

URBANIZUOTŲ TERITORIJŲ IŠSKLAIDYTOSIOS TARŠOS SUFORMUOTŲ PEDOGEOCHEMINIŲ ANOMALIJŲ KAITOS PROGNOZAVIMO GALIMYBĖS

Ričardas Taraškevičius, Rimantė Zinkutė

Geologijos ir geografijos institutas, T. Ševčenkos g. 13, LT-03223 Vilnius

El. paštas: taraskevicius@geo.lt; zinkute@geo.lt

Giedrė Godienė

Aplinkos ministerija, Jakšto g. 4/9, LT-01105 Vilnius

El. paštas: g.godiene@am.lt

Įvadas

Ilgainiui keičiasi ne tik miestų kraštovaizdis, statinių architektūra, bet ir gyventojų gamybinė, ūkinė ir gyvenamoji veikla, kuri neišvengiamai susijusi su įvairialype chemine tarša. Dirvožemis ir gruntas pirmiausia yra deponuojanti, o ne migracinė terpė, todėl ilgainiui jo paviršiuje susikaupia įvairiausių teršalų. Jų neišvengiama sudėtinė dalis yra sunkieji metalai ir kiti su jais susiję cheminiai elementai. Kokybine prasme taršos prieaugis laiko atžvilgiu jau buvo nagrinėtas aprašant Vilniaus pedogeocheminių anomalijų įvairovę (Taraškevičius, 1998, 2000). Tačiau nė viename iš ankstesnių darbų dar nebuvo atlikti dirvožemio užterštumo ir urbanizacijos trukmės sieties tyrimai, nors dėl ilgamečio istorinio vystymosi šis miestas ypač tinka tokiam tikslui. Atsakyti į klausimą, kaip mikroelementų anomalijų intensyvumą, plotą ir struktūrą lemia urbanizacijos trukmė, galima turint duomenų apie tiriamų teritorijų užstatymo laiką ir pobūdį. Vilniaus miesto tokie duomenys yra išsamiausi.

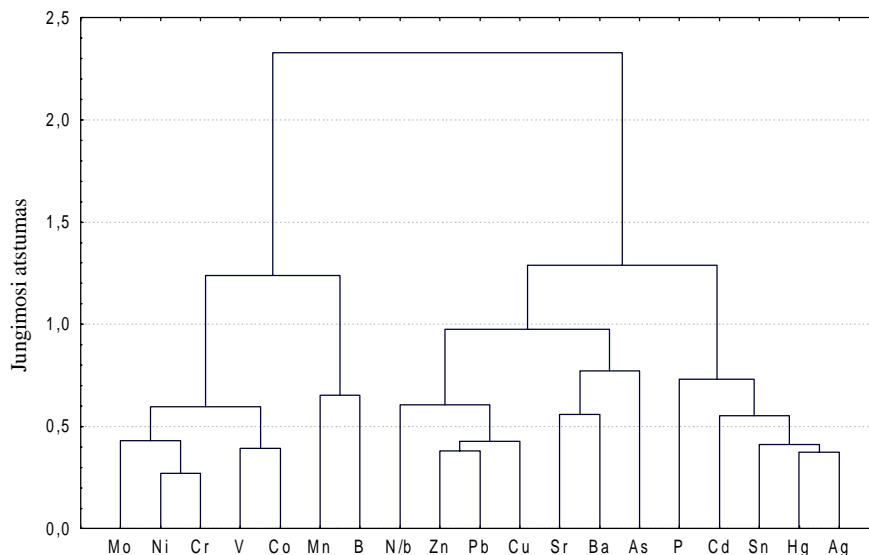
Šio darbo tikslas – remiantis Vilniuje atliktais tyrimais kiekybiškai įvertinti išsklaidytosios taršos lemtų pedogeocheminių anomalijų intensyvumo sietį su urbanizacijos trukme ir užstatymo tankumu. Tyrimo metodologinės priemonės ir nustatytos priklausomybės gali būti panaudotos išsklaidytosios taršos pedogeocheminių rodiklių pokyčių urbanizuotose teritorijose prognozei.

Šiuo darbu galima remtis atliekant kompleksinę gyvenamosios aplinkos kokybės kaitos prognozę.

1. Metodologinės prielaidos ir tyrimų metodika

Anomalijas lemiančių mikroelementų koncentracijos koeficientų Kk ir bendros taršos rodiklių (suminės taršos rodiklio Zc , bendros taršos rodiklių Za) apskaičiavimo formulės jau pateiktos anksčiau (Taraškevičius ir kt., 1999; Zinkutė, 2002). Urbanizuotų teritorijų pedogeochemines anomalijas formuoja daug įvairių mikroelementų. Jų anomalijos neretai tarpusavyje persidengia. Tai atsispindi jų ryšyje, išreikštame klasterinės analizės dendrograma (1 pav.). Spalvotieji metalai Ag, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn ir Zn joje yra vienoje plačioje grupėje su Sr, Ba ir As. Ir neatsitiktinai. Didesnis pastarųjų elementų kiekis į aplinką patenka kartu su Zn, Pb ir Cu, kurie glaudžiai susiję su naftos produktų bitumoidine frakcija, o ši – su automobilių keliama tarša (Kadūnienė, 1993). Šių 6 mikroelementų anomalijos susijusios su miesto gatvėmis, kur Sr, Ba ir As patenka tiek žiemą su druskų mišiniais, tiek tiesiogiai su transporto skleidžiamais

