
Mūšos ir Nemunėlio baseinų upių nuosėdų geocheminiai ypatumai

Alfredas Radzevičius,
Olga Vareikienė

Radzevičius A., Vareikienė O. Geochemical peculiarities of river sediments of the Mūša and the Nemunėlis basins. *Geologija*. Vilnius, 2001. No. 33. P. 18–28. ISSN 1392–110X.

Microelement composition of river sediments of the Mūša and the Nemunėlis basins was analysed and regional background concentrations of elements were established. It has been determined that regional background concentrations of microelements – potential pollutants in river sediments of the Nemunėlis and the Mūša basins are similar to their background concentration in river sediments of Lithuanian clayey basins. Associations of microelements distinguished in each basin reflect the influence of natural geochemical barriers and anion–cation complexes of silt, river stream and bottom water on microelement distribution in bottom sediments. The influence of human economic-industrial activities on the quantitative and qualitative composition of the distinguished associations in technogenically affected bottom sediments is estimated. Rows of microelement accumulation intensities have been established in the Mūša basin ($Cr > Ni > Ag > Cu > Sn > Zn > Mo > Pb > Sr > Mn > P > Ba$), and the Nemunėlis basin ($Cu > Ag > Pb > Zn > Sn > Ni$) and the geo-hygienical evaluation of bottom sediments is presented. According to this evaluation, sediments of the Kulpė and the Mūša rivers reach dangerous and extremely dangerous levels of pollution.

Keywords: microelement – potential pollutant, regional background concentration, accumulation coefficient, accumulation intensity, geochemical barriers

Received 7 January 2001, accepted 13 February 2001.

Alfredas Radzevičius, Olga Vareikienė. Institute of Geology, T. Ševčenkos 13, LT-2600 Vilnius, Lithuania

ĮVADAS

Šiuolaikinės upių nuosėdos – tai sudėtingos mechaninės, mineralinės ir cheminės sudėties polidispersinė heterogeninė sistema, jautri ją supančios aplinkos fizinių ir cheminių sąlygų pokyčiams. Paprastai upių nuosėdų mineralinė dalis susidaro iš upių krantų supančio kraštovaizdžio įvairaus cheminio ir mechaninio brandumo podirvio uolienuų arba dirvožemio sudedamųjų dalių. Be to, susidaryme dalyvauja ir upės vagoje susiformavusi negyva ir netolygiai suriusi biomasė, mangano, geležies ir kitų elementų hidroksidai. Pastaraisiais dešimtmečiais itin svarbiu veiksmu, lėmusiu upių nuosėdų makro- ir mikroelementinę sudėtį, tapo žmogaus gamybinė bei ūkinė veikla. Ši veikla neaplenkė ir Šiaurės Lietuvos karstinio regiono upių baseinų. Pirmieji gamtos „pertvarkos“ darbai regione siekia XVI a., kai Agluonos ir Apaščios upių santakoje buvo suformuotas pirmasis Lietuvoje dirbtinis Širvėnos ežeras, užimantis apie

400 ha plotą. Susikaupę paviršiniai vandenys ir pakilęs gruntinių vandenų lygis pakeitė šių upių slėniuose natūralių gamtinių geocheminių procesų eigą. Visą karstinį regioną paveikė šio šimtmečio 7-ajame ir 8-ajame dešimtmetyje atlikti melioracijos darbai ir itin suintensyvėjusi žemdirbystė bei sodininkystė. Dėl šios įtakos pasikeitė ne tik Mūšos ir Nemunėlio baseinų hidrografinio tinklo hidrodinaminis režimas, bet ir natūralūs gamtiniai geocheminiai procesai. Karstinio regiono upių baseinus sudarančiame dirvožemyje ir podirvio uolienose susilpnėjo glėjiniai ir suaktyvėjo jauriniai procesai, paspartinę ne tik daugelio elementų išnešimą į paviršinio vandens telkinius, bet ir jų koaguliaciją bei kaupimąsi susidarančiame dumble.

Aišku, neliko nuošalyje ir intensyvi urbanizuotų teritorijų plėtra ir jų infrastruktūrų vystymasis. Šios teritorijos, netolygiai išsidėsčiusios išilginiuose upių profiliuose, pasižymi pulsuojančiu, kartais uragani-

niu teršalų išmetimu. Tai iš esmės pakeičia migracinės ir sedimentacinės terpės fizinius ir cheminius procesus bei elementų ir jų migracinių formų tarpusavio santykius, lemia netolygų elementų-teršalų pasiskirstymą nuosėdose. Todėl upių nuosėdose susidaro labai didelė daugelio elementų koncentracija, pasiekianti pavojingą žmogui ir biotai lygį. Elementų pasiskirstymo dėsningumus aktyvaus karsto zonos (Biržų ir Pasvalio rajonai) upių dumblo glaustai apžvelgė V. Katinas (Katinas, 1998).

Šio darbo tikslas: išanalizuoti elementų pasiskirstymo dėsningumus Mūšos ir Nemunėlio baseinų upių dugno nuosėdose, įvertinti kiekybinę ir kokybinę elementų asociacijų, susidarančių dėl natūralių gamtinių geocheminių procesų, sudėtį, atskirti jas nuo nuosėdose susidariusių technogeninių elementų asociacijų ir įvertinti technogeninės apkrovos intensyvumą bei kaitą išilginiuose regiono upių profiliuose.

METODIKA

Darbe panaudota Lietuvos upių dugno nuosėdų (peliniai dumblai) kartografavimo M 1 : 1000000 medžiaga ir Geologijos instituto Geochemijos sektoriuje susikaupę ankstesnių geocheminių tyrimų duomenys. Mėginių paėmimo, paruošimo, laboratorinių tyrimų metodika ir panaudoti matematiniai-statistiniai metodai detalčiai aprašyti ankstesniuose darbuose (Kadūnas, Budavičius ir kt., 1999; Radzevičius, 1998).

Įvertinant upių dumblo technogeninės apkrovos mastą ir išskiriant būdingas elementų-teršalų asociacijas galima naudoti kiekvieno elemento foninę reikšmę (Radzevičius, 1999). Šiuo atveju buvo atsižvelgta į mikroelementų-teršalų regioninį (baseino) foninį kiekį. Tai, mūsų nuomone, leido tiksliau įvertinti sudėtingų natūralių gamtinių geocheminių procesų ir įvairiarūšės technogeninės apkrovos įtaką mikroelementų koncentracijai ir sklaidai išilginiuose karstinio regiono upių profiliuose. Regioniniam (baseino) mikroelemento fonui F_b apskaičiuoti panaudotas nuoseklus anomalijų ($< x - 2S$ ir $> x + 2S$) reikšmių atmetimas kol gaunama žemiausia kvadratinio nuokrypio reikšmė. Šiuo atveju mikroelemento regioninis fonas atitinka medianinę koncentraciją, t. y. $F_b = Md$. Mikroelementų kaupimosi intensyvumo eilei išskirti buvo sudaroma nauja anomalinių reikšmių aibė ir įvertinami jos matematiniai-statistiniai parametrai (aritmetinis vidurkis, mediana, standartinis nuokrypis ir kt.). Mikroelemento kaupimosi koeficientas K_i apskaičiuotas pagal formulę $K_i = X_E / F_b$; čia X_E – mikroelemento aritmetinis vidurkis anomalinių mėginių aibėje, F_b – mikroelemento regioninis fonas. Reikšmė $K_i > 1$ rodo, kad mikroelementai, veikiami gamtinių procesų (geocheminiai barjerai) arba antropogeninių veiksmų, kau-

