Mineralia Slovaca, 49 (2017), 61 – 72
Web ISSN 1338-3523, ISSN 0369-2086

Magnetická susceptibilita a distribúcia potenciálne toxických prvkov v pôdach Záhorskej nížiny a na úpätí Malých Karpát

ONDREJ ĎURŽA a JÁN MILIČKA

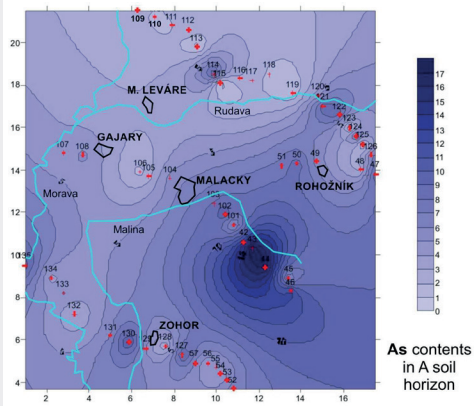
Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Katedra geochémie, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava, durza@fns.uniba.sk

Magnetic susceptibility and potentially toxic elements distribution in soils of the Záhorská nížina Lowland and of the Malé Karpaty Mts. foothill, Slovakia

Abstract: The aim of the article is the study of selected potentially toxic elements distribution in soils of the Záhorská nížina Lowland and of the Malé Karpaty Mts. foothill. Further aim was to present a non-conventional way of magnetic susceptibility utilizing, i.e. the soil magnetometry.
In presented study the low relationship between contents of potentially toxic elements and magnetic susceptibility in soils was found. The use of soil magnetometry is evidently limited to the evaluation of potentially toxic elements distribution in soils with low organic matter content, e.g. in sandy soils.

Key words: magnetic susceptibility, potentially toxic elements, sandy soils, Záhorská nížina lowland, Western Carpathians

Graphical abstract



Highlights

- The selected potentially toxic elements in soils of the Záhorská nížina Lowland and the Malé Karpaty Mts. foothill were presented on contour maps
- The application of soil magnetometry is limited for evaluation of potentially toxic elements in soils with low content of organic matter, e.g. the sandy soils

Úvod

Aktuálnosť problematiky potenciálne toxických prvkov (PTP) je aj v tom, že pre ne v princípe neexistujú mechanizmy samočistenia – ony sa len premiestňujú z jedného prírodného rezervoára do druhého pri vzájomnom pôsobení s rôznymi kategóriami rôznych živých organizmov a všade ostávajú zreteľné neželateľné dôsledky tohto vzájomného pôsobenia.

Tieto zistenia poskytujú stimuláciu na súhrnné štúdium známych alebo podozrivých oblastí znečistenia a na doplňujúce sledovanie geochemického správania PTP v ovzduší, vode a pôdach a ich vplyvu na rastliny s nasledujúcou možnosťou vplývať na ľudský organizmus, ako aj na zavádzanie nových netradičných metód štúdia PTP.

Takouto metódou je aj pôdna magnetometria. Táto metóda patrí medzi menej štandardné metódy slúžiace na zisťovanie znečistenia prostredia PTP. Je to však metóda, ktorá umožňuje nazhromaždiť dostatočne veľké množstvo údajov nutných na štatistickú a grafickú interpretáciu priestorovej distribúcie magnetických parametrov týkajúcich sa znečistenia pôd PTP (napr. Ďurža et al., 2013; Venuti et al., 2016; Rachwal et al., 2017).

Skúmaná oblasť

Pôdy Záhorskej nížiny možno zaradiť do skupiny pôd s extrémnymi vlastnosťami. Nemajú takmer žiadnu organickú hmotu, majú nevhodnú textúru, zlý vodno-vzdušný režim a nemajú žiadny skelet, pretože vznikli prevažne z viatych pieskov, ktoré boli koncom pleistocénu vyviate z riečnych terás Moravy.

Najrozšírenejšie pôdne typy sú regozem, kambizem, čiernica a podzol. Okrem toho tu vystupujú fluvizeme, na svahu a úpätí Malých Karpát aj rendziny a pararendziny. Lokálne možno nájsť gleje (Čurlík a Šefčík, 1999).

Distribúcia kovov v pôdnom profile sa riadi procesom pedogenézy. Tento proces vplýva na distribúciu obsahu kovov v jednotlivých pôdnych horizontoch. V rámci pôdneho profilu sú Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Sb a Zn koncentrované predovšetkým vo vrchných horizontoch ako výsledok vegetačnej recyklácie, atmosférickej depozície a adsorpcie organickou hmotou. Prvky, ktoré sa nachádzajú vo zvýšenej koncentrácii v spodnejších horizontoch – Fe, Mg, Ni, Sc, Ti a Zr, majú tendenciu akumulácie s ílovými minerálmi a seskvioxidmi (Bowen, 1979). Antropogénne kontaminované pôdy majú zväčša vyšší obsah kovov vo vrchnom horizonte, pretože v pedogenetickom procese nebol dostatok času na ovplyvnenie ich redistribúcie v pôdnom profile (Alloway, 1990).

Záhorskú nížinu možno považovať za oblasť so špecifickými prírodnými podmienkami. Okrem toho sa tu uplatňuje značný vplyv činnosti človeka.

Metodika

V rámci študovaného územia sa sledovalo 51 lokalít, na ktorých sa merala magnetická susceptibilita a odoberali sa vzorky na chemické analýzy. Lokality boli rozdelené do troch línií (obr. 1):

- línia Moravský Svätý Ján – Závod – Studienka – Sološnica – Rohožník,
- línia Gajary – Malacky – Pernek,
- línia Záhorská Ves – Vysoká pri Morave – Zohor – Stupava.

Vzorky sa odoberali a magnetická susceptibilita sa merala aj vo vertikálnych profiloch, a to v horizonte Ao, A a B, resp. na povrchu a v hĺbke 5 – 10 cm a 30 – 40 cm. Na sledovaných líniách nebolo možné zachovať rovnaké podmienky merania ako rovnaká materská hornina alebo rovnaké pozadie či rovnakú hrúbku humusového horizontu.

