

ГЕОХЕМИЈСКИ АТЛАС РЕПУБЛИКЕ СРПСКЕ

Дражан Токановић¹, Евица Дивковић-Голић¹, Владимир Јовичић¹

e-mail: d.tokanovic@geozavodrs.com

1- Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске

Апстракт

Усљед повећаног степена хемијског загађења животне средине, осамдесетих година прошлог вијека постигнут је консензус на међународном нивоу о важности формирања геохемијске базе података као основе за планирање мултидисциплинарних пројеката за очување животне средине. Дугорочним програмом развоја основних геолошких истраживања Републике Српске планирана је израда Геохемијског атласа Републике Српске. Изради овог атласа геохемијских карата приступило се усљед недостатка систематизованих података о концентрацијама појединих елемената на простору Републике Српске. Поред израде геохемијског атласа, добијени резултати ће служити за планирање пројеката који се односе на управљање животном средином и минералним сировинама, те у законској регулативи за доношење прописа о дозвољеним концентрацијама елемената у појединим медијумима. Уз воду и ваздух, земљиште представља један од најважнијих природних ресурса, као и природни филтер за многе штетне компоненте које би без његовог утицаја доспјеле у подземне воде. Брига о тлу представља један од приоритета у очувању и заштити животне средине. Геолошки завод је крајем 2022. године започео реализацију пројекта израде Геохемијског атласа Републике Српске. Истраживања се темеље на анализи узорака узетих из различитих медијума у оквиру ријечних сливова. Примјеном савремених аналитичких поступака добиће се подаци о садржајима свих релевантних хемијских елемената на основу којих ће се формирати квалитетна и систематична геохемијска база података са приказом природне расподеле хемијских елемената садржаних у површинским дијеловима земље. Истраживање је започето на подручју које припада сливу Сашке ријеке, а затим је настављено у сливу ријеке Дрињаче. Добијени подаци након завршених теренских узорковања и лабораторијских испитивања су предмет статистичке обраде и прорачуна основних статистичких параметара који ће заједно са картама дистрибуције различитих елемената бити приказани у Геохемијском атласу. На основу спроведених истраживања могуће је извршити издвајање простора са критичним оптерећењем металима, иницирати геохемијске аномалије које указују на потенцијално нова рудна лежишта као и унапређење сарадње са геолозима и биохемичарима у сврху развијања метода за моделовање доступних концентрација метала у тлу и седиментима.

Кључне ријечи: геохемија, атлас, карта, тло

Тема скупа: Геолошка истраживања у функцији развоја рударства и привреде Републике Српске/БиХ

Увод

Геохемијска истраживања на простору Републике Српске (РС) до сада су била везана искључиво за истраживања минералних сировина у оквиру основних, регионалних или детаљних геолошких истраживања. Дугорочним програмом развоја основних геолошких истраживања РС, дефинисани су макропројекти геолошких истраживања међу којима је планирана и израда Геохемијског атласа РС.

Изради геохемијског атласа се приступило усљед недостатка систематизованих података о концентрацијама појединих елемената на простору Републике Српске. Геохемијска истраживања и формирање база геохемијских података за поједине медије: тло, флувијалне седименте, стијене, воду, биомасу, хумус и др., покренута су с циљем дефинисања варијабилности природног позадинског шума. Резултати ових истраживања представљаће основу за израду геохемијског атласа за различите медије узорковања, а који су основа за различита даља детаљна истраживања. Добијени резултати ће се користити и за планирање и израду пројеката који се односе на управљање животном средином и минералним сировинама те у законској регулативи за доношење прописа о дозвољеним концентрацијама појединих елемената у неком од медијума. С обзиром да, уз воду и ваздух, земљиште представља један од најважнијих природних ресурса, као и природни филтер за многе штетне компоненте које би без његовог утицаја доспјеле у подземне воде, брига о тлу представља један од приоритета у очувању и заштити животне средине.