piasi baseino upių dugno nuosėdose. Variacijos koeficientas apibūdina anomalines geochemines sąlygas, lėmusias mikroelemento kaupimosi intensyvumo kaitą. Kai mikroelemento $K_i < 1$, baseine vyrauja nepalanki aplinka mikroelementui kauptis dugno nuosėdose. Baseine išskirta mikroelementų kaupimosi eilė K_i yra nevienalytė – į ją įeina technogeninės ir gamtinės paragenetinės mikroelementų asociacijos. Joms atskirti panaudota elementų tarpusavio koreliacinio ryšio ir išrūšiuota faktoriinių apkrovų matricos. Pastaroji gauta pagrindinių komponentų metodu, panaudojant atitinkamą SPSS Win programą. Tai leido mikroelementų kaupimosi eilėje atskirti asociacijas viena nuo kitos. Mikroelementų porinės koreliacijos koeficientų kritinės ribos dydis ir kiekvieno jų faktoriinės apkrovos reikšmingumo duotajam faktoriui absoliučios reikšmės tapačios. Jos priklauso nuo tų pačių kintamųjų – mėginių skaičiaus aibėje ir pasiklovimo lygmens. Atsižvelgus į tai, į asociacijų sudėtį buvo įtraukti tik tie mikroelementai, kurie duotajam faktoriui turi reikšmingą apkrovą, kai pasiklovimo lygmuo – 95%. Išskirtų mikroelementų asociacijų užrašymo tvarka yra ši: kairėje kiekvienos mikroelementų asociacijos pusėje pateikiami mikroelementai, formuojantys pagrindinę duotojo faktoriaus (asociacijos) teigiamą apkrovą. Šių mikroelementų koreliacinis ryšys su faktoriumi yra tampriausias. Skliausteliuose pateikiami mikroelementai sudaro kurio nors kito faktoriaus pagrindinę apkrovą, o duotajame faktoriuje (asociacijoje) atspindi tik reikšmingą apkrovą. Jie esminiu teigiamu koreliaciniu ryšiu susiję vienas su kitu ir pagrindiniais asociacijos mikroelementais. Dešinėje $< == >$ pusėje išdėstyti mikroelementai, sudarantys duotojo faktoriaus neigiamą apkrovą. Tarp savęs šie mikroelementai susiję esminiu teigiamu koreliaciniu ryšiu, o su pagrindiniais ir šalutiniais asociacijos mikroelementais turi atvirkštinę koreliaciją arba jos neturi.

REZULTATŲ APITARIMAS

Litogeniniai ir klastogeniniai mikroelementai Mūšos ir Nemunėlio baseinų upių nuosėdose pasiskirstę tolygiau nei elementai – potencialūs teršalai. Pastarųjų koncentracija labai kaiti Mūšos baseino upių dumblo (1 lentelė). Šio baseino upėse susiformavęs dumbblas pagal maksimalią Cr, Ni, Cu koncentraciją atitinka penktą – pavojingiausią žmogaus organizmui ir biotai kategoriją (LAND 20–96). Nemunėlio baseino upių dumblo šių mikroelementų kiekiai ženkliai mažesni. Daugumos mikroelementų – potencialių teršalų – regioninė (baseino) foninė koncentracija nedaug skiriasi nuo Lietuvos molingų baseinų upių foninės koncentracijos. Išimtį sudaro tik Pb. Jo regioninė foninė koncentracija Mūšos baseino upių nuosėdose 23,5%, o Nemunėlio baseine 34,5%

viršija foninę koncentraciją Lietuvos molingų baseinų upių nuosėdose. Klastogeninių (Zr, Nb) ir litogeninių (Ga, B, V) elementų regioninė foninė koncentracija mažesnė. Priežastis, matyt, yra aktyvesnė biomasės sedimentacija (kaitinimo nuostolis Mūšos baseine išauga iki 57,6%, o Nemunėlio baseine – 41,2%) (1 lentelė).

Upių nuosėdose natūralių gamtinių geocheminių procesų metu susikaupusių elementų kiekis turėtų būti artimas regioninėms reikšmėms. Mūšos baseino upių nuosėdose, be pagrindinės, nuosėdų mineralinę dalį apibūdinančios mikroelementų asociacijos (2 lentelė), išsiskyrė antra pagal svarbą Zn–Cu–Pb–Sn–(P–Ag) asociacija, susidariusi šarminio-glėjinio geocheminio barjero veikimo zonoje. Skirtingas migracines savybes vandenyje turintys mikroelementai

(1 lentelė) į upių nuotėkį patekdavo jonų pavidalu iš jaurinių ir glėjinių procesų paveiktų dirvožemių ir podirvio uolienu. Mūšos baseino upėse šarminis-glėjinis geocheminis barjeras galėjo susidaryti natūraliose upių patvankose arba užutėkiuose sumažėjus vandens kinetinei energijai ir suaktyvėjus sedimentaciniams procesams bei fotosintezei, taip pat pakitus vandens temperatūriniam režimui. Dėl jų įtakos sumažėjo CO₂ koncentracija upės ir dumblo vandenyje. Atstatant sutrikusios karbonatinės sistemos pusiausvyrą, išaugo CO₃²⁻ koncentracija, pakeitė migracinės ir sedimentacinės terpės pH. Aplinka tapo šarminesne. Be to, susilpnėjus hidrodinaminiam režimui, silpnėjo arba visiškai užgesdavo aeraciniai procesai, sumažinę deguonies kiekį ir pakeitę susidarancio dumblo oksidacinį-redukcinį po-

1 lentelė. Mikroelementų kiekis (ppm) karstinio regiono vandens telkinių nuosėdose
Table 1. Microelement content in bottom sediments of water reservoirs of the karst region, ppm

Elementas Elements	Fonas*	Mūšos baseinas Mūša basin				Nemunėlio baseinas Nemunėlis basin				Migracijos vandenyje koeficientas** Coefficient of water migration**
		Md	X	Min	Max	Md	X	Min	Max	
Li	13,8	14,5	17,4	6,6	42,9	14,8	13,9	6,2	39,1	0,57
B	36	33,2	33,6	12,9	77,9	28,5	28	14,6	62,4	8,3
Ga	9,3	7,8	7,3	2,3	16,8	9	8,1	3,9	14,4	0,04
Mn	1100	630	900	220	4230	770	1100	350	3820	0,12
Ti	1800	1850	1850	440	4160	1730	1840	490	3820	0,01
V	30,7	34,4	35,5	3,5	61,8	30,8	32	9,7	66	0,1
Cr	34,9	34	1188,2	8,9	8522	31,4	31,3	13,1	47,8	2,9
Co	5,5	6,3	6,2	1,2	10,6	5,8	6	2,4	11,7	0,34
Ni	13,7	13,9	272,5	5,3	2316,1	11,6	13	6,5	34,8	0,45
Cu	12,8	12,8	108,6	1,3	630	11,2	27,7	2,9	272,7	2,64
Zn	55,4	56,4	221,6	5,6	1854,7	44,1	50,5	6,9	156,6	3,27
Pb	11,9	14,7	23	4,8	71,5	16	20,5	9,4	70,9	0,52
Mo	1,2	0,92	1,8	0,27	7,24	0,86	0,92	0,54	2,24	6,38
Ag	0,08	0,08	1,06	0,03	9,27	0,09	0,12	0,04	0,8	52,08
Sn	2,7	2	8,3	0,6	57,2	2,1	2,4	0,6	8,3	1,56
Zr	250	160	180	40	561	160	190	40	430	0,13
Nb	14,9	8,3	10,2	1,8	25,9	10,3	11,5	3,8	23,9	
Y	17,9	21,2	21,5	2,7	73,7	19,3	19,6	6,8	35,4	0,16
La	27,7	24,3	32,9	4,6	102,7	26,2	26,7	6,8	56,5	
Yb	1,7	2	2	0,3	7,1	1,9	2,1	0,5	4	
Sc	6,7	6,3	7,5	0,7	16,1	4,7	5,7	0,7	12,1	0,03
Sr	108	103	156	38	364	88	89	30	120	2,9
Ba	470	400	460	90	1450	550	540	110	1850	0,25
P	–	620	960	180	4260	1180	1400	100	4250	
KN	–	–	17,2	1,2	57,6	–	11,7	1,3	41,2	