teršalais, tiek su dūlančių pastatų dulkėmis. Hg, Ag, Sn ir Cd toje pačioje spalvotų metalų grupėje sudaro atskirą glaudesnę pogrūpį. Su jais yra susijęs fosforas, kurio anomalijos neretai priklauso nuo buitinės taršos masto. Nemaža dalis šių mikroelementų grunte kaupiasi išpilant ir išmetant į aplinką įvairių buitinių atliekų: akmenų anglių pelenų, galvaninių elementų, dažų, nuotraukų ryškalių, amalgamų, medikamentų, smulkių įrankių ir jų priedų, taros bei kt.



1 pav. Klasterinės analizės dendrogramoje tarpusavyje susijusių mikroelementų ir kitų kintamųjų grupės, nustatytos Vilniaus dirvožemyje; N/b – naftos produktų bitumoidinė frakcija.

Fig. 1. Groups of interrelated trace elements and other variables in Vilnius soil; cluster analysis dendrogram; N/b – bitumoid fraction of oil products.

Mo, B ir geležies šeimos elementai Ni, Cr, Co, V, Mn yra atskiroje dendrogramos šakoje. Jie pasklinda aplinkoje apdorojant juodųjų metalų gaminius ar ruošinius iš įvairios specializacijos įmonių. Iš jų itin paplitusios yra Cr, Ni ir Mo anomalijos. Šalia stambiųjų metalus apdorojančių įmonių aptinkama taip pat intensyvesnių V bei Co taršos židinių. Mn ir B anomalūs kiekiai aptinkami rečiausiai.

Tiriant suminės taršos rodiklio Z_c kaitą tikslinga analizuoti ir bendrą taršą, kurią lėmė pagrindinės geocheminės asociacijos: spalvotieji metalai (Ag, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn) ir su jais susiję teršalai (As, Ba, Sr) – Z_{s+} bei su juodaisiais metalais susiję mikroelementai (B, Co, Cr, Ni, Mn, Mo, V) – Z_g . Šias galima papildyti kitų artimų geocheminių grupių elementais arba suskaidyti į smulkesnes, pavyzdžiui, tik spalvotųjų metalų (jų bendros taršos rodiklis – Z_s).

Siejant pedo-geocheminių anomalijų lygį su urbanizacijos trukme, remtasi D. Dijokienės (Dijokienė, 2002) pateiktais Vilniaus raidos, G. Godienės (Godienė, 2001) Vilniaus teritorijų užstatymo tankumo kitimo žemėlapiais ir schemomis, L. Sinkevičiaus, SĮ „Vilniaus planas“ projekto vadovo, pateiktais duomenimis apie daugiaaukščių gyvenamųjų rajonų statybos pradžią, įvairia kartografinė medžiaga. Kadangi gyvenamieji miestų rajonai yra tolygiau teršiami nei pramonės, tyrinėti pirmieji (Taraškevičius ir kt., 2003c). Suskirsčius jų grunto ėminius pagal urbanizacijos trukmę T , nustatyta, kad 116 jų yra paimti teritorijose, kurios užstatytos daugiau nei 400 metų, 87 ėminiai – 200–400 metų, 323 – 100–200, 241 – 40–100, 239 – 38, 8 – 35, 192 – 33, 82 – 31, 9 – 30, 8 – 27, 11 – 24, 12 – 23, 3 – 20, 6 – 18, 6 – 16, 10 – 11, 13 – 6 metų ir 24 ėminiai iš užstatytose mažiau nei 4 metai teritorijų. Sugretinus ėminių paėmimo vietas su

užstatyta žemės dalimi (~ tankumu) konstatuota, kad 592 ėminiai yra iš teritorijų su užstatyta nuo 25% iki 50% žemės dalimi, 537 – nuo 15% iki 25%, 195 – nuo 10% iki 15%, 118 – nuo 5% iki 10% ir 37 – iki 5%. Visų duomenų koreliacinė analizė parodė, kad daugumos tirtųjų cheminių elementų koncentracijos koeficientų *Kk* dydis yra glaudžiai susijęs su teritorijos užstatymo trukme *T* ir tankumu *D* (1 lent.).

Užstatymo tankumo ir urbanizacijos laiko sieties koeficiento *r* reikšmė lygi net 0,52.

1 lentelė. Cheminių elementų koncentracijos koeficientų *Kk* arba juos apibendrinančių geocheminių rodiklių ir urbanizacijos trukmės *T* bei užstatymo tankumo *D* koreliacija.

Table 1. Correlation of chemical element concentration coefficients *Kk* or their generalising geochemical indices with urbanisation duration *T* and building density *D*.