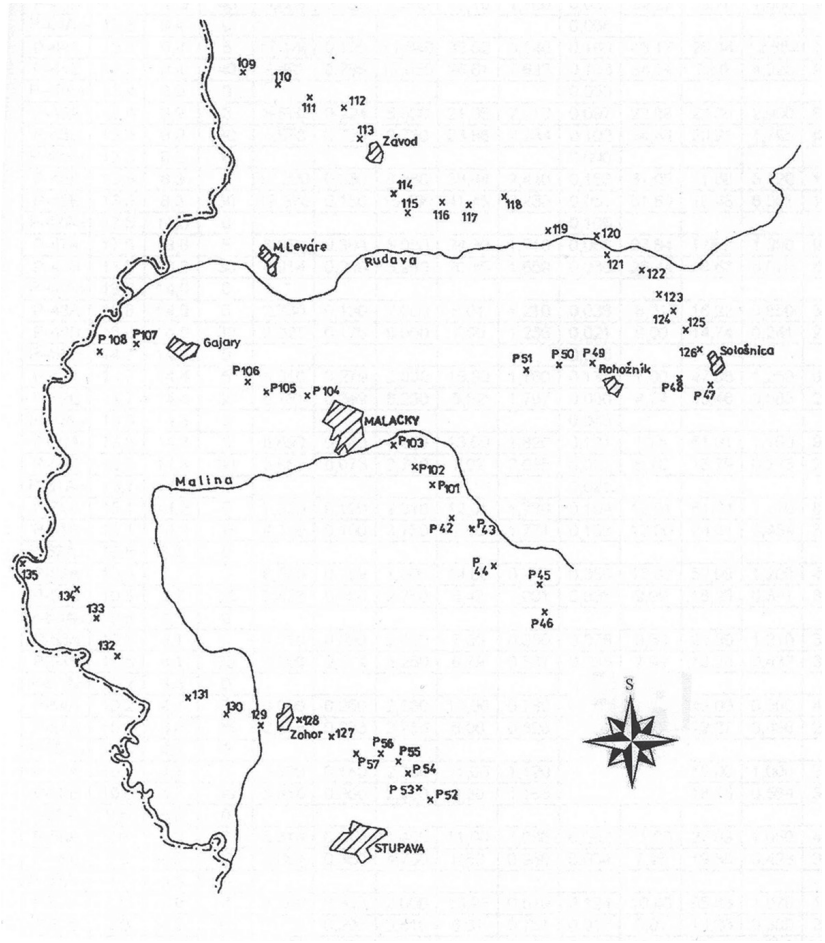
Vo vysušených a upravených vzorkách sa rôznymi metódami analyticky zisťovala koncentrácia vybraných prvkov, konkrétne As, Cd, Co, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb a Zn.

Väčšina vzoriek sa analyzovala v laboratóriách Ústavu laboratórneho výskumu geomateriálov Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave (tab. 1). Na stanovenie prvkov sa použila atómová absorpčná spektrometria (AAS). Stanovenie prvkov sa vykonalo za podmienok uvedených v práci Medveďa et al. (1992). Absorpčné signály Pb, Zn, Cd, Fe, Co, Cu a Ni sa merali z roztoku použitím atómového absorpčného spektrometra Perkin – Elmer 380 v plameni acetylén – vzduch, pri As a Sb sa použila hydridová technika. Hg sa stanovila priamo z pevnej vzorky na jednoúčelovom spektrometri TMA 254.

Vzorky 102, 103, 104, 106 a 108 sa analyzovali v laboratóriách EL, spol. s r. o. – Ekologické a veterinárne laboratóriá v Spišskej Novej Vsi, pričom sa použila rovnaká metodika (tab. 1).

Magnetická susceptibilita sa merala kappametrom, model KT-5. Základnou súčasťou prístroja je 10 kHz oscilátor, ktorý je indukčne spojený s plochou meracou cievkou, umiestnenou v meracej časti prístroja. Frekvencia oscilátora sa meria cievkou umiestnenou v rovnakej vzdialenosti od horniny (meranie „voľného priestoru“) a cievkou priloženou k povrchu horniny. Z rozdielu frekvencií sa pomocou mikroprocesora určí zdanlivá susceptibilita, ktorá je číselne zobrazená na displeji. Meranie sa opakuje trinásťkrát a z výsledkov sa potom vypočítava priemer, s ktorým sa ďalej pracuje (tab. 2).

Následne sa vypočítajú relatívne vrchnohumusové (vrchnopôdové) RTE



Obr. 1. Mapa odberov pôdnych vzoriek.
Fig. 1. Sampling scheme of soil samples.

hodnoty (RTE – *relative topsoil elevation*). Pod relatívnym vrchnohumusovým (vrchnopôdovým) zvýšením koncentrácie prvku, resp. hodnôt magnetickej susceptibility sa rozumie pomer koncentrácie prvku, resp. hodnôt magnetickej susceptibility vo vrchnej pôde (0 – 15 cm) k jeho koncentrácii, resp. hodnotám magnetickej susceptibility v podklade (30 – 45 cm) ako index povrchovej kontaminácie pôd (Colbourn a Thorton, 1978, in Alloway, 1990).

Výsledky a diskusia

Pri porovnávaní výsledkov analýz s limitnými hodnotami rizikových látok v pôdach (*Rozhodnutie Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky*, 1994) sa zistilo, že vo viacerých vzorkách boli prekročené limitné hodnoty A, a to pri prvkoch Cd, Cu, Hg, Ni, Pb a Zn. Len v jednom prípade bola prekročená limitná hodnota B, konkrétne v prípade Cd (tab. 3).

Ak sledujeme tieto prekročenia v jednotlivých bodoch odberov, zistíme, že najviac prekročení je v bodoch 135 (Cd, Cu, Ni, Zn), 107 (Cd, Cu, Hg, Zn), 102 (Pb, Cd, Hg) a 46 (Cu, Ni, Zn).

Na základe máp izolínií zobrazujúcich distribúciu prvkov v jednotlivých pôdnych horizontoch možno vyčleniť niekoľko skupín s podobnou distribúciou prvkov (obr. 2 – 4).

Do prvej skupiny môžeme zaradiť As a Sb, pri ktorých sa najvyšší obsah zaznamenal vo východnej časti druhého profilu. Ten je pokračovaním profilu vedúceho cez pezinsko-pernecké zrudnenie (Veselský et al., 2003). Možno predpokladať, že zvýšené hodnoty sú spojené s týmto zrudnením. V prípade Sb v horizonte Ao sú však maximálne hodnoty dosiahnuté v západnej časti druhého profilu v bode 107. Keďže smerom do hĺbky obsah Sb klesá, možno predpokladať, že ide o antropogénny zdroj.

Do ďalšej skupiny s podobnou distribúciou prvkov možno zaradiť Fe, Co a Ni. V prípade Fe a Co je viditeľný nárast koncentrácie smerom do hĺbky. V prípade Ni tento nárast nie je taký zreteľný, čo je pravdepodobne spôsobené väzbou Ni na organické látky v humusových pôdnych horizontoch.