Pastaba: Fonas* – foninė elemento koncentracija Lietuvos molingų baseinų upių dumblyje; Md – mediana (regioninis fonas) po nuoseklaus anomalijų atmetimo, esant mažiausiai vidutinio kvadratinio nuokrypio reikšmei; X – aritmetinis vidurkis; Min – minimali ir Max – maksimali elemento koncentracija vandens telkinių dumblyje; KN – kaitinimo nuostolis 450°C temperatūroje %.

* – background values of microelements

** – pagal (Добровольский, 1983)

** – according to (Добровольский, 1983)

tencialą (Eh). Patekę į šią aplinką Zn, Cu, Pb, Sn reagavo su priedugnio ir dumblo vandenyje esančiu anijoniniu kompleksu. Susidarę netirpūs fosfatai ir karbonatai kaupėsi upių nuosėdose, o tarp šios asociacijos mikroelementų susidarė esminiai teigiami koreliaciniai ryšiai. Asociacijos mikroelementų kaupimosi intensyvumui įtakos turėjo susikaupusių koloidinių dalelių, molio mineralų kiekis nuosėdose bei jų sorbcinis imlumai. Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ag^+ , Sn^{2+} jonai, patekę į šio geocheminio barjero veikimo zoną, neadekvačiai dalyvavo mainų reakcijoje. Kaip žinia, smulkiadispersinės dalelės aktyviau sorbuoja aukštesnio valentingumo jonus. To paties valentingumo jonų aktyvumas mainų reakcijoje tiesiog proporcingas jo atominiam svoriui. Matyt, todėl tarp Pb ir tipiško litogeninio mikroelemento Ga susidarė ryškiausia teigiama koreliacija (2 lentelė). Sedi-mentacinėje aplinkoje padidėjus Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg^{2+} jonų kiekiui mainų reakcija sulėtėdavo arba visiškai užgesdavo. Šie jonai buvo įnešami iš ardamos sulfatinės storumės. Dalis mikroelementų sudarydavo vandenyje tirpius sulfatus ir migruodavo išilginiais upių profiliais, o įneštas negausus Cl^- anijonų kiekis išeliminavo dalį Ag^+ iš judraus vandenyje katijoninio komplekso sudarydamas $AgCl$ nuosėdas. Aniogeniniai elementai Cr, Mo, V ir kiti, kai $pH > 7$, sudarydavo judrius kompleksinius junginius CrO_4^{2-} , MoO_4^{2-} , VO_3^- ir migruodavo už šio geocheminio barjero veikimo ribų.

Išilginuose Mūšos baseino upių profiliuose tiek susidarančių nuosėdų storumei, tiek pratekančio van-

dens karbonatinės sistemos nestabilumui įtakos turėjo suaktyvėjusi biomasės sedimentacija ir jos irimas. Susikaupusios biomasės oksidacijos metu dumblo ir poriniuose vandenyse padidėdavo CO_2 kiekis. Sutrikusios karbonatinės sistemos pusiausvyra buvo atstatoma reakcijos ($CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$) dėka, o susidaręs dumbblas tapdavo rūgštesnis. Jame mažėjo karbonatinių jonų (CO_3^{2-}) koncentracija. Vandeniui ir susidarančioms nuosėdoms kontaktuojant su dolomitinėmis uolienomis vyko pastarųjų tirpinimas iki susidarydavo nauja pusiausvyra tarp HCO_3^- ir CO_2 ir tarp CO_3^{2-} ir Ca^{2+} . Be to, vykstant Mūšos, Tatulos, Upytės ir kt. upių vagose atsidengusių gipsingų-dolomitingų sluoksnių dedolomitizacijai dumblo ir priedugnio vandenyje išaugo Ca^{2+} ir Mg^{2+} jonų koncentracija. Padidėjęs šių jonų kiekis slopino mainų reakcijos intensyvumą tarp jonų forma migruojančių elementų ir nuosėdose susikaupusių molio mineralų. Šiose atkarpose nuosėdų oksidacinio-redukcinio potencialo kaitai įtakos turėjo ne tik susidariusios biomasės, bet ir ardomuose dolomitinguose sluoksniuose esančio prito oksidacija. Susidarius glėjinei-rūgštinei aplinkai, dalis Ca^{2+} , Mg^{2+} jonų buvo išnešami iš nuosėdų, o Sr, Ba, Cu, Zn, Mn, Ni, Co migravo už šio geocheminio barjero veikimo zonos (2 lentelė). Susidariusiose nuosėdose aktyviausiai kaupėsi biogeninės Mo, B, Sc formos. Tai patvirtina glaustas šių mikroelementų koreliacinis ryšys su nuosėdų kaitinimo nuostoliu. Dalis Mo į šias nuosėdas patekdavo ir kaip tirpūs anijonai. Atneštas MoO_4^{2-} pavidalu, kaip ir biogeninė jo for-

2 lentelė. Elementų asociacijos ir jų tarpusavio koreliacinis ryšys Mūšos baseino upių nuosėdose
Table 2. Associations of microelements and their correlation links in river sediments of the Mūša basin