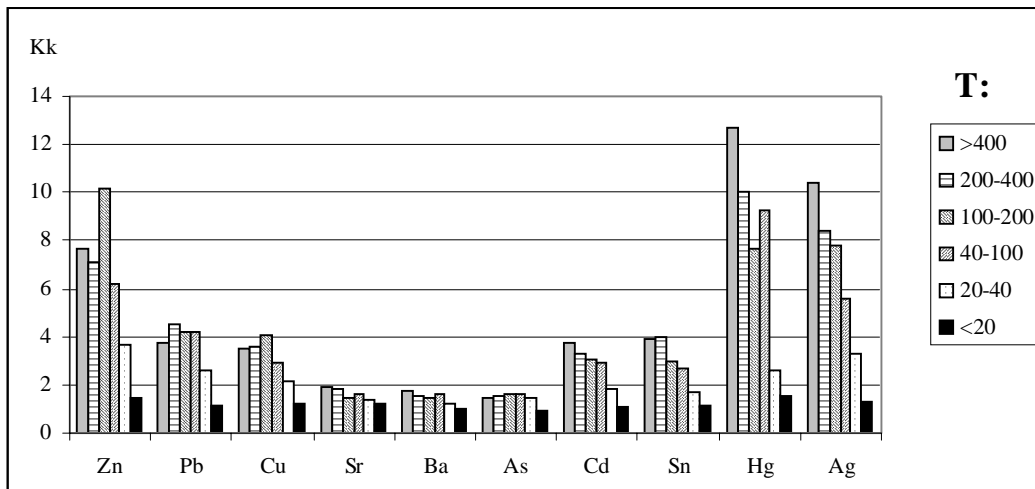
Elementas arba geocheminis rodiklis <i>Element or geochemical index</i>	Ag	As	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mn	Mo
$r(Kk \leftrightarrow T)$	0,20*	0,05	-0,01	0,24*	0,27*	-0,01	0,06*	0,14*	0,20*	-0,03	-0,02
$r(Kk \leftrightarrow D)$	0,20*	0,09*	-0,04	0,25*	0,25*	0,09*	0,17*	0,20*	0,43*	-0,05	0,09*
Elementas arba geocheminis rodiklis <i>Element or geochemical index</i>	Ni	P	Pb	Sn	Sr	V	Zn	Zc(14)	Zs(5)	Zg(7)	Zc(17)
$r(Kk, Z \leftrightarrow T)$	0,01	0,24*	0,14*	0,29*	0,37*	– 0,09*	0,17*	0,23*	0,28*	-0,02	0,27*
$r(Kk, Z \leftrightarrow D)$	0,20*	0,31*	0,23*	0,27*	0,33*	0,02	0,23*	0,32*	0,32*	0,10*	0,39*

Santrumpos: *Zc(14)* – bendras užterštumo rodiklis, apskaičiuotas 14 elementų (Ag, B, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, V ir Zn); *Zs(5)* – bendras užterštumo rodiklis, lemiamas spalvotųjų metalų – Ag, Cu, Pb, Sn ir Zn; *Zg* – bendras užterštumo rodiklis, lemiamas su juodaisiais metalais susijusių mikroelementų – B, Co, Cr, Mn, Mo, Ni ir V; *Zc(17)* – bendras užterštumo rodiklis, apskaičiuotas 17 elementų (Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, V ir Zn); $r(Kk, Z \leftrightarrow T)$, $r(Kk, Z \leftrightarrow D)$ – koreliacija tarp cheminio elemento koncentracijos koeficiento arba geocheminio rodiklio ir urbanizacijos trukmės *T* arba užstatymo tankumo *D*, * – reikšmingas esant $p \leq 0,01$ reikšmingumo lygmeniui, koreliacijos koeficientas r ($r_{0,01} = 0,051$).

Abbreviations: *Zc(14)* – total contamination index calculated for 14 elements (Ag, B, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, V and Zn); *Zs(5)* – additive contamination index predetermined by non-ferrous metals Ag, Cu, Pb, Sn and Zn; *Zg* – additive contamination index predetermined by trace elements B, Co, Cr, Mn, Mo, Ni and V related to ferrous metals; *Zc(17)* – total contamination index calculated for 17 elements (Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, V and Zn); $r(Kk, Z \leftrightarrow T)$, $r(Kk, Z \leftrightarrow D)$ – correlation between concentration coefficient of chemical element or geochemical index and urbanisation length *T* or building density *D*, * – correlation coefficient *r* which is significant at $p \leq 0,01$ significance level ($r_{0,01} = 0,051$).

Sulyginus bendrą taršą lemiančių spalvotųjų metalų ir su jais susijusių mikroelementų koncentracijos koeficientų *Kk* medianas matyti tolygus dėsningas jų kiekių mažėjimas mėginių aibėse, apibūdinančiose teritorijas, kurios užstatytos ne ilgiau kaip 100 metų (2 pav.). Tai sukuria prielaidą tarpusavio priklausomybės lygtimis susieti trumpesnę nei 100 metų urbanizacijos trukmę su išsklaidytosios taršos nulemtų pedogeocheminių anomalijų mastą apibūdinančiais mikroelementų koncentracijos koeficientais *Kk* ir suminiais geocheminiais rodikliais *Z* bei tomis lygtimis remtis atliekant prognozę.

Naudojantis duomenimis apie teritorijų užstatymo tankumą galima pabandyti įvertinti ir šio veiksnio poveikį pedogeocheminių anomalijų kaitai. Atlikus geocheminių rodiklių ir



2 pav. Skirtingos urbanizacijos trukmės T (metais) teritorijų dirvožemyje aptinkamų spalvotųjų metalų (Zn, Pb, Cu, Cd, Sn, Hg, Ag) ir su jais susijusių mikroelementų (Sr, Ba, As) koncentracijos koeficientų Kk medianos.