Zvýšenú koncentráciu zaznamenávame vo východnej časti tretieho profilu, v prípade Co aj v jeho západnej časti. V rámci druhého profilu je pri týchto prvkoch zistený zvýšený obsah v bodoch 108, 104 a na jeho východnom okraji. V prvom profile sa zvyšuje koncentrácia smerom k toku rieky Moravy, s najvyššími hodnotami v bode 135. Tento bod odberu bol umiestnený pri hrádzi, ktorá pozostáva z navezeného materiálu. Preto tu možno predpokladať, že zvýšený obsah týchto, ako aj ďalších prvkov má aj antropogénny pôvod.

Samostatnú skupinu tvoria Cu a Zn. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, zvýšený obsah týchto prvkov je vo východnej časti druhého a tretieho profilu a v západnej časti prvého profilu. Aj pri týchto prvkoch je zvýšený obsah aj v bode 104. Okrem toho je zvýšená koncentrácia oboch prvkov v horizonte Ao v bode 107, ktorá smerom do hĺbky klesá. To poukazuje na pravdepodobný antropogénny zdroj vstupu oboch prvkov.

Do žiadnej z týchto skupín nemožno zaradiť zvyšné prvky, teda Pb, Hg a Cd. V prípade Cd ide skôr o bodové zvýšenia koncentrácie ako o plošné, ktoré sa prejavujú len v niektorých pôdnych horizontoch.

V prípade Pb a Hg vo všeobecnosti klesá koncentrácia smerom do hĺbky. Akumulácia oboch prvkov vo vrchných horizontoch môže byť spôsobená väzbou na organickú hmotu. Vyššia koncentrácia Pb vo vrchnom horizonte pôdy je čiastočne aj v dôsledku atmosférickej depozície (Kabata-Pendias a Kabata, 1992) a kyslé dažde spravidla nedokážu výraznejšie vylúhovať Pb z pôdy. Olovo je v horizonte Ao a A distribuované, pomerne rovnomerne s výnimkou bodov 102 a 47. V horizonte B je zvýšený obsah Pb, či už bodovo alebo plošne, vo všetkých troch profiloch. Ortuť, podobne ako olovo, je na povrchu distribuovaná pomerne rovnomerne, s výnimkou bodu 107, kde je dosiahnutá najvyššia koncentrácia Hg vôbec. Podobne ako v prípade Zn a Cu, koncentrácia Hg v tomto bode smerom do hĺbky klesá. Z toho možno usudzovať, že je pravdepodobne antropogénneho pôvodu. V prípade horizontu A a B je najvyšší obsah zistený v treťom profile.

K antropogénnym zdrojom, ktoré sa môžu v oblasti Záhorskej nížiny uplatňovať, patrí spaľovanie fosílnych palív, skládky odpadu, miestna priemyselná výroba, používanie rozličných hnojív a pesticídov v poľnohospodárstve a podobne. Vstup niektorých prvkov do pôdy môže byť spojený aj s atmosférickým prenosom. Okrem toho, v rámci tretieho profilu možno predpokladať aj vplyv vojenskej strelnice.

Pôdna magnetometria sa v súčasnosti už bežne používa ako orientačná, rýchla a ekonomicky nenáročná metóda na zisťovanie zvýšenej koncentrácie potenciálne toxických prvkov v pôde nielen u nás (Ďurža, 1999, 2003; Ďurža et al., 2013), ale najmä v zahraničí (Petrovský et al., 2000; Schmidt et al., 2005; Liu et al., 2016).

Maximálne hodnoty magnetickej susceptibility sú zaznamenané v oblasti Malých Karpát a na náplavoch rieky Moravy. Pri porovnávaní s mapami izolínií jednotlivých prvkov možno v niektorých prípadoch vidieť istú koreláciu pozdĺž Malých Karpát. Častejšie však nie je možné určiť žiadny vzťah. To isté platí aj pri korelácii so sumou hodnôt obsahu PTP.

Ani pri porovnávaní RTE (relatívne vrchnopôdové zvýšenie) hodnôt magnetickej susceptibility a sumy hodnôt obsahu prvkov nevidno výraznejšiu spojitosť. Ako anomálny sa javí bod 103, v ktorom je najvyššia RTE hodnota magnetickej susceptibility vôbec, ale hodnoty jednotlivých prvkov, ako aj ich sumy sú tu nízke.

Nízka korelácia medzi distribúciou absolútnych alebo relatívnych hodnôt magnetickej susceptibility a jednotli-

Tab. 1
Koncentrácia sledovaných prvkov.
Concentration of analysed elements.

Prvky Elements	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Číslo vzorky Number of samples	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	%	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}
P-42Ao						0,16				
P-42A	13,01	0,78	3,91	17,60	1,94	0,22	19,07	64,54	2,13	112,46
P-42B	7,70	0,13	7,00	14,01	2,10	0,05	21,76	34,76	0,86	57,54
P-43Ao						0,17				
P-43A	17,85	0,73	10,82	26,06	2,53	0,15	36,05	54,08	3,86	172,57
P-43B	8,66	0,73	8,26	17,10	1,71	0,04	34,27	23,76	1,68	107,06
P-44Ao						0,07				
P-44A	17,14	0,12	11,84	35,52	3,14	0,17	43,17	26,44	12,85	107,56
P-44B	7,67	0,76	12,05	26,61	2,63	0,10	34,14	22,60	4,23	92,39
P-45Ao						0,05				
P-45A	5,87	0,22	5,59	21,36	2,21	0,10	22,88	23,39	2,98	62,04
P-45B	4,58	0,72	9,73	23,86	2,23	0,10	34,44	20,21	1,76	64,38
P-46Ao						0,10				
P-46A	12,20	0,68	8,38	38,44	2,44	0,15	31,05	21,68	5,12	177,41
P-46B	17,37	0,15	15,73	41,45	3,44	0,05	51,69	18,48	6,36	104,14
P-47Ao						0,11				
P-47A	8,65	0,30	5,06	24,30	1,71	0,06	27,84	178,17	1,30	91,11
P-47B	4,91	0,30	8,98	20,45	1,66	0,04	26,44	48,63	0,88	62,10
P-48A	2,73	0,13	2,00	8,01	1,21	0,04	6,01	16,22	0,65	30,54
P-48B	2,03	0,18	6,50	7,00	1,24	0,02	9,00	14,74	0,24	23,49
P-49Ao						0,04				
P-49A	5,61	0,28	2,00	15,99	1,76	0,13	7,00	47,98	1,25	80,46
P-49B	6,76	0,35	6,23	8,52	1,80	0,03	4,24	15,46	0,58	22,19
P-50Ao						0,04				
P-50A	8,69	0,26	4,00	13,00	1,82	0,12	10,50	61,01	1,15	96,52
P-50B	3,67	0,08	3,76	7,02	2,06	0,02	5,76	15,79	0,27	23,06
P-51Ao						0,09				
P-51A	7,32	0,19	2,01	12,01	1,73	0,19	12,01	51,04	1,11	80,57
P-51B	4,34	0,15	3,75	7,80	1,77	0,10	12,00	24,01	0,48	33,26
P-52A	6,55	0,17	1,50	14,00	0,74	0,36	12,00	52,99	1,20	46,00
P-52B	2,43	0,35	2,75	6,49	1,09	0,04	9,99	18,23	0,35	31,72
P-53A	5,21	0,09	2,00	7,00	0,98	0,08	8,50	23,99	1,21	35,49
P-53B	2,81	0,67	3,25	6,79	0,88	0,04	7,99	16,24	0,44	38,96
P-54A	4,09	0,26	2,50	10,00	0,78	0,14	7,50	46,00	0,90	47,50
P-54B	2,52	0,09	2,75	6,00	0,83	0,05	5,00	22,27	0,44	28,52
P-55A	5,10	0,14	2,30	11,00	1,12	0,12	10,50	39,00	1,00	56,00
P-55B	3,92	0,35	2,33	8,30	1,19	0,04	7,00	18,75	0,58	36,51
P-56A	3,81	0,22	1,49	11,00	1,04	0,09	11,00	27,99	1,05	45,49
P-56B	2,96	0,35	4,75	8,50	0,95	0,03	7,25	19,50	0,43	34,50