Co	Ti	V	Yb	Ni	Y	Cr	La	Zr	Sc	Zn	Cu	Pb	Sn	B	Mo	Nb	Ag	Mn	Ba	Ga	P	Li	Sr	KN	pH	
64																										
73	65																									
56	60	59																								
68	61	66	42																							
64	62	69	66	66																						
59	56	59	53	55	32																					
58	69	60	44	37	51	45																				
64	62	54	52	46	57	40	54																			
52	51	52	37	61	63	34	41	36																		
10	39	47	34	25	30	36	35	34	12																	
22	36	45	80	34	39	47	33	35	13	80																
18	27	20	59	10	7	51	23	25	-15	59	61															
0	22	27	55	18	27	20	28	22	28	55	40	39														
29	38	50	33	46	45	24	10	-9	43	18	24	-3	3													
15	22	26	15	45	32	15	3	4	8	34	35	30	31	36												
27	33	32	10	8	16	28	49	62	-12	26	21	26	37	-46	-12											
-12	9	-7	-8	2	-10	20	20	-9	14	1	44	29	38	20	1	5	1									
22	-18	-5	2	-12	3	-10	7	23	-7	-42	-40	-23	-7	-40	-35	38	-41									
-16	-6	-16	-6	5	-15	-8	-2	10	29	-4	-7	-29	13	-19	3	-3	7	7								
39	15	44	33	30	20	59	14	4	-5	12	19	45	-6	25	16	7	6	-5	-45							
12	23	12	31	11	6	43	25	3	-2	48	50	51	4	23	34	-18	33	-50	6	31						
36	55	54	30	35	38	26	40	44	37	29	25	2	26	12	-8	49	-5	9	-5	11	-32					
-29	-31	-32	-1	-20	-21	-15	-17	-33	18	9	1	-10	-8	11	-18	-48	8	-30	15	-40	18	-17				
7	24	32	19	45	49	-17	2	7	40	30	28	-17	17	55	44	-37	0	-37	9	-25	4	4	12			
24	-7	3	1	2	16	-8	19	29	3	-13	-9	-17	-5	-23	-20	27	-38	40	-17	45	-32	23	-4	-16		
Co	Ti	V	Yb	Ni	Y	Cr	La	Zr	Sc	Zn	Cu	Pb	Sn	B	Mo	Nb	Ag	Mn	Ba	Ga	P	Li	Sr	KN	pH	

$F_1(24,8\%): Co^{87}-Ti^{81}-V^{78}-Yb^{73}-Ni^{72}-Y^{72}-Cr^{71}-La^{70}-Zr^{70}-Sc^{69}-(Li^{50}-B^{35}-Ga^{33})$
 - hidrodinaminis barjeras (elementai mineralų formos);
 - hydrodynamic barrier (elements in mineral form);

$F_2(13,4\%): Zn^{88}-Cu^{78}-Pb^{69}-Sn^{64}-(P^{41}-Ag^{40})$
 - šarminis-glėjinis barjeras, pereinantis iš oksidacinės į silpnai oksidacinę aplinką;
 - alkaline-gleye barrier formed on the contact of oxidational and weakly oxidational medium;

$F_3(11,5\%): KN^{87}-B^{72}-Mo^{61}-(Sc^{35}) \leftrightarrow Nb^{56}-Mn^{43}$ - glėjinis (redukcinis)-rūgštinis barjeras;
 - gleyic (reductional)-acid barrier;

$F_4(7,8\%): Ag^{66}-(Cr^{34}) \leftrightarrow pH^{77}-Mn^{50}$ - oksidacinis-rūgštinis barjeras;
 - oxidational-acid barrier;

$F_5(6,9\%): Li^{70}-(Nb^{35}-Sn^{31}) \leftrightarrow P^{73}-Mo^{33}$ - oksidacinis barjeras;
 - oxidational barrier;

N = 42
 $R_{0,05} = 100 * r_{0,05} / 31$

giškose Mūšos baseino upių nuosėdose, svarbiausia yra litogeninių-klastogeninių mikroelementų asociacija (3 lentelė). Pagrindinė į ją įeinančių mikroelementų forma šio baseino upių nuosėdose – mineralinė. Tai, kad klastogeniniai ir litogeniniai mikroelementai sudaro vieną bendrą asociaciją, yra susiję su bloga mineralinės nuosėdų dalies hidrodinamine diferenciacija.

Antra pagal svarbą Ba–Sr asociacija apibūdina šarminį geocheminį barjerą. Glaustas Ba ir Sr tarpusavio koreliacinis ryšys ir jų ryšys su Mn ir Co (3 lentelė) rodo, kad Ba ir Sr kaupėsi gerai aeruojamose, didesnę vandens kinetinę energiją turinčiose upių atkarpose, t. y. vykstant karbonatinių uolienų, atsidengusių baseino upių vagose, erozijai. Aktyvi hidrodinaminė aplinka, gera susidaranti nuosėdų aeracija sudarė nepalankią aplinką koloidinių dalelių ir migruojančių mikroelementų (disocijavusių jonų) koaguliacijai ir kaupimuisi. Susidariusiame upių dumblyje padidėjęs nuolaužinių karbonatų kiekis lėmė aukštesnę karbonatinio jono (CO_3^{2-}), reguliavusio terpės rūgštinį-šarminį potencialą, koncentraciją. Šio rodiklio maksimali reikšmė Nemunėlio baseino upių nuosėdose siekia 7,7, tačiau ji yra per žema aktyvesnei $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ir ypač CoCO_3 sedimentacijai. Neutralioje aplinkoje Co su Mn susidariusiose nuosėdose galėjo būti laisvų Co^{2+} ir Mn^{2+} jonų. Aeruojamose nuosėdose išaugus terpės $\text{pH} > 7$, laisvi Mn^{2+} jonai galėjo jungtis su dumblo vandenyje esančiais karbonatiniais jonais (CO_3^{2-}), sudarydami nejudrų MnCO_3 , kuris ir kaupėsi nuosėdose. Kitą Mn dalį, kaip ir laisvą Co^{2+} , nuosėdose koncentravo $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Tai atspindi šių mikroelementų tarpusavio koreliaciniuose ryšiuose (3 lentelė). Netolygiai degradavusios organinės medžiagos įtaką mikroelementinei Nemunėlio baseino upių nuosėdų sudėčiai geriausiai atspindi P–Mo asociacija (3 lentelė). Šių nevienodo biologinio imlumo mikroelementų kaupimosi Nemunėlio baseino upių nuosėdose geocheminė aplinka turėjo būti labai artima Mūšos baseino analogiškai aplinkai kaupiantis B–Mo–Sc asociacijai. Tačiau agrocheminės-ūkinės veiklos įtaka P ir Mo koncentracijai Nemunėlio baseino upių nuosėdose yra ženkliai sumažėjusi. Dėl to P ir Mo praranda koreliacinį ryšį su agrocheminiais Zn, La, Cu, Pb (3 lentelė). Dalies nuosėdų hidrodinaminės diferenciacijos ypatumus apibūdina Yb–Y–B–Zr mikroelementų asociacija. Pagrindinė ir, matyt, vienintelė į ją įeinančių elementų forma – mineralinė. Dėl šios priežasties asociacijos mikroelementai yra praradę koreliacinį ryšį su nuosėdų kaitinimo nuostoliu, litogeniniais Ga, Li ir agrocheminę veiklą apibūdinančiais Zn, La, Cu ir Pb (3 lentelė).

Asociacijos Yb–Y–B–Zr mikroelementų šaltinis yra alotigeniniai mineralai, baseino upių profiliuose pasiskirstę pagal hidraulinio ekvivalentiškumo dėsnį.

Tai patvirtina ir labai judrus vandenyje asociacijos mikroelementas – antipodas Ag.