Методe геохемијског узорковања и лабораторијског испитивања

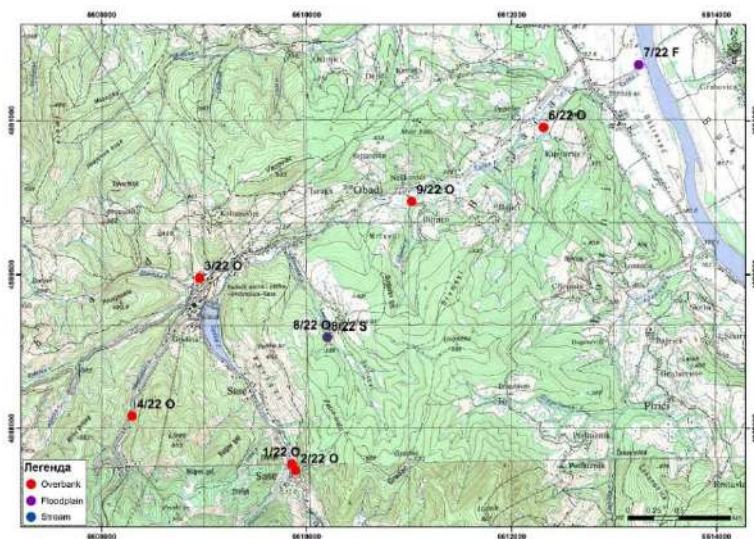
Током теренских активности у циљу израде геохемијског атласа, узорковани су флувијални седименти (седименти поплавних равница, терасни седименти и водоточни седименти – floodplain, overbank и stream седименти) Дринског слива. Узорковање floodplain, overbank и stream седимената је процес који је важан у геолошким истраживањима, хидрогеолошким студијама и другим специјалистичким студијама. Положај тачака узорковања и густина узорковања дефинисани су природним положајем битнијих водотокова.

Како би се смањио утицај природне хетерогености земљишта, узорковани материјал представља композит од пет мањих узорака, са укупном просјечном тежином од око 3 kg. Overbank и floodplain седименти су узорковани из горњег слоја са дубине до 30 cm (изнад коријеног система), док је доњи слој узоркован тамо гдје је то било могуће, са дубине од 75 до 100 cm. Stream седименти су

Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.

узорковани са дна потока. Узорковање је вршено помоћу EijkelKamp-ове сонде са наставком за узимање земљишта и лопате са сјечивом од ростфраја. Локације узорака су одређене помоћу GPS уређаја Trimble Juno 3B.

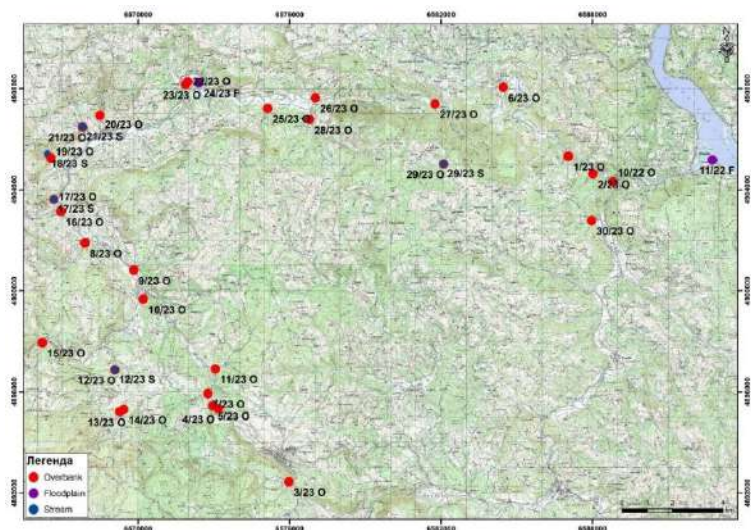
У претходном периоду, Републички завод за геолошка истраживања завршио је геохемијско узорковање у сливу Сашке ријеке и ријеке Дрињаче (слика 1 и слика 2).



Слика 1. Локације узорковања у сливу Сашке ријеке

Након завршене прве фазе теренских активности, прикупљени узорци су транспортовани у лабораторију на испитивање. Након припреме, анализа је обухватила седиментолошка испитивања односно гранулометријску анализу невезаних стијена, квантитативну и квалитативну анализу садржаја минерала тешке и лаке фракције да би након тога узорци били испитивани одговарајућим аналитичким методама (табела 1) у циљу добијања релевантних геохемијских података.

**Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.**



Слика 2. Локације узорковања у сливу ријеке Дрињаче

Табела 1. Аналитичке методе предвиђене за хемијску анализу елемената, оксида и других параметара

ЕЛЕМЕНТ, ОКСИД, ПАРАМЕТАР	АНАЛИТИЧКА МЕТОДА	ЕЛЕМЕНТ, ОКСИД, ПАРАМЕТАР	АНАЛИТИЧКА МЕТОДА
Au	*FA/AAS	Tb	ICP-MS
Ag	*ICP-MS	Tm	ICP-MS
As	ICP-MS	Y	ICP-MS
B	ICP-MS	Yb	ICP-MS
Ba	ICP-MS	Pt	FA/ICP-MS
Be	ICP-MS	Pd	FA/ICP-MS
Bi	ICP-MS	Ir	FA/ICP-MS
Cd	ICP-MS	Rh	FA/ICP-MS
C	*TOC	Ru	FA/ICP-MS
Cl ⁻	*IS	SiO ₂	*XRF
Co	ICP-MS	Al ₂ O ₃	XRF
Cr	ICP-MS	Fe ₂ O ₃	XRF
Cs	ICP-MS	FeO	*V
Cu	ICP-MS	MgO	XRF
F	IS	CaO	XRF
Ga	ICP-MS	Na ₂ O	XRF
Ge	ICP-MS	K ₂ O	XRF
Hf	ICP-MS	MnO	XRF
Hg	*ICP-AES	P ₂ O ₅	XRF
I	*COL	TiO ₂	XRF
In	ICP-MS	Dy	ICP-MS
Li	ICP-MS	Er	ICP-MS
Mn	ICP-MS	Eu	ICP-MS
Mo	ICP-MS	Gd	ICP-MS
N	EA	Ho	ICP-MS
Nb	ICP-MS	La	ICP-MS
Ni	ICP-MS	Lu	ICP-MS
P	ICP-MS	Nd	ICP-MS
Pb	ICP-MS	Pr	ICP-MS
Rb	ICP-MS	Sm	ICP-MS

**Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.**

ЕЛЕМЕНТ, ОКСИД, ПАРАМЕТАР	АНАЛИТИЧКА МЕТОДА	ЕЛЕМЕНТ, ОКСИД, ПАРАМЕТАР	АНАЛИТИЧКА МЕТОДА
S	*ACS	W	ICP-MS
Sb	ICP-MS	Zn	ICP-MS
Sc	ICP-MS	Zr	ICP-MS
Se	ICP-MS	Ce	ICP-MS
Sn	ICP-MS	U	ICP-MS
Sr	ICP-MS	V	ICP-MS
Ta	ICP-MS	H ₂ O ⁺	*G.Ž.
Te	ICP-MS	CO ₂	*TOC
Th	ICP-MS	Total Fe ₂ O ₃	XRF
Ti	ICP-MS	Org. C	TOC
Tl	ICP-MS	pH	*DP

*AAS-атомска апсорпциона спектрофотометрија, FA-пламена анализа племенитих метала /купелација/, ICP-AES-атомска емисиона спектрометрија са индуктивно спрегнутом плазмом, ICP-MS-масени спектрометар са индуктивно спрегнутом плазмом, V-волуметрија, DP-директна потенциометрија, TOC-тотални органски угљеник, G.Ž.-губитак жарењем, XRF-рендгенско флуоресцентна анализа, ACS-анализатор угљеника и сумпора, IS-јон-селективна електрода.

Добијени подаци након завршених теренских узорковања и лабораторијских испитивања су предмет статистичке обраде и прорачуна основних статистичких параметара који ће заједно са картама дистрибуције појединих елемената бити приказани у Геохемијском атласу РС.