Tab. 1 – pokračovanie

Prvky Elements	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Číslo vzorky Number of samples	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	%	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}
P-57A	5,88	0,36	2,00	13,98	0,61	0,12	10,48	65,85	1,07	104,26
P-57B	2,13	0,20	3,51	6,01	0,75	0,02	5,01	14,28	0,39	23,54
P-101Ao	9,46	0,55	25,20	28,90	1,89	0,34	29,30	77,90	0,70	112,40
P-101A	5,26	0,40	7,80	16,60	1,92	0,26	27,50	52,00	0,41	99,50
P-101B	3,96	0,55	6,80	11,60	1,86	0,21	23,20	33,00	0,25	80,50
P-102Ao	6,80	0,90	6,00	21,00	1,77	0,34	27,00	95,20	1,70	114,00
P-102A	10,00	0,80	8,00	16,00	2,05	0,21	28,00	64,20	1,60	117,00
P-102B	3,30	0,30	7,00	13,00	2,14	0,09	23,00	19,80	0,60	57,00
P-103Ao	6,70	0,60	4,00	17,00	1,08	0,36	27,00	73,30	1,40	111,00
P-103A	8,10	0,40	1,00	13,00	1,07	0,35	23,00	59,80	1,50	62,00
P-103B	12,40	0,20	1,00	9,00	1,35	0,15	34,00	35,40	0,80	48,00
P-104Ao	4,20	0,50	14,00	36,00	2,82	0,11	50,00	24,50	1,10	90,00
P-104A	5,40	0,60	15,00	36,00	2,98	0,11	51,00	26,00	1,30	95,00
P-104B	6,20	0,50	13,00	34,00	2,81	0,10	47,00	26,50	1,40	92,00
P-105Ao	1,75	0,10	1,65	9,30	0,97	0,15	6,40	33,50	0,15	46,50
P-105A	2,57	0,10	2,35	9,50	1,07	0,13	7,20	37,50	0,16	44,50
P-105B	1,37	0,20	2,35	8,14	1,09	0,14	7,50	21,50	0,04	34,50
P-106Ao	1,60	0,20	2,00	6,00	0,75	0,07	7,00	27,90	0,30	33,00
P-106A	1,70	0,30	3,00	5,00	0,74	0,05	6,00	23,70	0,20	22,00
P-106B	1,40	0,10	2,00	3,00	0,69	0,02	5,00	14,30	1,00	11,00
P-107Ao	4,31	0,85	5,74	38,50	1,29	0,78	16,80	55,50	5,42	145,90
P-107A	3,97	0,85	6,55	25,90	1,61	0,32	19,70	52,00	0,41	78,00
P-107B	2,80	0,40	5,90	17,10	1,39	0,21	17,00	34,50	0,18	45,00
P-108Ao	3,20	0,90	7,00	22,00	1,35	0,22	20,00	46,10	0,50	76,00
P-108A	5,30	1,10	12,00	25,00	1,98	0,26	30,00	54,00	0,80	76,00
P-108B	2,60	0,20	9,00	13,00	2,10	0,07	24,00	21,00	0,30	42,00
P-109Ao	1,79	0,35	4,78	13,80	1,45	0,27	14,20	20,00	0,02	47,90
P-109A	2,15	0,15	5,60	17,00	1,69	0,38	16,70	27,00	0,01	60,80
P-109B	2,05	0,35	5,04	14,70	1,52	0,37	15,60	22,50	0,01	48,80
P-110Ao	1,71	< 0,5	8,99	20,47	1,12	0,13	15,48	25,50	0,15	83,40
P-110A	1,93	< 0,5	9,50	16,00	1,20	0,16	14,43	22,40	0,11	49,80
P-110B	1,62	< 0,5	8,49	15,48	1,03	0,11	13,42	22,20	0,08	38,76
P-111Ao	1,46	0,45	2,25	7,20	0,68	0,14	6,05	24,00	0,07	38,80
P-111A	1,92	0,30	3,80	7,83	0,87	0,16	7,25	30,00	0,08	32,00
P-111B	0,75	0,15	2,50	4,30	0,63	0,28	5,25	13,50	0,01	11,80
P-112Ao	2,87	< 0,5	7,50	9,50	1,14	0,13	7,80	29,90	0,29	44,75
P-112A	2,99	< 0,5	7,50	7,80	1,07	0,10	7,22	24,00	0,13	38,60
P-112B	2,11	< 0,5	6,50	6,00	0,91	0,08	6,00	16,43	0,10	32,37
P-113Ao	0,94	0,35	1,35	6,20	0,68	0,16	4,40	16,50	< 0,01	19,10
P-113A	0,56	0,15	1,75	3,85	0,69	0,21	3,55	6,00	< 0,01	12,70