Dėl glėjinio-šarminio geocheminio barjero įtakos Nemunėlio baseino upių nuosėdose kaupėsi skirtingo biologinio įsisavinimo mikroelementai: Sn–Zn–Cu–Pb (3 lentelė). Šie mikroelementai yra praradę koreliacinį ryšį su geležies grupės elementais ir su Mn, o su Ga ir Pb išlikęs glaudus ryšys. Šiuos susidariusius koreliacinius ryšius nulėmė kelios priežastys. Viena jų – neadekvatus šios asociacijos mikroelementų dalyvavimas mainų reakcijoje, kurios intensyvumą riboja išaugęs Ca^{2+} ir Mg^{2+} jonų kiekis sedimentacinėje terpėje. Kita – skirtingi emisijos į upių nuotėkį šaltiniai, t. y. šios mikroelementų asociacijos susidarymui įtakos turėjo baseine vykdoma agrocheminė ūkinė (fosforo trąšos, pesticidai, herbicidai ir t. t.) veikla. Su denudacijos produktais atnešto Ag^+ katijono dalyvavimą mainų reakcijoje stabdė ne tik padidėjęs Ca ir Mg jonų kiekis, bet ir aukštesnio valentingumo asociacijos mikroelementai. Jie pagal individualių geocheminių savybių visumą sudaro šią aktyvumo mainų reakcijoje seką $\text{Pb}^{2+} > \text{Sn}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Ag}^+$. Todėl Ag jonai arba tirpios kompleksinės $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ formos migravo už šio geocheminio barjero veikimo ribų.

Žemesnio rango faktorių pagrindu (3 lentelė) išskirtoms F6, F7 mikroelementų asociacijoms pagrįsti reikėtų gausnesnių analitinių duomenų. Iš turimos medžiagos galima konstatuoti, kad F6 teigiamas apkrovas formuoja technogeniškai (sodininkystės) paveikta molinga medžiaga, pasižyminti aukštu sorbciniu imlumu. Tuo tarpu Mn–KN–Co asociacija charakterizuoja galimą oksidacinio geocheminio barjero įtaką. Šio barjero įtakos zonoje Co^{2+} pagrindiniais deponuotojais buvo Fe ir Mn hidroksidai, o stabilių organinių Co ligandų dumblyje buvo nedaug.

Technogeniškai paveiktame Mūšos baseino upių dumblyje išsiskiria 4 tarpusavyje susijusios mikroelementų asociacijos. Litogeniniai ir klastogeniniai mikroelementai tarp savęs susiję itin glaustais koreliaciniais ryšiais ir formuoja pirmojo faktoriaus dispersines apkrovas (4 lentelė). Šis koreliacinis ryšys atspindi blogą nuosėdų mineralinės dalies išrūšiuotumą. Dėl netolygios ir įvairiarūšės taršos susidarė antroji mikroelementų asociacija. Pramonės įmonių išmetamų teršalų mikroelementinę sudėtį apibūdina Cr–Ag–Ni–Cu–Pb–(Sn–Zn) asociacija. Jos mikroelementai yra praradę koreliacinį ryšį su Ga, B, Li ir nuosėdų kaitinimo nuostoliu dėl to, kad svarbiausias vaidmuo jų vienalaikėje sedimentacijoje tenka su pramoninėmis nuotėkomis išmetamų mikroelementų-teršalų tarpusavio sąveikai ir migracinės-sedimentacinės terpės anijoniniai sudėčiai. Ši sąveika, matyt, gali paaiškinti itin skirtingus vandens migracinius koeficientus turinčių Ag, Cr, Ni, Pb ir kitų asociacijos mikroelementų (1 lentelė) vienalaikę koaguliaciją ir

4 lentelė. Elementų asociacijos ir jų tarpusavio koreliacinis ryšys technogeniškai paveiktose Mūšos baseino upių nuosėdose

Table 4. Association of microelements and their correlation links in technogenically affected river sediments of the Mūša basin

Y	Sc	La	Yb	V	Ti	Co	Zr	P	B	Cr	Ag	Ni	Cu	Pb	Ga	Nb	Li	Mo	Zn	Sn	Ba	Mn	Sr	KN	pH
Sc	84																								
La	85	77																							
Yb	88	68	87																						
V	84	75	92	89																					
Ti	73	75	82	78	82																				
Co	72	64	67	73	73	74																			
Zr	79	73	81	82	80	74	66																		
P	63	50	72	74	68	62	44	52																	
B	34	54	40	36	38	43	34	19	43																
Cr	37	49	42	47	52	43	24	57	41	25															
Ag	23	36	34	35	40	39	24	51	34	11	93														
Ni	47	59	56	56	62	53	32	60	51	40	96	85													
Cu	51	48	64	71	71	55	39	66	67	40	87	78	90												
Pb	52	47	61	60	66	60	58	63	40	20	70	80	70	72											
Ga	43	34	36	42	46	51	67	41	2	8	31	32	28	22	57										
Nb	47	33	45	47	59	45	72	49	17	-6	17	26	14	22	65	73									
Li	23	28	42	28	42	61	43	28	12	12	29	42	27	64	58	69	47								
Mo	45	51	54	43	67	41	39	33	60	38	45	39	55	59	46	0	28	18							
Zn	34	31	57	50	58	41	20	42	68	29	64	71	85	72	-9	8	19	77							
Sn	35	25	40	38	51	25	24	38	40	-10	57	67	54	62	74	18	49	29	67	72					
Ba	-1	6	23	25	26	9	8	25	59	-2	34	39	37	50	20	-32	-5	-17	43	62	36				
Mn	25	9	19	40	20	33	60	32	27	-6	2	8	4	13	22	21	21	8	6	6	-3	24			
Sr	-13	10	-5	-8	-10	14	-14	13	9	26	21	27	24	16	1	-2	-33	26	-1	21	4	14	-17		
KN	20	32	31	40	23	12	-11	30	37	38	15	-4	27	33	-18	-54	-50	-32	25	36	-16	43	-32	4	
pH	19	-11	23	20	24	23	16	21	13	-18	3	8	6	12	36	27	28	24	3	14	2	-9	40	-15	-16
Y	Sc	La	Yb	V	Ti	Co	Zr	P	B	Cr	Ag	Ni	Cu	Pb	Ga	Nb	Li	Mo	Zn	Sn	Ba	Mn	Sr	KN	pH

$$F_1(26,7\%):Y^{88}-La^{87}-Sc^{86}-Yb^{84}-Ti^{84}-V^{83}-Co^{76}-Zr^{75}-P^{62}-B^{60};$$

$$F_2(24,7\%):Ag^{88}-Zn^{86}-Cu^{83}-Sn^{82}-Cr^{82}-Ni^{79}-Pb^{69}-Ba^{62}-Mo^{60}-(P^{48}-V^{42});$$