Резултати и дискусија

Геохемијска истраживања и испитивања на простору РС представљају вишегодишњи пројекат и на самом почетку се не може говорити о значајнијим резултатима јер ће се статистичка обрада података вршити по завршетку анализа свих узетих узорака. Формирање базе података, статистичка анализа и израда карата просторне расподеле елемената извршиће се у програмским пакетима ArcMap, Surfer и SPSS.

Досадашњим истраживањима прикупљени су узорци са 40 локација из слива ријеке Дрине. У оквиру слива Сашке ријеке прикупљено је 13 узорака (10 узорака overbank седимената, 2 узорка floodplain седимената и 1 stream седимент), док је у сливу ријеке Дрињаче прикупљено 55 узорака (47 узорака overbank седимената, 3 узорка floodplain седимената и 5 stream узорака) што чини укупно 68 узорака. У наредном тексту даје се кратак приказ добијених резултата за олово, арсен и живу у сливу Сашке ријеке и ријеке Дрињаче. Наведени елементи су приказани с обзиром на њихов потенцијално штетан утицај на животну средину односно могућност указивања геохемијских аномалија које су значајне за проспекцију лежишта минералних сировина.

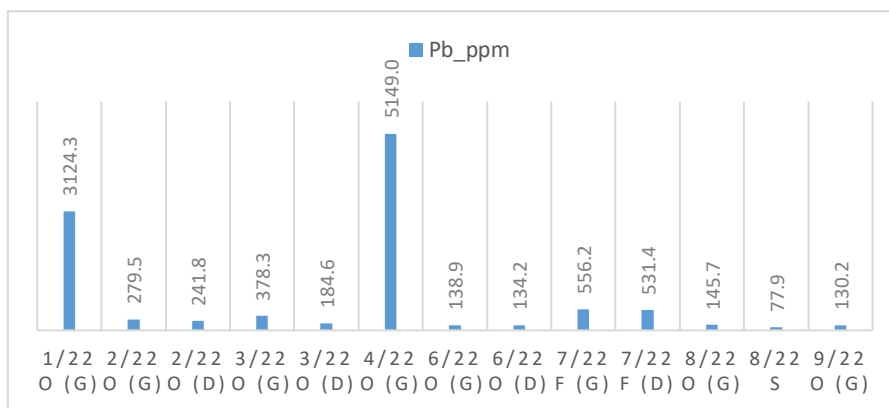
Олово (Pb) је хемијски елемент атомског (редног) броја 82 и атомске масе 207,2. Оксифилан је елемент и по појављивању у Земљиној кори налази се на 36. мјесту. Може се јављати са калијумом у алуминосиликатним стијенама. Према В. Ј. Alloway (2012), просјечна концентрација олова у магматским

Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.