Tab. 1 – pokračovanie

Prvky Elements	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Číslo vzorky Number of samples	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	%	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}
P-113B	0,72	0,20	2,40	4,66	0,77	0,21	4,40	14,50	< 0,01	16,10
P-114Ao	8,86	< 0,5	5,50	10,00	0,85	0,32	9,74	58,90	0,46	68,68
P-114A	9,25	< 0,5	6,99	13,00	1,17	0,33	8,00	51,32	0,39	70,75
P-114B	3,62	< 0,5	6,00	6,50	0,97	0,12	3,50	21,42	0,12	24,90
P-115Ao	1,35	0,35	4,60	11,20	1,06	0,32	8,05	43,00	0,13	74,90
P-115A	0,53	0,20	1,55	3,80	0,69	0,69	3,13	11,50	< 0,01	10,80
P-115B	1,09	< 0,1	1,00	4,55	0,59	0,36	3,65	13,50	< 0,01	11,00
P-116Ao	1,84	< 0,5	6,00	10,00	0,78	0,25	10,20	39,10	0,15	55,04
P-116A	2,83	< 0,5	8,99	9,50	1,58	0,11	9,20	25,50	0,03	47,45
P-116B	1,02	< 0,5	8,00	10,00	1,34	0,11	9,00	18,48	0,04	38,96
P-117Ao	2,44	0,30	2,10	17,10	0,97	0,47	12,60	60,00	0,27	59,10
P-117A	2,46	0,30	1,95	6,20	1,46	0,23	7,40	27,00	0,06	25,60
P-117B	1,54	0,15	2,05	4,35	1,07	0,30	5,30	14,50	0,03	19,60
P-118Ao	1,95	0,68	1,63	16,50	0,60	0,25	15,82	44,44	0,42	54,93
P-118A	1,77	< 0,5	1,30	3,25	0,66	0,05	3,20	17,94	0,09	17,00
P-118B	1,18	< 0,5	1,33	10,00	0,57	0,07	3,83	13,50	0,06	16,00
P-119Ao	1,39	< 0,5	3,10	9,80	0,88	0,34	8,20	46,00	0,14	46,80
P-119A	1,13	< 0,5	3,15	6,40	0,95	0,24	6,85	41,00	0,08	36,70
P-119B	0,87	< 0,5	< 3	4,35	1,23	0,29	8,75	15,75	0,01	22,30
P-120Ao	3,96	0,25	5,05	15,40	1,74	0,12	15,00	33,00	0,12	62,50
P-120A	4,51	0,35	5,30	14,80	1,87	0,12	15,50	37,00	0,15	60,50
P-120B	7,44	0,25	6,15	14,50	2,11	0,15	17,50	34,50	0,10	56,00
P-121Ao	4,94	0,45	5,45	16,00	1,90	0,13	13,90	31,50	0,14	70,00
P-121A	8,57	0,50	5,25	16,70	1,96	0,13	13,20	32,00	0,14	69,00
P-121B	9,68	0,45	6,40	17,60	2,36	0,16	19,10	37,50	0,10	69,00
P-122Ao	5,06	0,64	2,88	15,10	0,98	0,28	11,20	59,45	0,31	76,04
P-122A	8,63	< 0,5	2,32	14,00	1,26	0,08	8,20	45,83	0,24	78,50
P-122B	8,74	1,15	2,88	11,00	1,34	0,08	8,66	43,55	0,28	58,45
P-123Ao	0,33	< 0,5	3,90	11,30	0,90	0,12	7,80	24,50	0,07	47,55
P-123A	0,45	< 0,5	4,15	9,30	0,94	0,13	7,85	15,50	0,06	38,90
P-123B	0,24	< 0,5	< 3	9,20	0,84	0,14	7,60	20,20	0,06	150,80
P-124Ao	7,19	< 0,5	6,53	21,50	2,05	0,12	21,48	36,00	0,14	70,75
P-124A	7,26	< 0,5	7,00	21,98	2,11	0,10	21,65	36,50	0,16	70,45
P-124B	7,73	< 0,5	7,66	22,50	2,20	0,11	23,16	37,66	0,17	68,66
P-125Ao	0,84	< 0,5	7,70	21,10	1,80	0,18	20,20	39,75	~ 0,01	87,10
P-125A	0,76	< 0,5	8,00	21,00	1,79	0,15	19,30	40,50	0,01	86,70
P-125B	0,65	< 0,5	7,30	21,65	1,80	0,16	20,60	42,50	0,03	107,20
P-126Ao	4,91	0,58	5,93	19,48	1,78	0,07	19,64	35,97	0,10	67,90
P-126A	5,73	< 0,5	7,20	20,28	1,97	0,07	19,64	38,50	0,18	65,40
P-126B	9,25	5,11	7,61	20,00	2,10	0,05	22,47	39,97	0,14	71,40

Tab. 1 – pokračovanie

Prvky Elements	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn
Číslo vzorky Number of samples	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	%	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}	mg . kg^{-1}
P-127Ao	8,94	1,23	7,53	19,03	2,48	0,09	20,81	30,97	0,21	69,53
P-127A	9,52	0,58	7,45	20,64	2,57	0,09	22,24	32,07	0,16	66,07
P-127B	10,04	0,56	7,35	18,45	2,56	0,09	21,49	32,98	0,25	67,48
P-128Ao	3,01	0,30	3,95	17,70	1,41	0,18	13,10	40,00	0,16	80,50
P-128A	2,24	0,25	3,35	14,30	1,47	0,14	9,90	38,00	0,07	73,00
P-128B	2,30	0,15	3,45	11,80	1,32	0,11	8,70	34,00	0,03	50,50
P-129Ao	4,15	< 0,5	5,88	28,83	2,05	0,13	19,33	38,49	0,17	82,25
P-129A	4,79	1,15	6,30	24,98	2,02	0,13	19,16	35,49	0,18	77,26
P-129B	6,19	< 0,5	7,67	31,19	2,67	0,23	24,83	43,00	0,20	95,47
P-130Ao	4,45	1,30	7,45	29,10	2,10	0,15	28,80	32,00	0,11	94,00
P-130A	10,51	0,60	7,45	31,70	2,40	0,27	31,30	36,00	0,06	84,50
P-130B	10,85	0,40	7,80	30,60	2,44	0,20	32,10	33,50	0,05	72,40
P-131Ao	6,19	< 0,5	6,25	26,10	2,21	0,11	21,49	36,31	0,15	67,46
P-131A	5,85	0,77	6,75	23,99	2,45	0,10	22,99	35,81	0,06	67,95
P-131B	6,17	< 0,5	6,41	27,43	2,43	0,09	23,66	36,65	0,08	65,13
P-132Ao	5,47	2,55	7,60	34,30	2,10	0,22	34,00	50,00	0,15	138,90
P-132A	2,91	1,54	7,15	32,80	2,19	0,22	31,20	33,00	0,05	63,00
P-132B	3,10	0,20	7,85	32,80	2,52	0,14	33,10	28,00	0,04	58,50
P-133Ao	3,27	0,55	5,01	21,74	1,43	0,16	15,00	38,84	0,22	132,54
P-133A	5,15	0,55	6,43	23,54	1,82	0,51	15,99	34,64	0,13	70,93
P-133B	4,85	< 0,5	6,78	24,20	1,90	0,18	17,32	40,95	0,17	74,95
P-134Ao	2,69	0,30	6,10	23,50	1,76	0,12	17,80	33,00	0,20	128,00
P-134A	3,54	0,15	7,25	25,10	1,84	0,19	17,30	33,00	0,18	97,00
P-134B	2,95	0,10	7,30	25,60	1,96	0,15	19,00	29,50	0,08	70,00
P-135Ao	8,93	0,55	11,50	33,00	2,62	0,08	30,00	24,50	0,06	115,00
P-135A	9,61	2,01	11,06	45,22	2,95	0,24	40,96	36,48	0,17	197,64
P-135B	8,51	1,65	10,96	45,41	2,86	0,18	42,32	48,66	0,23	199,20