Fig. 2. Concentration coefficient Kk medians of non-ferrous metals (Zn, Pb, Cu, Cd, Sn, Hg, Ag) and related trace elements (Sr, Ba, As) in soil of the territories with different urbanization duration T (years).

urbanizacijos laiko ar užstatymo tankumo sieties tyrimus ir nustatčius juos esant reikšmingus $p = 0,05$ lygmeniu, jų tarpusavio priklausomybę galima užrašyti tiesinės regresijos lygtimi

$$y = a \cdot x + b;$$

čia y – mikroelemento koncentracijos koeficiento Kk arba suminio užterštumo rodiklio Z reikšmės, a – tiesės polinkio kampą apibūdinantis koeficientas, o $x = T$ – urbanizacijos trukmė (metais) arba D – tankumas (procentais), $b = 1$ (Kk arba Z reikšmė urbanizacijos pradžioje).

2. Urbanizacijos trukmė ir pedogeocheminių anomalijų intensyvumas

Parankiausių rodiklių ryšiui lygčių paieška atlikta apdorojant du duomenų masyvus: siauresnį, apibūdinantį teritorijas, užstatytas trumpiau nei 40 metų, ir platesnį, gautą prijungus prie jo teritorijas, kurių urbanizacijos trukmė nuo 40 iki 100 metų. Skirtumai tarp jų susiję ne tik su užstatymo trukme, bet ir kiek nevienodu gyvenamąją aplinką veikiančių įmonių veiklos pobūdžiu. Pirmasis duomenų blokas – iki 40 metų užstatytos teritorijos – apima dirvožemio ėminius iš Žirmūnų seniūnijos dalies, pasižyminčios didesne transporto įmonių koncentracija (Taraškevičius ir kt., 2001). Antrasis masyvas gautas prie pirmojo pridėjus 241 grunto ėminio tyrimo rezultatų duomenis iš Naujamiesčio ir aplinkinių rajonų, kur urbanizacijos trukmė iki 100 metų. Pastaruosius rajonus iki šiol plačiu spinduliu intensyviai veikė metalo apdorojimo pramonės įmonės (Taraškevičius ir kt., 1999). Taigi galima bandyti sudaryti ir pateikti pedogeocheminių anomalijų kaitos prognozę dviem scenarijais: 1) intensyvesnės autotransporto apkrovos sąlygomis, 2) padidėjus gyvenamojoje teritorijoje metalo apdorojimo pramonės įmonių poveikiui ir pabandyti gautus rodiklius palyginti tarpusavyje.

Abiejuose duomenų masyvuose koreliacija tarp daugumos geocheminių rodiklių ir urbanizacijos trukmės T yra pakankamai glaudi, kad jų tarpusavio priklausomybę ir

pedogeocheminių anomalijų bendruosius pokyčius laiko atžvilgiu būtų galima aprašyti tiesinėmis regresijos lygtimis (2 lent.).

Išrikiavus geocheminius rodiklius pagal tiesinės lygties polinkį apibūdinančio koeficiento α dydį, matyti, kad spalvotųjų metalų koncentracija veikiant išsklaidytajai taršai auga sparčiausiai, o su juodaisiais metalais susiję elementai yra sekos pabaigoje. Remiantis įvairaus urbanizacijos pobūdžio ir trukmės duomenų masyvų tiesinių lygčių analizės rezultatais parodyta, kad spalvotųjų metalų – Zn, Ag, Hg, Pb, Cu, Sn, Cd – koncentracijos koeficientų prieaugis dKk vienetu gali trukti nuo 7 iki 32 metų, As, Ni, Sr, Cr ir Ba – nuo 50 iki 119 metų, o kitų, išskyrus Mo, – iki kelių šimtų metų. Spalvotųjų metalų kiekiai, taip pat bendros jų taršos rodikliai $Zs(5)$ bei $Zs(7)$, kurių pirmasis skirtas Ag, Cu, Pb, Sn ir Zn, o antrasis – Ag, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn ir Zn, greičiau auga intensyvesnės autotransporto apkrovos vietose, o su juodaisiais metalais susijusių mikroelementų – metalų apdorojančių įmonių aplinkoje. Pastarojoje išauga su urbanizacijos trukme reikšmingai koreliuojančių su juodaisiais metalais susijusių mikroelementų skaičius, sutrumpėja tiek atskirų elementų dKk (Mo, pavyzdžiui, net iki 8 kartų), tiek jiems bendro $dZg(7)$ prieaugio laikotarpis (arti 2,5 karto). Tačiau ir 14 mikroelementų $dZc(14)$, ir 17 mikroelementų $dZc(17)$ bendri prieaugiai 16 vienetų abiejose kiek skirtingo poveikio aplinkai teritorijose išauga per labai panašų laiką ir atitinkamai lygūs 21–22 ir 28–28 metams.