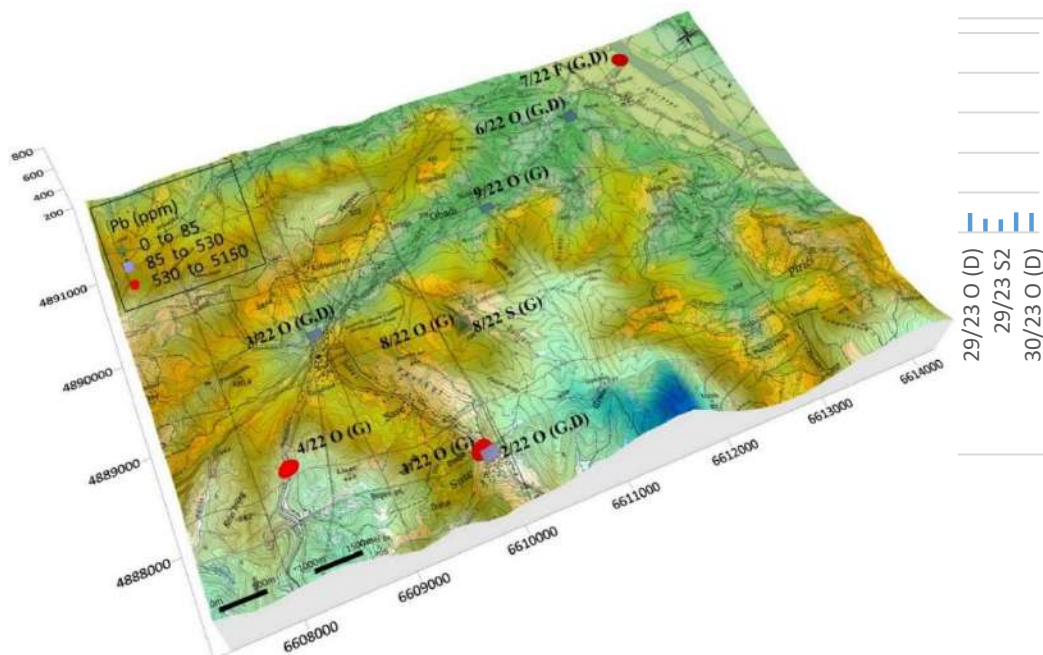
стијенама износи 12,5 ppm, у седиментним стијенема 20 ppm, док се концентрације у земљишту крећу у распону од 2 до 80 ppm, са средњом вриједношћу од 14 ppm. Концентрације олова у земљишту које су веће од 100 ppm сматрају се повишенима. Олово се не разлаже и не нестаје током времена, већ се акумулира у земљишту. Има широку примјену у различитим индустријама, иако је због своје токсичности и због еколошког ризика употреба и експлоатација олова знатно смањена у многим земљама. У животну средину олово најчешће долази из бензина, угља, отпада, рударењем и радом топионица те употребом пигмената, хемикалија, стабилизатора у пластици, акумулатора и вјештачких ђубрива (фосфата). Концентрације олова у сливу Сашке ријеке и ријеке Дрињаче дате су на Дијаграмима 1 и 2 (слике 3 и 4).

Према Правилнику о граничним и ремедијационим вриједностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту (Службени гласник Републике Српске, бр. 82/21), гранична вриједност олова је 85, а ремедијациона вриједност је 530 (изражено у mg/kg апсолутно суве материје).

Уочљиво је да су у сливу Сашке ријеке скоро све (сем једне) вриједности изнад граничне (слика 5), а чак три изнад ремедијационе вриједности. Концентрације олова изнад ремедијационих вриједности утврђене су у узорцима 1/22 overbank - горњи слој (непосредна близина манастира Сасе), 4/22 overbank - горњи слој (поток из једне од јама рудника) и 7/22 floodplain - горњи и доњи слој (ушће Сашке ријеке у Дрињачу



Слика 3 Дијаграм 1- Концентрације олова у сливу Сашке ријеке



Слика 4 Дијаграм 2- Концентрације олова у сливу ријеке Дрињаче

Повишене и високе концентрације олова у сливу Сашке ријеке су несумњиво геогеног типа и представљају примјер како ће у наредном периоду, током израде Геохемијског атласа РС, одређени сливови (подручја) који су предмет истраживања, након лабораторијских испитивања узорака и обраде добијених података, указати на геохемијске аномалије појединих елемената на истраживаном подручју. Због насељености подручја у којима су измјерене високе концентрације олова – концентрације више од ремедијационе вриједности одређене Правилником, неопходно је урадити специјалистичке студије и додатне анализе како би се дошло до сазнања како и у којој мјери ове концентрације олова у земљи утичу на животну средину.

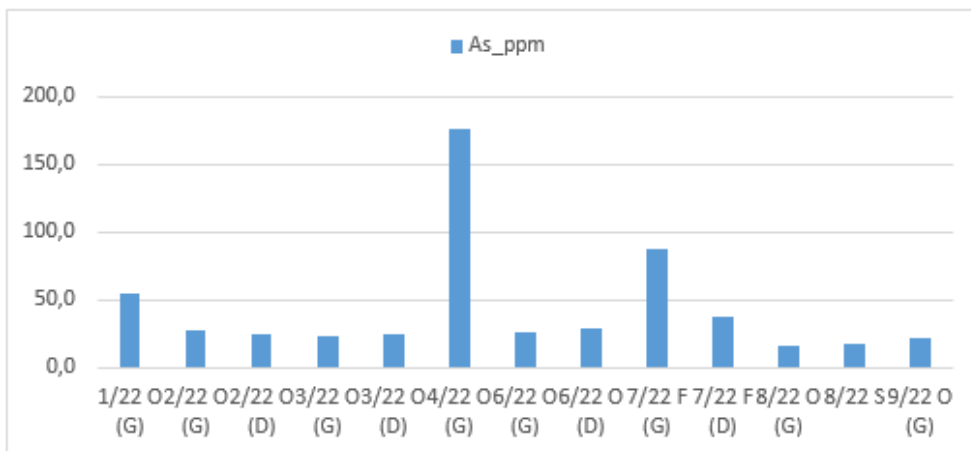
Слика 5 Концентрације олова у сливу Сашке ријеке