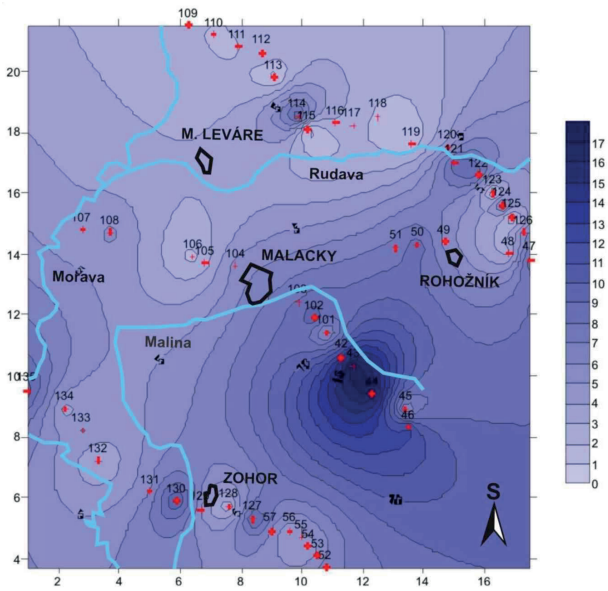
Tab. 2
Hodnoty magnetickej susceptibility pôdnych vzoriek (10^{-3} j. SI).
Magnetic susceptibility values of soil samples (10^{-3} u. SI).

Kappa	Ao	A	B		Ao	A	B
42		0,230	0,230	111	0,19	0,180	0,100
43		0,230	0,150	112	0,27	0,260	0,240
44		0,240	0,250	113	0,19	0,150	0,170
45		0,240	0,250	114	0,20	0,300	0,270
46		0,300	0,290	115	0,13	0,077	0,077
47		0,330	0,230	116	0,15	0,200	0,180
48		0,160	0,140	117	0,11	0,120	0,120
49		0,120	0,110	118	0,12	0,130	0,090
50		0,210	0,150	119	0,18	0,170	0,140
51		0,170	0,130	120	0,21	0,220	0,200
52		0,260	0,160	121	0,20	0,260	0,220
53		0,220	0,210	122	0,18	0,160	0,150
54		0,210	0,180	123	0,10	0,100	0,120
55		0,210	0,170	124	0,15	0,180	0,180
56		0,200	0,230	125	0,52	0,650	0,640
57		0,220	0,170	126	0,34	0,450	0,560
101	0,16	0,150	0,140	127	0,15	0,140	0,130
102	0,29	0,220	0,200	128	0,18	0,140	0,170
103	0,24	0,180	0,090	129	0,17	0,200	0,220
104	0,20	0,200	0,210	130	0,11	0,140	0,160
105	0,19	0,250	0,190	131	0,16	0,180	0,190
106	0,22	0,230	0,180	132	0,10	0,140	0,080
107	0,23	0,250	0,170	133	0,30	0,370	0,370
108	0,19	0,210	0,160	134	0,66	0,430	0,360
109	0,23	0,250	0,230	135	0,82	0,290	0,230
110	0,15	0,160	0,140				

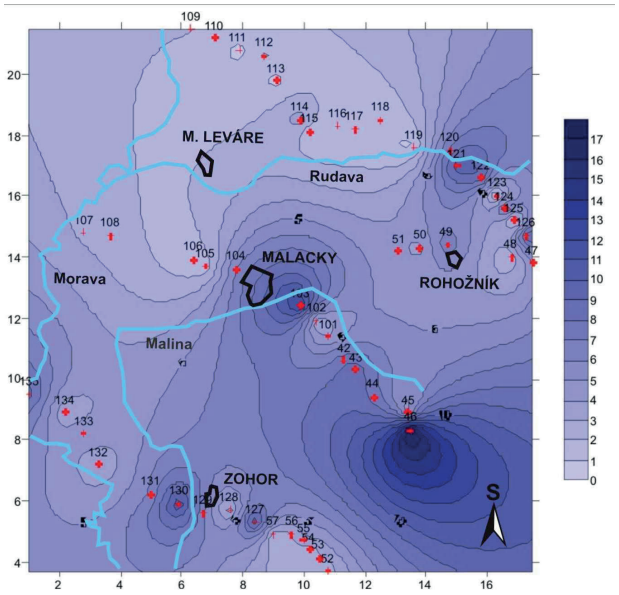
Tab. 3
Vzorky prekračujúce limitné hodnoty jednotlivých prvkov.
Samples exceeding the limit values for individual elements.

	Číslo vzorky Number of sample		
Horizont / Horizon **Prvok / Element**	**Ao**	**A**	**B**
Cd	102, 107, 108, 127, 130, 132	107, 108, 129, 132, 135	122, 126*, 135
Cu	107	46, 135	46, 135
Hg	101, 102, 103, 107, 114, 115, 117, 119	52, 103, 107, 109, 114, 115, 133	109, 115
Ni	104	43, 44, 104, 135	46, 104, 135
Pb	102	47	
Zn	107	43, 46, 135	123, 135

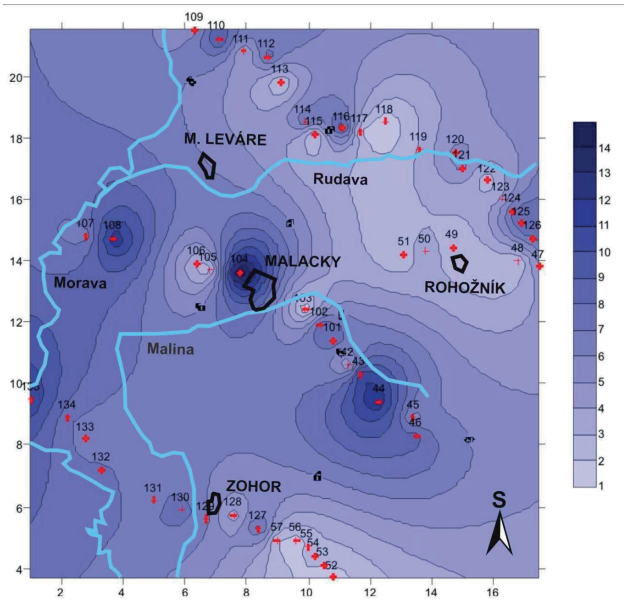
* prekračuje limit B daného prvku
* exceeds B limit for given element