$$F_{2a}(18,25\%):Cr^{93}-Ag^{92}-Ni^{85}-Cu^{74}-Pb^{63}-(Sn^{51}-Zn^{51});$$

$$F_{2b}(12,2\%):Mo^{79}-Zn^{75}-Sn^{71}-Ba^{58}-(P^{52}-La^{51});$$

$$F_3(13,4\%):Ga^{86}-Li^{72}-Nb^{63}-(Pb^{49}) <-> KN^{78}-Ba^{52};$$

$$F_4(8,8\%):Mn^{59} <-> Sr^{65}-B^{52};$$

$$N = 20$$

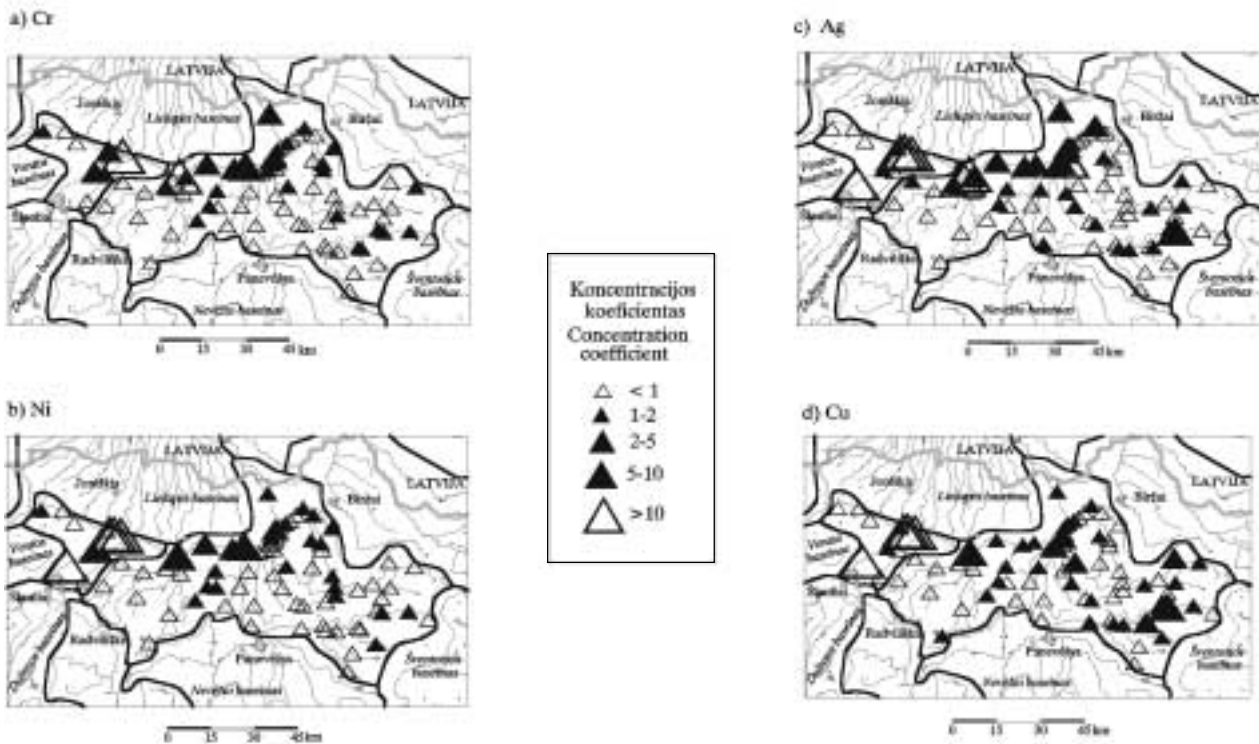
$$R_{0,05} = 100 * |r_{0,05}| = 44$$

kaupimaši nuosėdose. Išaugęs Cl anijonų kiekis teršiamų upių atkarpose susijęs su lengvai disocijuojančių druskų, naudojamų maisto pramonėje, žemės ūkyje, ir praskiestų druskos rūgšties tirpalų išmetimu į upių nuotėkį. Vandenyje esantys Cl anijonai išelminuoja Ag^+ iš tirpaus vandenyje katijoninio kompleksu ir sudaro nejudrų, greitai koaguliuojantį $AgCl$. Jis upių dumblė kaupėsi kartu su Cr ir Ni (1 pav., a-c). Didesnę Ag sklaidą išilginiame Mūšos upės profilyje (1 pav., d), matyt, nulėmė agrocheminės veiklos metu vandenyje padidėjusi $NH_4(OH)$ koncentracija. Šiam vandeniui kontaktuojant su nuosėdomis, dalis $AgCl$ reagavo su amoniaku, sudarydama judrų kompleksinį katijoną $[Ag(NH_3)_2]^+$ – potencialų mikroelementų, migruojančių anijonų forma, sorbentą. Matyt, todėl tarp Cr ir Ag koncentracijų kaitos Mūšos baseino upių dumblė nustatyta tiesioginė priklausomybė (4 lentelė).

Kita priežastis yra susijusi su maisto pramonės išmetamu ir stiprias šarmines savybes turinčiu $Ba(OH)_2$ tirpalu. Dėl jo įtakos iš upių vandens išelminuojami ir nusodinami sunkieji metalai, šarminiai elementai bei SO_4^{2-} anijonai, su pramoniniais nutekamaisiais vandenimis patenkantys į upių nuotėkį. Šių procesų visuma nulėmė glaustą koreliacinį Ba ryšį su Cu ir Zn (4 lentelė). Susikaupę poriniame vandenyje šarminiai elementai (Na, K, Ca, Mg) aktyviau dalyvavo mainų reakcijoje su čia esančiais molio mineralais,

sumažindami iki minimumo jų sorbcinį imlumą sunkiesiems metalams. Todėl pramoninių nutekamųjų vandenų išplitimo areale daugelis mikroelementų-teršalų praranda koreliacinį ryšį su tipiškais litogeniniais elementais (Ga, B). Išaugęs SO_4^{2-} anijonų kiekis silpnino $Fe(OH)_3$ ir $Mn(OH)_2$ sorbcinį imlumą CrO_4^{2-} , VO_3^- , MoO_4^{2-} anijonų atžvilgiu. Kai susidariusių nuosėdų terpė yra neutrali ($pH = 7$), šios asociacijos mikroelementų vyraujančiomis formomis galėjo būti: Cu^{2+} , Ag^+ , $Pb^{2+} >> PbOH^+$, $Zn^{2+} >> ZnOH^+$, $Sn(OH)_2 >> Sn(OH)^+$, $HCrO_4^- >> CrO_4^{2-}$ ir t. t. (Назаренко и др., 1979). Individualių geocheminių procesų visuma lėmė, kad sorbciniuose procesuose aktyviausiai dalyvavo Pb^{2+} jonai. Pagrindinis Pb deponuotojas Mūšos baseino technogeniškai paveiktose upių nuosėdose buvo molio mineralai (glaustas koreliacinis ryšys Pb su Ga ir B) (4 lentelė). Difuzinių jėgų veikiami kiti šios asociacijos mikroelementai perėidavo į priedugnio vandenį ir išilginiu upių profiliu migravo tolyn nuo jų emisijos židinių (1 pav.). Patekę į glėjinę-rūgštinę aplinką jie sudarydavo chelatinus junginius, o redukciniame-rūgštinėje aplinkoje jungėsi su dumblė esančiu H_2S arba izomorfiškai keisdavo Fe susidarantiame hidrotroilite ($FeS * nH_2O$).

Plėtojant baseine agrocheminę ūkinę veiklą dalis Cu, Pb, Zn ir F_{2b} asociacijos mikroelementų (4 lentelė) į upių nuotėkį patekdavo judria, pavojinga biotai forma. Upių nešmenyse, vykstant elementų tar-



1 pav. Mikroelementų pasiskirstymas Mūšos baseino dugno nuosėdose
 Fig. 1. Distribution of microelements in river sediments of the Mūša basin

pusavio reakcijoms, susidarydavo silpniau disocijuojantys ir mažiau tirpūs junginiai. Į Tātulos, Upytės ir Mūšos upes patekusių sodų priežiūrai ir javų sėklų apsaugai naudojamų Cu junginių sąveika su amoniaku lėmė didesnę Cu koncentraciją upių nuosėdose (1 pav., d). Kita šios asociacijos mikroelementų dalis kaupėsi netirpių vandenyje liekaninių fosfatų pavidalu.

Ga–Li–Nb–Pb mikroelementų asociacija apibūdina hidrodinaminio barjero įtaką paskirstant hidratuotus, aktyvius ūkinės veiklos vystymo metu išmetamų teršalų (Pb) deponuotojus – molio mineralus.