У сливу ријеке Дрињаче, из приказаног дијаграма, може се закључити да је само једна вриједност концентрације олова изнад граничне. Она је утврђена код узорка узетог у близини ушћа Дрињаче у ријеку Дрину (11/22 floodplain - горњи слој). Концентрације олова испод граничне вриједности прописане Правилником, указују на ненарушеност животне средине. Аномална вриједност код узорка 11/22 floodplain - горњи слој (ушће Дрињаче у Дрину – испод магистралног пута R453), вјероватно је последица антропогених утицаја.

Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.

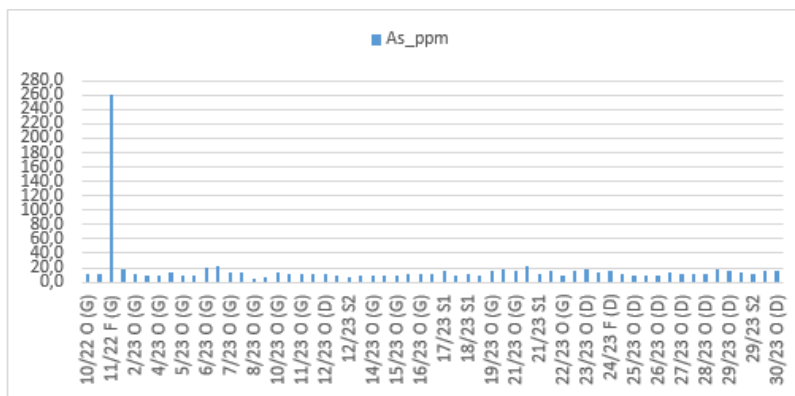
Арсен (As) је халкофилан елемент и налази се на 53. мјесту најчешћих хемијских елемената на Земљи. Вриједност кларка за арсен износи 1,7 ppm. Минерали носиоци арсена су: арсенопирит, лолингит, реалгар, аурипигмент као и арсеном богати рудни минерали никла и кобалта. Такође, чест је у асоцијацији са живом, антимоном и бизмутом. Према В. Ј. Alloway (2012), просјечна концентрација арсена у базичним магматским стијенама је од 0,5 до 2,5 ppm, док је у киселим магматским стијенама од 1 до 2,5 ppm. Просјечна концентрација арсена у седиментним стијенама је сљедећа: у пјешчарима од 0,5 до 1,2 ppm, у кречњацима од 1 до 2,5 ppm и у глинцима од 5 до 13 ppm. У земљиштима, веће концентрације арсена су забиљежене у глиновитом него у пјесковитом узорку земљишта. Концентрације арсена у подземним и неким геотермалним водама су промјенљиве и под утицајем су геохемијских својстава геолошких формација у оквиру којих се налазе. Главни извори загађења земљишта и подземних вода арсеном су: људски фактор (хербициди, инсектициди, фунгициди и додатак прихрани у свињогојству), испирање арсена из геолошких формација богатих истим, трошење рудне јаловине богате арсеном и поједини геотермални извори. Соли тровалентног арсена су веома отровне и изазивају тешке болести док су соли петовалентног арсена неотровне и имају јако бактерицидно дејство. Важно је нагласити да уношењем великих количина петовалентног арсена у организам, долази до његовог редуковања до токсичних соли тровалентног арсена.

Концентрације арсена у сливу Сашке ријеке и ријеке Дрињаче дате су на Дијаграмима 3 и 4 (слчике 6 и 7).



