, F., Kunz, M. (2012): Weathering of Sb-rich mining and smelting residues: Insight in solid speciation and soil bacteria toxicity, *Chemie der Erde* 72(4), p. 29-39, doi:10.1016/j.chemer.2012.02.004
36. Crecelius E.A. Bothner M.H. Carpenter R. (1975): Geochemistries of arsenic, antimony, mercury, and related elements in sediments of Puget Sound. *Environmental Science & Technology* 9(4), p.325-333.
37. Čakmak, D., Saljnikov, E., Skrivanj, S., Roglic, G., Bakrač, S., Sikirić, B., Manojlović, D. (2015): Identification of different sources and forms of arsenic in the vicinity of ore mining in Serbia, *Fresenius Environmental Bulletin* Vol. 24, No 24b, p. 4635-4343.

38. Чакмак, Д., и сарадници (2016): Стање непољопривредног земљишта индустријских зона већих градова у Републици Србији са аспекта биолошког и хемијског квалитета, Институт за земљиште, 158 стр.
39. Шкорић, А., Филиповски, Г., Тирић, М. (1985): Класификација земљишта Југославије, АН БиХ, књига LXXVIII, Сарајево
40. Yang, H., He, M., Wang, X. (2015): Concentration and speciation of antimony and arsenic in soil profiles around the world's largest antimony metallurgical area in China, *Environ. Geochem. Health* 37, p. 21-33.
41. Qingjie, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W., Liqiang, Y. (2008): Calculating Pollution Indices by Heavy Metals in Ecological Geochemistry Assessment and a Case Study in Parks of Beijing, *Journal of China University of Geosciences*, Vol. 19, No. 3, p. 230–241.