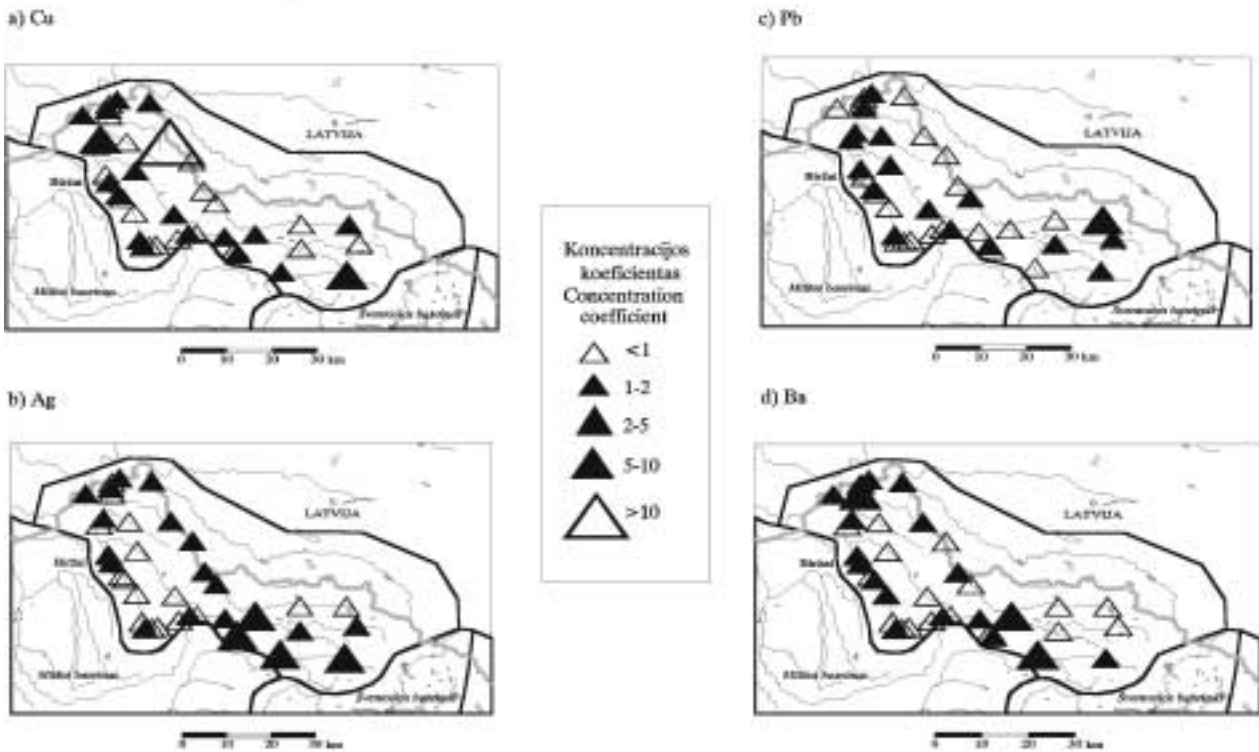
Mikroelementų-teršalų tarpusavio sąveika, migracinės-sedimentacinės terpės anijoninio ir katijoninio komplekso kaita, upių išilginiuose profiliuose neto-

lygiai išsidėstę geocheminiai barjerai nulėmė sparčiųjų koncentracijos kaitą (1 pav., a–d). Iš mikroelementų-teršalų intensyviausiai Mūšos baseine kaupėsi $Cr > Ag > Ni$ (5 lentelė).

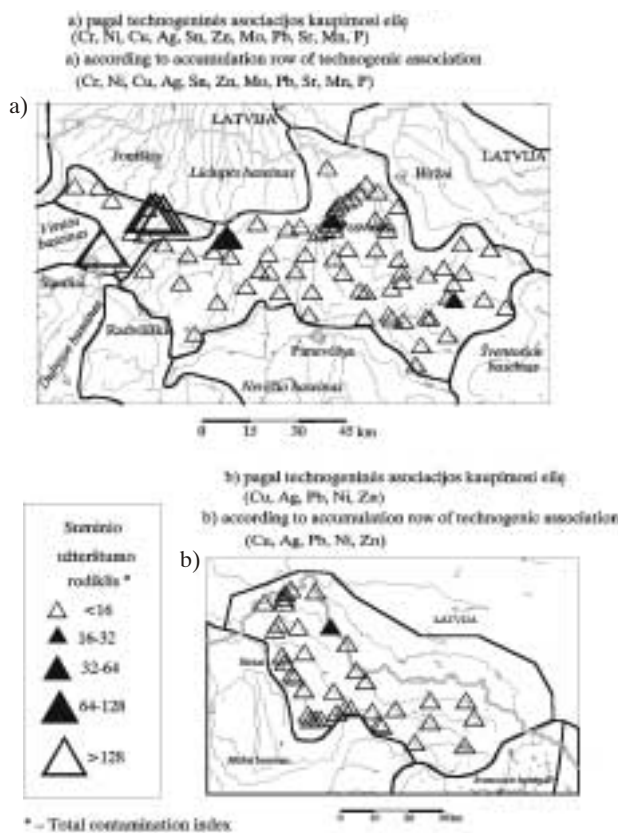
Pagal šį rodiklį Nemunėlio baseino upių nuosėdos užterštos mažiau, todėl šio baseino upių nuosėdose dar pastebima gamtinių geocheminių barjerų įtaka mikroelementų asociacijų kiekybinei ir kokybinei sudėčiai (6 lentelė). Aktyviausias teršalų emisijos šaltinis šiame baseine – agrocheminė veikla. Dėl jos įtakos kartu su jaurinių ir glėjinių procesų paveikta mineraline dirvožemio dalimi ir podirvio uolienomis į baseino upių nuotėkį patekdavo ir į netirpių liekaninių fosfatų sudėtį įeinantys mikroelementai. Natūraliose arba dirbtinėse vandens pa-

5 lentelė. Mikroelementų kaupimosi eilė upių dugno nuosėdose
 Table 5. Rows of microelement accumulation in river bottom sediments

Nr.	Upių baseinai River basins	Mikroelementų kaupimosi intensyvumas ir kaupimosi koeficientai Intensity of microelement accumulation and coefficients of accumulation				
		Ki > 10 Labai aktyviai Very active	Ki = 10–5 Aktyviai Active	Ki = 5–2 Vidutiniškai Middle	Ki = 2–1 Silpnai Weak	Ki < 1 Nesikaupia No accumulation
1	Mūša	Cr>Ag>Ni	Cu	Sn>Zn	Mo>Pb>P>Sr> Mn>La>Nb> Li>Sc>Ba	Zr>Ti>Y>Yb> B, Co, V>Ga
2	Nemunėlis			Cu	Ag>Mn>Pb> Zn>Sn>Ni> Mo>La	Ba>B, Nb, Zr>Y, V> Co, Li, Cr, Ga, P, Sc, Ti>Yb>Sr



2 pav. Mikroelementų pasiskirstymas Nemunėlio baseino dugno nuosėdose
 Fig. 2. Distribution of microelements in river sediments of the Nemunėlis basin



3 pav. Mūšos (a) ir Nemunėlio (b) baseinų dugno nuosėdų geocheminis įvertinimas
 Fig. 3. Geochemical estimation of river sediments of the Mūša (a) and the Nemunėlis (b) basins

IŠVADOS

Mūšos ir Nemunėlio baseinų upėse dėl natūralių gamtinių geocheminių procesų susidariusių nuosėdų mikroelementinei sudėčiai įtakos turėjo ne tik geocheminiai barjerai, bet ir anijoninio-katijoninio upių vandens ir dumblo komplekso sudėtis. Mikroelementų koncentracijai nuosėdose palankiausias buvo glėjinis (redukcinis)-šarminis geocheminis barjeras. Jo veikimo zonoje susidaranciose nuosėdose kaupėsi žmogui ir biotai pavojingi įvairaus toksiškumo mikroelementai (Mo, Pb, Cu, Zn ir kt.). Oksidaciniame barjere koncentravosi mineralinės mažiau pavojingos biotai mikroelementų formos.