Слика 6 Дијаграм 3- Концентрације арсена у сливу Сашке ријеке

**Округли сто: Рударство као прилика за привредни развој и еколошки изазови,
Приједор, 2024.**



Слика 7 Дијаграм 4- Концентрације арсена у сливу ријеке Дрињаче

Према Правилнику о граничним и ремедијационим вриједностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту (Службени гласник Републике Српске, бр. 82/21), гранична вриједност арсена је 29, а ремедијациона вриједност је 55 (изражено у mg/kg апсолутно суве материје).

У сливу Сашке ријеке регистроване су три вриједности изнад граничне (једна вриједност скоро једнака ремедијационој) и двије вриједности изнад ремедијационе. Концентрације арсена изнад ремедијационих вриједности измјерене су у узорцима 4/22 overbank - горњи слој (поток из једне од јама рудника) и 7/22 floodplain - горњи слој (ушће Сашке ријеке у Дрињачу), док је у узорку 1/22 overbank-горњи слој (непосредна близина манастира Сасе) измјерена вриједност скоро једнака ремедијационој (54,2 ppm).

Све утврђене концентрације арсена у сливу ријеке Дрињаче су испод граничних вриједности (слика 8), сем концентрације добијене у узорку 11/22 floodplain - горњи слој (ушће Дрињаче у Дрину) гдје је концентрација арсена 5 пута већа од ремедијационе вриједности према Правилнику.

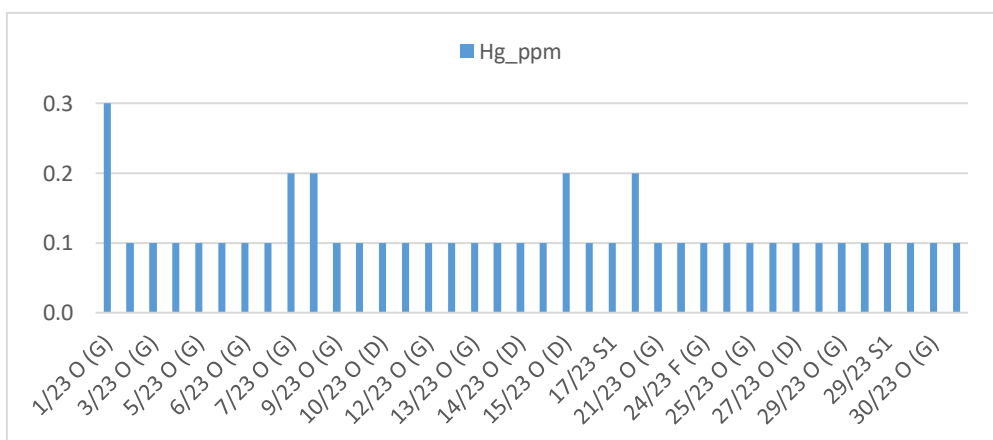


Слика 8 Концентрације арсена у сливу ријеке Дрињаче

Високе концентрације арсена измјерене у сливу Сашке ријека и ријеке Дрињаче могу имати утицај како на човјека, тако и на локални екосистем укључујући рибе, биљни и животињски свијет који зависе од тих вода.

Жива (Hg) је сребрнобијели метал са изразито халкофилним својствима. Једини је метал који се у нормалним условима налази у течном агрегатном стању. Жива је заступљена у Земљиној кори у количини од 0,05 ppm. Најважнији минерали живе су цинабарит (HgS – до 86% Hg) и каломел. Просјечна концентрација живе у базичним магматским стијенама је од 0,01 до 0,09 ppm, док је у киселим магматским стијенама просјечна концентрација 0,08 ppm. Просјечна концентрација живе у седиментним стијенама је сљедећа: у пјешчарима 0,03 ppm, у карбонатима 0,04 ppm и у глинцима 0,7 ppm. Штетност живе произилази из њене способности да се акумулира у живим организмима, што може довести до озбиљних неуролошких проблема, оштећења бубрега, проблема са видом и репродуктивним системом. Такође, жива може да изазове оштећење екосистема (посебно воденог), што има дугорочне посљедице на животињски и биљни свијет. Када се налази везана са хлоридним комплексима врло је мобилна. Задржавање живе у тлу и седиментима узрокује везивање на оксиде мангана и жељеза, честице глине и органску материју те узрокује преципитацију сулфида. У горњим слојевима жива и њени комплекси вежу се за органску материју док је у дубљим слојевима земљишта жива најчешће везана за минерале глина, посебно монтморионит и каолинит. У околину, посебно воде, најчешће долази преко отпада хемијске индустрије.