Mažesnių miestų gyvenamųjų kvartalų dirvožemyje (grunte) su urbanizacijos trukme (T) reikšmingai (esant $p = 0,05$ reikšmingumo lygmeniui) koreliuoja kur kas mažiau pedogeocheminių rodiklių. Mažeikiuose, remiantis 118 grunto ėminių tyrimų rezultatais, patikimesnėmis tiesinės regresijos lygtimis gali būti aprašyti tik Pb, Sr, $Zc(5)$ ir $Zc(14)$ pokyčiai, o Joniškėje, pagal 19 mėginių duomenis, – nė vienas rodiklis. Mažeikiuose Pb išsklaidytosios taršos veikiamą koncentracijos koeficientų augimą galima prognozuoti remiantis lygtimis $Kk = 0,0078 \cdot T + 1$, Sr – $Kk = 0,0199 \cdot T + 1$, dirvožemių bendrą užterštumą – $Zc(14) - Zc = 0,1601 \cdot T + 1$. Remiantis šiomis sietimis galima prognozuoti, kad Mažeikiuose dėl bendros išsklaidytosios taršos poveikio Pb Kk padidės vienetu po 128 metų, o Sr – po 50 metų. Pagal minėtas prognozes sietis, suminis užterštumas Zc po 100 metų gali padidėti 16 vienetų. Šie ryšiai svarbūs vertinant dirvožemio kokybę (Taraškevičius ir kt., 2003a) ar aiškinant užterštų jo plotų mieste augimą (Taraškevičius ir kt., 2003b).

3. Teritorijų užstatymo tankumas ir pedogeocheminių anomalijų intensyvumas

Pedogeocheminių anomalijų, kurias suformuoja išsklaidytoji tarša, intensyvumo priklausomybė nuo užstatymo tankumo irgi yra sudėtinga, nors visame masyve išsiskiria didesniais koreliacijos koeficientais nei su urbanizacijos trukme (1 lent.). Jų sieties glaudumas kinta priklausomai nuo urbanizacijos trukmės (3 lent.). Pirmieji reikšmingesni požymiai, siejantys teritorijos taršos intensyvumą su užstatymo tankumu, išryškėja daugiau nei 10 metų urbanizuotose teritorijose ir tą rodo švino kiekio priklausomybė. Tai dėsninga, nes didesnis užstatymo tankumas būdingas senesnėms, centrinėms, daugiafunkcinėms miestų dalims, jis susijęs su potencialiai didesne gyventojų ar ūkio subjektų koncentracija, gyventojų ar atvykėlių judėjimu, kas lemia didesnę transporto priemonių skaičių aplinkoje. Kita vertus, mažiau nei prieš 10 metų pradėtas naudoti bešvinis benzinas.

Pastarąjį duomenų masyvą papildžius urbanizacijos trukmės iki 40 metų poveikio tyrimo rezultatais, prie Pb prisideda visi kiti spalvotieji metalai, Sr bei su juodaisiais metalais susiję Cr, Mo ir Ni. Atitinkamai koreliuoja ir šias geochemines grupes apibūdinantys rodikliai – $Zs+$, Zs , Zg .

2 lentelė. Vyraujančia ūkine veikla besiskiriančių Vilniaus gyvenamųjų rajonų dirvožemių pedogeocheminių anomalijų rodiklių ir urbanizacijos trukmės tiesiniai ryšiai.

Table 2. Linear relationships between indices of pedogeochemical anomalies and urbanisation length in soil of Vilnius residential districts with different prevailing economical activity.

Intensyvesnės autotransporto apkrovos veikiamą gyvenamąjį aplinką <i>Living environment influenced by more intensive motor transport load</i> (N=702, / $r_{0,05}$ /= 0,074)				Intensyvesnės metalo apdorojimo pramonės įmonių veikiamą gyvenamąjį aplinką <i>Living environment influenced by more intensive load of metal-working industry</i> (N=943, / $r_{0,05}$ /= 0,064)			
elementas ar geocheminis rodiklis <i>element or geochemical index</i>	regresijos lygtys/ <i>regression equations:</i> $Kk=a \cdot T + 1,$ $Z=a \cdot T + 1$	$T(dKk=1, dZ=16)$	$r(Kk, Z \Leftrightarrow T)$	elementas ar geocheminis rodiklis <i>element or geochemical index</i>	regresijos lygtys/ <i>regression equations:</i> $Kk=a \cdot T + 1,$ $Z=a \cdot T + 1$	$T(dKk=1, dZ=16)$	$r(Kk, Z \Leftrightarrow T)$
Zn	0,1502 · T + 1	6,7	0,163*	Ag	0,1187 · T + 1	8,4	0,190*
Ag	0,1481 · T + 1	6,8	0,195*	Mo	0,1182 · T + 1	8,5	0,175*
Hg	0,0885 · T + 1	11	0,100*	Zn	0,1163 · T + 1	8,6	0,177*
Pb	0,0727 · T + 1	14	0,175*	Hg	0,1116 · T + 1	9,0	0,438*
Cu	0,0645 · T + 1	16	0,110*	Pb	0,0672 · T + 1	15	0,247*
Sn	0,0347 · T + 1	23	0,143*	Cu	0,0479 · T + 1	21	0,154*
Cd	0,0347 · T + 1	29	0,104*	Sn	0,0401 · T + 1	25	0,222*
As	0,0202 · T + 1	50	0,270*	Cd	0,0316 · T + 1	32	0,238*
Ni	0,0153 · T + 1	65	0,212*	As	0,0135 · T + 1	74	0,150*
Mo	0,0149 · T + 1	67	0,082*	Cr	0,0126 · T + 1	80	0,247*
Sr	0,0134 · T + 1	75	0,309*	Ni	0,0126 · T + 1	80	0,283*
Cr	0,0125 · T + 1	80	0,159*	Sr	0,0101 · T + 1	99	0,333*
Ba	0,0084 · T + 1	119	0,075*	Ba	0,0088 · T + 1	114	0,300*
Co	0,0007 · T + 1	1430	0,148*	V	0,0044 · T + 1	227	0,152*
Mn			0,018	Co	0,0024 · T + 1	417	0,186*
B			0,034	Mn			-0,020
V			-0,042	B			-0,063
Zc(17)	0,7277 · T + 1	22	0,231*	Zc(17)	0,7466 · T + 1	21	0,369*
Zs+(10)	0,6668 · T + 1	24	0,228*	Zs+(10)	0,5799 · T + 1	28	0,373*
Zs(7)	0,6206 · T + 1	26	0,216*	Zs(7)	0,5454 · T + 1	29	0,376*
Zc(14)	0,5651 · T + 1	28	0,264*	Zc(14)	0,5674 · T + 1	28	0,317*
Zs(5)	0,4799 · T + 1	33	0,256*	Zs(5)	0,3904 · T + 1	41	0,314*
Zg(7)	0,0614 · T + 1	261	0,133*	Zg(7)	0,157 · T + 1	102	0,182*