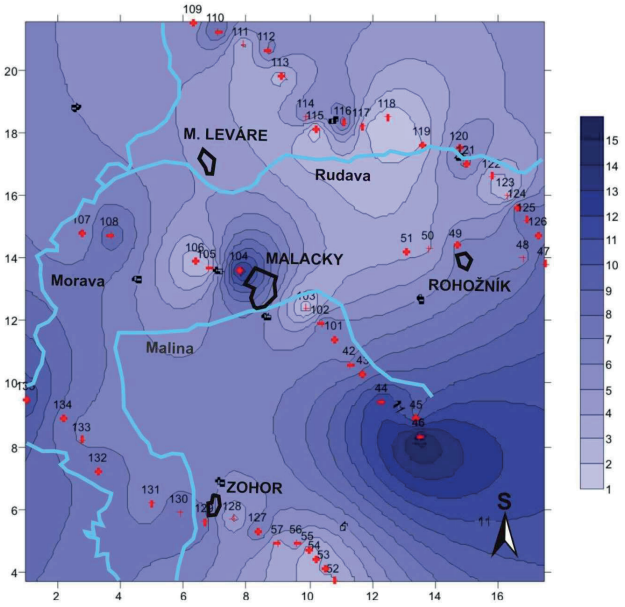
Obr. 2a. Mapa izolínií obsahu As v pôdnom horizonte A.
Fig. 2a. Contour lines for As content in A soil horizon.



Obr. 2b. Mapa izolínií obsahu As v pôdnom horizonte B.
Fig. 2b. Contour lines for As content s in B soil horizon.



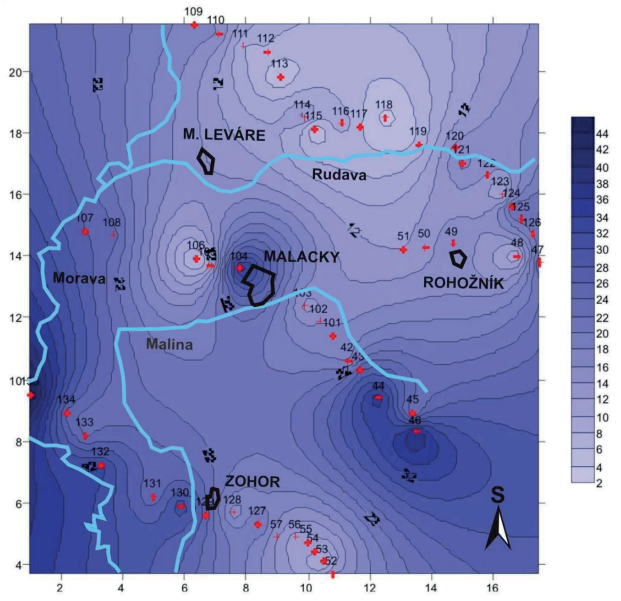
Obr. 3a. Mapa izolínií obsahu Co v pôdnom horizonte A.
Fig. 3a. Contour lines for Co content in A soil horizon.



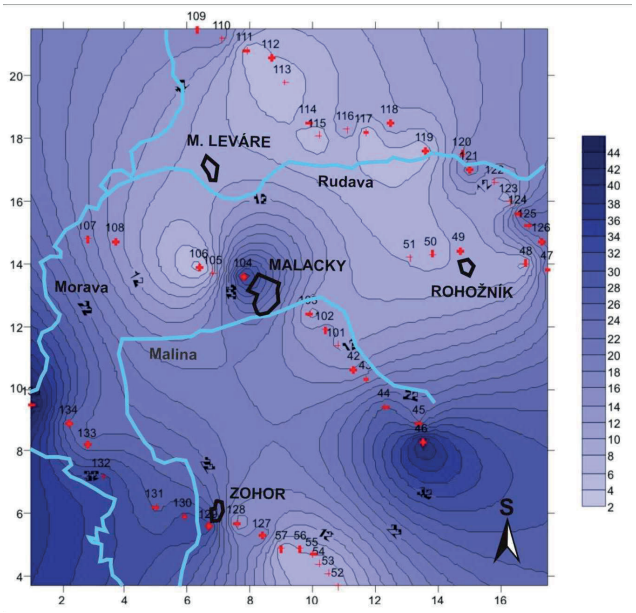
Obr. 3b. Mapa izolínií obsahu Co v pôdnom horizonte B.
Fig. 3b. Contour lines for Co content in B soil horizon.

Tab. 4
Korelačná analýza RTE hodnôt vzoriek 42 – 57.
Correlation analysis for RTE values of samples 42 – 57.

	Kappa	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn	Suma
Kappa	1,00	0,57	–0,10	0,38	0,57	–0,07	0,57	0,20	0,64	0,29	0,26	0,49
Suma	0,49	0,52	0,04	0,21	0,70	0,07	0,43	0,71	0,87	0,19	0,71	1,00



Obr. 4a. Mapa izolínií obsahu Cu v pôdnom horizonte A.
Fig. 4a. Contour lines for Cu content in A soil horizon.



Obr. 4b. Mapa izolínií obsahu Cu v pôdnom horizonte B.
Fig. 4b. Contour lines for Cu content in B soil horizon.

Tab. 5
Korelačná analýza RTE hodnôt vzoriek 101 – 135.
Correlation analysis for RTE values of samples 101 – 135.

	Kappa	As	Cd	Co	Cu	Fe	Hg	Ni	Pb	Sb	Zn	Suma
Kappa	1,00	0,18	0,40	0,06	0,32	0,00	0,16	0,00	0,38	0,41	0,41	0,33
Suma	0,33	0,63	0,5	0,17	0,71	0,63	0,28	0,78	0,72	0,56	0,91	1,00

vých prvkov, resp. sumou je spôsobená tým, že merania sa vykonávali na piesočnatých pôdach. Tie sa vyznačujú veľmi nízkymi hodnotami magnetickej susceptibility. Príčinu možno hľadať v nízkom obsahu organických látok. Už prvé skúmania ukázali, že magnetická susceptibilita pôdy je spätá aj s organickými látkami (Mullins, 1977). Tie slúžia ako katalyzátory a sú zdrojom energie biochemických oxidačných a redukčných reakcií, ktoré prebiehajú v minerálnej časti pôdy. Dôležitý je aj kvalitatívny obsah humusu a minerálov Fe a ich spoločná transformácia počas vzniku pôdy.