Technogeninės apkrovos paveiktose upių atkarpose susidaranciu nuosėdų mikroelementinei sudėčiai didelę įtaką turėjo atnešamų įvairių migracinių formų mikroelementų-teršalų tarpusavio sąveika, užgožusi geocheminių barjerų vaidmenį. Čia susikaupę elementai-teršalai pasižymi labiausiai kintančia koncentracija. Panaudojus regioninį foną (F_b) nustatyta, kad labiausiai kaiti ir gausiausia elementų kaupimosi eilė K_1 yra technogeniškai paveiktose Kulpės ir Mūšos upių nuosėdose. Pagal nustatytą Pb, Cu, Zn, Cr, Ni koncentracijų lygį, šių upių dumblas atitinka 4–5 kategorijas, o pagal suminio užterštumo rodiklį pasiekia pavojingą ir itin pavojingą žmogui ir biotai užterštumo lygį. Nemunėlio baseino upėse, kur vyrauja agrarinis kraštovaizdis, mikroelementų kaupimosi eilėje K_1 yra agrotechninei ir agrocheminei veiklai būdingų mikro-

elementų – Cu, Pb, Zn, La. Jie baseino upių nuosėdose kaupiasi ne taip intensyviai, todėl suminio užterštumo rodiklis neviršija leistinos ribos.

Autoriai dėkoja dr. Valentinui Kadūnui ir recenzentui prof. habil. dr. E. Trimoniui už vertingas pastabas.

Literatūra

- Kadūnas V., Budavičius R., Gregorauskienė V., Katinas V., Kliaugienė E., Radzevičius A., Taraškevičius R. 1999. Lietuvos geocheminis atlasas. Vilnius. 162 p.
- Katinas V. 1998. Lietuvos karstinio regiono dirvožemių ir upių dugno nuosėdų geochemija. *Geologija*. 26. 38–44.
- Nuotekų dumblo naudojimo normos LAND 20–96. 1997. *Valstybės žinios*. 1. 12–18.
- Radzevičius A. 1998. Elementų foniniai kiekiai ir jų pasiskirstymas Lietuvos upių dumblyje. *Geologija*. 26. 45–55.
- Radzevičius A. 1999. The influence of river basin soil mechanical composition on element concentration in river sediment. *Heavy metals in the environment: an integrated approach*. Vilnius. 91–98.
- Taminskas J. 1998. Karstinio regiono kompleksiniai tyrimai – dabartinių aktualijų sprendimas. *Geologijos akiračiai*. 1. 31–35.
- Добровольский В. В. 1983. География микроэлементов. *Глобальное рассеивание*. Москва: Мысль. 272 с.
- Назаренко В., Антонович В., Невская Е. 1979. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. Москва: Атомиздат. 192 с.

Alfredas Radzevičius, Olga Vareikienė

GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF RIVER SEDIMENTS OF THE MŪŠA AND NEMUNĖLIS BASINS

Summary

The microelement composition of river sediments (23 chemical elements) of the Mūša and Nemunėlis basins was analysed by DC Arc Emission Spectrometry. Regional background concentrations of elements were established using programs of mathematical statistics. It has been determined that regional background concentrations of microelements – potential pollutants in river sediments of the Nemunėlis and Mūša basins are similar, except Pb, to their background concentration in river sediments of Lithuanian clayey basins. Its regional background concentration in bottom sediments of the Mūša and Nemunėlis river basins exceeds the background value in clayey river basins of Lithuania by 23.5 and 34.5 per cent, respectively. Associations of microelements distinguished in each basin reflect the influence of natural geochemical barriers and anion–cation complexes of silt, river stream and bottom water on microelement distribution in bottom sediments. The influence of human economic-industrial activities on the quantitative and qualitative composition of distinguished associations in technogenically affected bottom sediments is esti-

ated. Metal processing and electrotechnical industry are the most active sources of microelement-pollutant emission. Agricultural and agrochemical activities have a weak, but a very wide influence on the dispersion of microelements-pollutants. Rows of microelement accumulation intensities are distinguished in the Mūša (Cr>Ni>Ag>Cu>Sn>Zn>Mo>Pb>Sr>Mn>P>Ba) and the Nemunėlis basin (Cu>Ag>Pb>Zn>Sn>Ni) and the geohygienical evaluation of bottom sediments is presented. According to this evaluation, bottom sediments of the Kulpė and Mūša rivers show dangerous and extremely dangerous levels of pollution.

Альфредас Радзевичюс, Ольга Варейкене

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕК БАСЕЙНОВ МУША И НЯМУНЕЛИС

Резюме

Микроэлементный состав (23 элемента) донных отложений рек бассейнов Муша и НямуNELИС исследован методом эмиссионно-спектрального анализа. Используя пакет программ математической статистики подсчитаны региональные фоновые концентрации микроэлементов. Определено, что в реках бассейнов Муша и НямуNELИС региональные фоновые концентрации микроэлементов-потенциальных загрязнителей близки к фоновым концентрациям, установленным в донных осадках рек, имеющих глинистые бассейны Литвы. Исключение составляет Pb. Региональные фоновые концентрации Pb в донных осадках рек бассейнов Муша и НямуNELИС соответственно превышают на 23,5 и 34,5% фоновую концентрацию Pb в донных осадках рек, имеющих глинистые бассейны Литвы. Ассоциации микроэлементов, выделенные в каждом бассейне, отражают влияние натуральных природных геохимических барьеров и анионно-катионных комплексов иловых, придонной и речной воды на распределение микроэлементов в донных осадках. В донных осадках, подверженных техногенному воздействию, оценено влияние хозяйственно-промышленной деятельности человека на количественный и качественный состав выделенных ассоциаций микроэлементов. Предприятия металлообрабатывающей и электротехнической промышленности являются наиболее активными источниками эмиссии микроэлементов-загрязнителей. Сельскохозяйственная и агрохимическая деятельность в долинах рек имеет слабое влияние на рассеяние микроэлементов-загрязнителей. Выделены ряды интенсивности аккумуляции микроэлементов-загрязнителей в бассейнах рек Муша – Cr>Ni>Ag>Cu>Sn>Zn>Mo>Pb>Sr>Mn>P>Ba и НямуNELИС – Cu>Ag>Pb>Zn>Sn>Ni. Проведена оценка геогиенического состояния донных осадков, согласно которому донные осадки рек Кульпе и Муша принадлежат к группе опасно и чрезвычайно опасно загрязненных.