Santrumpos: N – koreliuojamų duomenų skaičius; / $r_{0,05}$ / – koreliacijos koeficiento r kritinė riba; $T(dKk=1, dZ=16)$ – laikas, per kurį koncentracijos koeficientas Kk padidėja vienetu arba bendras taršos laipsnis Z – 16 vienetų; $Zs+(10)$ – bendras užterštumo rodiklis, lemiamas spalvotųjų metalų – g, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn ir su jais susijusių As, Ba, Sr; kitas santrumpas žr. 1 lentelėje.

Abbreviations: N – number of correlated data; / $r_{0,05}$ / – critical limit of correlation coefficient r ; $T(dKk=1, dZ=16)$ – period during which the concentration coefficient Kk increases by one unit or total level of pollution Z by 16 units; $Zs+(10)$ – additive contamination index predetermined by non-ferrous metals Ag, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn and trace elements As, Ba, Sr related to them; other abbreviations are the same as in Table 1.

Tiesinių lygčių analizės rezultatais parodyta, kad iki 40 metų urbanizuotų plotų spalvotųjų metalų – Zn, Ag, Hg, Pb, Cu, Sn, Cd koncentracijos koeficientų prieaugis dKk vienetu gali padidėti užstatymo tankumui išaugant nuo 4% iki 19%, o Cr, Mo, Ni ir Sr – tik nuo 42% iki 53%. Kad suminės taršos prieaugis padidėtų 16 vienetų, pakanka, kad užstatymo tankumas išaugtų nuo 14% (Zc lemiant 17 elementų) iki 18% (Zc lemiant 14 elementų). Didelė rodiklių sieties kampinio polinkio koeficiento prie $Zs+$ reikšmė rodo, kad taršos prieaugį lemia spalvotieji metalai ir su jais susiję As, Ba, Sr.

3 lentelė. Teritorijų pedogeocheminių anomalijų rodiklių ir užstatymo tankumo tiesiniai ryšiai.
Table 3. Linear relationships between indices of pedogeochemical anomalies and building density.

Cheminis elementas arba geocheminis rodiklis <i>Chemical element or geochemical index</i>	Urbanizacijos trukmė / Length of urbanisation				
	iki 10 metų < 10 years	iki 20 metų < 20 years	iki 40 metų < 40 years		
	$N=37,$ $r(Kk,Z \Leftrightarrow D)$	$N=60,$ $r(Kk,Z \Leftrightarrow D)$	$N=702,$ $r(Kk,Z \Leftrightarrow D)$	$Kk=a \cdot D + 1,$ $Z=a \cdot D + 1$	$T(dKk=1, dZ=16)$
Ag	0,043	0,094	0,209*	$0,235 \cdot D + 1$	4,3
As	-0,312	0,005	0,069		
B	-0,155	-0,180	-0,004		
Ba	-0,039	0,024	0,042		
Cd	0,134	0,150	0,156	$0,054 \cdot D + 1$	19
Co	-0,073	0,095	0,042		
Cr	-0,293	-0,012	0,113*	$0,019 \cdot D + 1$	53
Cu	0,087	0,109	0,150*	$0,101 \cdot D + 1$	9,9
Hg	0,140	0,142	0,143*	$0,139 \cdot D + 1$	7,2
Mn	-0,204	-0,040	-0,016		
Mo	0,005	0,135	0,149*	$0,024 \cdot D + 1$	42
Ni	0,090	0,155	0,155*	$0,023 \cdot D + 1$	43
Pb	0,302	0,347*	0,209*	$0,114 \cdot D + 1$	8,8
Sn	0,070	0,140	0,138*	$0,067 \cdot D + 1$	15
Sr	0,294	0,071	0,116*	$0,02 \cdot D + 1$	51
V	0,183	0,176	-0,038		
Zn	0,084	0,134	0,110*	$0,225 \cdot D + 1$	4,4
Zc(17)	0,152	0,203	0,234*	$1,118 \cdot D + 1$	14
Zs+	0,151	0,178	0,232*	$1,026 \cdot D + 1$	16
Zs(7)	0,183	0,198	0,231*	$0,959 \cdot D + 1$	17
Zc(14)	0,128	0,195	0,256*	$0,873 \cdot D + 1$	18
Zs(5)	0,129	0,175	0,253*	$0,744 \cdot D + 1$	22
Zg(7)	0,064	0,166	0,114*	$0,093 \cdot D + 1$	172
$/r_{0,05}/$	0,325	0,250	0,074		