Концентрације живе у сливу ријеке Дрињаче дате су на Дијаграму 5 (слика 9). Концентрације живе у свим узорцима, у сливу Сашке ријеке, су испод прага детекције.



Слика 9 Дијаграм 5- Концентрације живе у сливу ријеке Дрињаче

Према Правилнику о граничним и ремедијационим вриједностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту (Службени гласник Републике Српске, бр. 82/21), гранична вриједност је 0,3 mg/kg док ремедијациона вриједност износи 10 mg/kg.

У сливу ријеке Дрињаче, утврђене концентрације живе испод прага детекције нису приказане на датом дијаграму, док су у свим осталим прикупљеним узорцима концентрације испод граничне вриједности, осим узорка 1/23 overbank - горњи слој, гдје је измјерена вриједност једнака граничној (0,3 ppm).

Умјесто закључка

Геохемијски атлас Републике Српске представља дугогодишњи пројекат који је започет крајем 2022. године. Досадашњим геохемијским узорковањем седимената (overbank, floodplain and stream) завршена су пројектна подручја која припадају сливу Сашке ријеке и ријеке Дрињаче.

Састав stream, overbank и floodplain седимената даће податке о "затеченом стању", односно постојању или непостојању загађености појединих медија као и податке о могућим геохемијским аномалијама појединих елемената.

Реализацијом пројекта Геохемијског атласа РС, уз примјену најсавременијих метода, формираће се база геохемијских података која ће бити усклађена са стандардима глобалне европске геохемијске базе података. Резултати предвиђених геохемијских истраживања директно су примјенљиви у утврђивању дистрибуције хемијских елемената који имају геогено или антропогено поријекло а који указују на стање животне средине, односно користе у дефинисању животно угрожених простора (актуелна и историјска загађења) и заштити животне средине те у перспекцији лежишта минералних сировина гдје служе као индикатори за орудњења.

Референце/Литература

- В.Ј Alloway, 2012. *Heavy Metals in Soils*, Vol. 22, Springer, Dordrecht, 241-272, 395-404, 411-424.
- Б. В. Ђокић, Ј. Ковачевић, Р. Гајић, П. Стејић, Д. Барјактаровић, П. Мијатовић, Д. Јовановић, А. Гулан, (2016). *Геохемијска карта Републике Србије*, Геолошки завод Србије, фонд, Београд.
- Група аутора, 2010. *Геолошки атлас Србије 1:2 000 000*, Министарство животне средине и просторног планирања Републике Србије, Београд.
- Група аутора, 2011. *Минералне сировине Републике Српске*, Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске, Зворник.

- Група аутора, 2015. *Програм за израду геохемијске карте Републике Српске 1: 300 000*, Републички завод за геолошка истраживања Републике Српске, Зворник.
- R. Salmien, T. Tarvainen, A. Demetriades, et al., 1998. *FOREGS Geochemical Mapping Field Manual*, Geological Survey of Finland, Espoo.
- W. De Vos, T. Tarvainen, R. Salminen, et al., 2006. *Geochemical Atlas of Europe- Part 2, Interpretation of Geochemical maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications*, Geochemical Survey of Finland, Espoo.
- J. Халамић, С. Мико, 2009. *Геохемијски атлас Републике Хрватске*, Хрватски геолошки Институт, Загреб.
- Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace elements from soil to humans*, Springer, Berlin, 308-318, 368-378, 381-389.
- Правилник о граничним и ремедијационим вриједностима загађујућих, штетних и опасних материја у земљишту, Службени гласник Републике Српске, бр. 82/21, Министарство за просторно уређење, грађевинарство и екологију.