Santrumpas žr. 1 ir 2 lentelėje / Abbreviations are the same as in Table 1 and 2.

Padėka

Autoriai dėkingi Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui už 2003 m. finansinę paramą vykdant programos *Urbanizuotos aplinkos kokybė ir jos kaita* temą „Parenkti miestų dirvožemių (gruntų) ir vandens telkinių dugno nuosėdų ekologinės–geocheminės būklės prognozė“.

Išvados

1. Išskaidytosios taršos suformuotų pedogeocheminių anomalijų intensyvumas urbanizuotų teritorijų gyvenamuosiuose rajonuose yra susijęs su urbanizacijos trukme ir užstatytos žemės dalies arba užstatymo tankumu ir gali būti išreikštas tiesioginės sieties lygtimis. Tarp jų paprasčiausios ir lengviausiai interpretuojamos tiesinės lygtys su minimalia prognozuojamo geocheminio rodiklio reikšme, lygia vienetui, t.y. fonine reikšme. Tiek urbanizacijos trukmės, tiek užstatymo tankumo poveikis pedogeocheminiams rodikliams ryškiausias dideliuose miestuose.

2. Bendrą išsklaidytosios taršos suformuotų pedogeocheminių anomalijų lygio kaitą urbanizuotų teritorijų gyvenamuosiuose rajonuose lemia urbanizacijos trukmė ir vyraujantis ilgametis ūkinės ir gamybinės veiklos pobūdis. Tiesioginis ryšys tarp jų geriausiai išryškėja tyrinėjant mažiau nei 100 metų urbanizuotas teritorijas. Sparčiausiai didėja spalvotųjų metalų (Ag, Cu, Cd, Hg, Pb, Sn, Zn) išsklaidytosios taršos sukurtų anomalijų intensyvumas ir plotai, ypač dideliuose miestuose, ir tai lemia bendros polielementės taršos pokyčius. Su juodaisiais metalais susiję mikroelementai pastovesnes išsklaidytosios taršos suformuotas anomalijas formuoja tik metalų apdorojančių įmonių aplinkoje esančiuose gyvenamuosiuose rajonuose.

3. Išsklaidytosios taršos suformuotų pedogeocheminių anomalijų ir užstatytos žemės dalies (užstatymo tankumo) ryšys išryškėja ne iš karto. Pirmieji reikšmingesni požymiai, siejantys grunto užterštumo intensyvumą su užstatymo tankumu, nustatyti tik tyrinėjant daugiau nei 10 metų urbanizuotas teritorijas ir būdingi švinui. Daugiau nei 20 metų urbanizuotose teritorijose su užstatymo tankumu koreliuoja ne tik Pb, bet ir kiti spalvotieji metalai – Ag, Cd, Cu, Hg, Sn, Zn, taip pat Sr, su juodaisiais metalais susiję Cr, Mo ir Ni ir įvairūs pagrindinių elementų grupių lemiamą bendrą užterštumą atspindintys geocheminiai rodikliai.

4. Vertinant dirvožemio ekologinę geocheminę būklę pagal suminės taršos rodiklį $Zc(14)$ ir esant prielaidoms, kad pradinio momentu ji yra gera ir $Zc(14) = 1$, o toks cheminės taršos lygis ir pobūdis bei jį lemiantys veiksniai, kokie buvo anksčiau, išliks ir ateityje, galima prognozuoti, kad Vilniaus gyvenamuosiuose rajonuose, kur yra intensyvus transportas arba veikia metalo apdorojimo įmonės, silpnos anomalijos ($4 < Zc < 8$) gali pradėti formotis jau po 5 metų, dirvožemis tapti patenkinamos ($8 < Zc < 16$) būklės – po 12 metų, vidutinės ($16 < Zc < 32$) – po 26 metų, blogos ($Zc > 32$) – po 55 metų. Mažeikiuose, esant ligšioliam cheminės taršos lygiui, silpnos anomalijos gali pradėti formotis po 19 metų, dirvožemis tapti patenkinamos būklės po 44 metų, vidutinės – po 94 metų, o blogos – po 194 metų.

Gauta: 2003-11-30

Literatūra

- Dijokienė D.** (2002). Istoriniai priemiesčiai: genezė, raida, vertė, tvarkymas (Lietuvos miestų pavyzdžiu): Dr. disertacijos santrauka, Vilnius: Technika. 35 p.
- Godienė G.** (2001). Užstatymo intensyvumo kaitos dėsningumai urbanizuotame kraštovaizdyje: Dr. disertacija, Vilnius, 220 p.
- Kadūnienė E.** (1993). Liuminescentinė-bituminologinė nuotrauka ekogeologiniuose tyrimuose. *Geologija* **15**, Vilnius: Academia, p. 74–77.
- Taraškevičius R.** (1998). Heavy Metals in Topsoils of Dwelling Districts. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. Vol. **28**. No **2**, p. 156.

Taraškevičius R. (2000). Sunkieji metalai Vilniaus miesto Naujamiesčio, Senamiesčio, Šnipiškių, Žirmūnų, Žvėryno ir Antakalnio seniūnijų dirvožemiuose, *Aplinkos inžinerija*. T. 8. Nr. 3, Vilnius: Technika, p. 137–145.

Taraškevičius R., Oškinis V., Lesauskaitė S. (1999). Gyvenamosios aplinkos pagerinimo galimybės įvertinus dirvožemio užterštumą sunkiaisiais metalais, *Aplinkos inžinerija*. T. 7. Nr. 3, Vilnius: Technika, p. 134–141.

Taraškevičius R., Šiaudinienė A. (2001). Vilniaus miesto Žirmūnų seniūnijos pramonės rajono pedogeocheminės kaupimosi ir paragenetinės asociacijos, *Aplinkos inžinerija*. T. 9. Nr. 3, Vilnius: Technika, p. 176–183.

Taraškevičius R., Zinkutė R. (2003a). Urbanizuotų teritorijų grunto dangos kokybės higieninis geocheminis vertinimas, *Geografijos metraštis* 36(1), p. 161–170.

Taraškevičius R., Zinkutė R. (2003b). New Areas for Hygienical Investigation in Vilnius according to Change of Topsoil Total Contamination Index Distribution. *Medical geology, Health and the Environment: Abstracts of presentations by participants of the short course*, Vilnius, p. 55–58.

Taraškevičius R., Zinkutė R. (2003c). Geochemical Characterization of Topsoil in Dwelling Districts of Lithuanian Urban Territories. *International workshop 'Geosciences for Urban Development and Environmental Planning', September 13–18, 2003, Vilnius, Lithuania, organised by COGEOENVIRONMENT, Extended abstracts*, p. 97–99.

Zinkutė R. (2002). Trace Element Technogenous Associations in Topsoil of Urbanised Territories of Lithuania. Vilnius: Institute of Geology and Geography, 200: 72 tabl.+50 fig.

Ričardas Taraškevičius, Rimantė Zinkutė
Institute of Geology and Geography, Vilnius

Giedrė Godienė
Ministry of Environment, Vilnius

Forecast possibilities of changes of pedogeochemical anomalies formed by dispersed pollution in urbanised territories

Summary

The aim of investigation was to find out the relationships between concentration coefficients of potentially hazardous elements (Ag, As, B, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, Sr, V and Zn) in the topsoil of residential districts of Vilnius (partly Mažeikiai and Joniškis), additive contamination indices of their different groups, as dependent variables, and urbanization length or building density, as independent variables. It has been already noted that the topsoil pollution level in urban territories increases in time. Dispersed pollution, which exists in residential districts, can be considered as more or less of the same level. Therefore rough forecast of topsoil pollution level can be expected on the basis of generalising parameters: urbanisation length and building density. Data on urbanisation length and building density were collected by G. Godienė. Geochemical data were accumulated in Environmental Geochemistry Department of the Institute of Geology and Geography. The following main element groups were distinguished: non-ferrous metals (Ag, Cd, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn), the main pollution source of which is transport activity, and elements related to ferrous metals (B, Co, Cr, Mn, Mo, Ni, Sr, V), the main pollution source of which is metal working industry. Their additive contamination indices are Zs(7) and Zg(7), respectively. As, Sr and Ba are closely related to non-ferrous metals, the additive contamination index of these 3 elements and non-ferrous metals is indicated by Zs+(10). Total contamination indices are based either on all group of investigated potentially hazardous elements (in Vilnius) – Zc(17), or on its smaller subset (without As, Cd, Hg) – Zc(14). Direct linear relationships exist between all non-ferrous metals, also Ba, Sr, P and Cr, on the one hand, and urbanisation length, on the

other hand, as correlation coefficients between them are significant at 0.05 significance level. The additive contamination indices, except $Zg(7)$, are also related to urbanisation length. Similar conclusions concern the relationship of these indices with building density. The increase of median topsoil pollution level with urbanisation length is observed for non-ferrous metals and As, Sr, Ba, when the age intervals of residential territories, from which they were taken, are shorter than 100 years. Therefore linear relationships $y = ax+1$ can be determined between urbanisation length and pollution indices. The greater is the coefficient a , the more rapid is the increase of corresponding pollution index. The greatest coefficients are characteristic of relationships for non-ferrous metals. Therefore their pollution level in urban residential districts increases most rapidly. Two different type data sets were chosen in Vilnius: the first one includes samples taken from the district, which is intensively affected by motor transport activity, the second one includes not only the previous samples, but also samples from the district intensively affected by metal processing industry. More elements have significant correlation with urbanisation length in the second data set. Significant correlation is observed between pollution indices and building density, but only when the data sets include samples from sufficiently old residential districts (<40 years).

The linear relationships can be used for the forecast of the topsoil quality changes in urban residential districts.