Určité rozdiely sa prejavia, keď rozdelíme súbor vzoriek na dva podsúbory:

- vzorky 42 – 57, ktoré sú lokalizované na úpätí Malých Karpát, kde možno predpokladať zvýšený obsah organických látok,
- vzorky 101 – 135, ktoré sú lokalizované na vlastných pôdach Záhorskej nížiny s prítomnými kremennými zrnami.

Porovnávaním korelačných analýz prvého a druhého podsúboru (tab. 4 a 5) zistíme vyššie korelácie medzi RTE hodnotami niektorých prvkov (najmä As, Co, Cu, Pb a Hg) aj RTE hodnotami celkovej sumy. Zdrojom týchto prvkov je pravdepodobne niekoľko vzdialenejších zdrojov znečistenia. Hlavný smer prínosu polutantov do študovanej oblasti vzdušnými prúdmi je Z – SZ a Malé Karpaty sú akousi geochemickou bariérou, čo je v súlade aj so závermi práce Veselského et al. (2003).

Záver

Štúdiom koncentrácie PTP zaužívanými metódami sa zistilo, že ich zvýšená koncentrácia sa vyskytuje predovšetkým v oblasti Malých Karpát a na naplaveninách rieky Moravy. Výsledky ukázali, že len v 15 % pôdnych vzoriek boli prekročené limitné hodnoty A stanovené pre pôdy Slovenska (*Rozhodnutie Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky*, 1994), preto oblasť ako celok možno považovať za nekontaminovanú.

Okrem toho sa sledovalo aj vrchnopôdne znečistenie (RTE), pri ktorom sa zistilo, že zvýšené hodnoty sú v rámci tretieho profilu a vo východnej časti prvého profilu.

Pri porovnávaní máp izolínií, zostavených či už z absolútnych alebo relatívnych hodnôt magnetickej suscepti-

bility a koncentrácie PTP, poprípade ich sumy, sa nezistil výraznejší vzájomný vzťah. Príčinou je zjavne fakt, že jednotlivé profily boli vedené po piesčitej pôde, ktorá sa vyznačuje nízkymi hodnotami magnetickej susceptibility. Piesky obsahujú len malú koncentráciu PTP, pretože ich tvoria kremenné zrná s nízkou sorpčnou schopnosťou a vysokou rezistenciou proti zvetrávaniu. Zákonite sa teda vyznačujú nízkym obsahom uvedených prvkov (Alloway, 1990).

Táto štúdia však ukazuje, že využitie pôdnej magnetometrie je evidentne limitované na sledovanie prítomnosti PTP v pôdach s nízkym obsahom organických látok, ako sú piesčité pôdy.

Poďakovanie

Práca vznikla s podporou grantových úloh VEGA 1/0321/14 a 1/0597/17.

Acknowledgement

The study has been supported by VEGA 1/0321/14 a 1/0597/17 projects.

Literatúra / References

Alloway, B. J. (Ed.), 1990: Heavy Metals in Soils. *Glasgow – London, Blackie*, 339 s.

Bowen, H. J. M., 1979: Environmental Chemistry of the Elements. *Academic Press London*, 333 s.

Čurlík, J. a Šefčík, P., 1999: Geochemický atlas Slovenskej republiky. Časť V: Pôdy. *Bratislava, MŽP SR*, 99 s.

Ďurža, O., 1999: Heavy metals contamination and magnetic susceptibility in soils around metallurgical plant. *Phys. Chem. Earth (A), 24, 541 – 543.*

Ďurža, O., 2003: Využitie pôdnej magnetometrie v environmentálnej geochémii ťažkých kovov. *Acta Geol. Univ. Comen.,* 58, 29 – 55.

Ďurža, O., Hiller, E., Lachká, L. a Tóth, R., 2013: Magnetická susceptibilita a znečistenie pôd v areáloch materských škôlok Bratislavy potenciálne toxickými prvkami (Slovensko). *Acta Geol. Slov. (AGEOS), 5, 155 – 162.*

Kabata-Pendias, A. a Pendias, H., 1992: Trace elements in soils and plants. *CRC Press Florida, 365 s.*

Liu, D., Ma, J., Sun, Y. a Li, Y., 2016: Spatial distribution of soil magnetic susceptibility and correlation with heavy metal pollution in Kaifeng City, China. *Catena, 139, 53 – 60.*

Medveď, J., Streško, V., Kubová, J., Polakovičová, J. a Čurlík, J., 1992: Využitie metód atómovej spektroskopie na stanovenie vedľajších a stopových prvkov v pôde. *Miner. Slov., 24, 305 – 311.*

Mullins, C. E., 1977: Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science – a Review. *J. Soil Sci., 28, 223 – 246.*

Petrovský, E., Kapička, A., Jordanova, N., Knab, M. a Hoffmann, V., 2000: Low-field magnetic susceptibility: A proxy method of estimating increased pollution of different environmental systems. *Environ. geol., Springer Verlag, 39, 312 – 318.*

Rachwał, M., Kardel, K., Magiera, T. a Bens, O., 2017: Application of magnetic susceptibility in assessment of heavy metal contamination of Saxonian soil (Germany) caused by industrial dust deposition. *Geoderma, 295, 10 – 21.*

Rozhodnutie Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky o najvyšších prípustných hodnotách škodlivých látok v pôde a o určení organizácií oprávnených zisťovať skutočné hodnoty týchto látok (č. 531/1994-540). *In: Vestník Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky, roč. XXVI, čiast. 1, 3 – 10.*

Schmidt, A., Yarnold, R., Hill, M. a Ashmore, M., 2005: Magnetic susceptibility as proxy for heavy metal pollution: A site study. *J. Geochem. Explor., 85, 109 – 117.*

Venuti, A., Alfonsi, L. a Cavallo, A., 2016: Anthropogenic pollutants on top soils along a section of the Salaria state road, central Italy. *Ann. Geophys., 59, Article num. G0544.*

Veselský, J., Ďurža, O., Jurkovič, Ľ., Khun, M. a Streško, V., 2003: Environmentálno-geochemický prieskum chránenej krajinnej oblasti Malé Karpaty a jej okolia. *Miner. Slov., 35, 131 – 136.*

Magnetic susceptibility and potentially toxic elements distribution in soils of the Záhorská nížina Lowland and of the Malé Karpaty Mts. foothill, Slovakia

The potentially toxic elements in soils have received increased attention in recent years. This also provided impulses for introduction of new methods for studying potentially toxic elements. The soil magnetometry is one of these methods. This non-conventional method was applied to the study of potentially toxic elements in the area of Záhorská nížina Lowland and the foothill of the Malé Karpaty Mts.

The Záhorská nížina Lowland (Slovak part of the Vienna basin) is characteristic with a particular tectonic evolution during Quaternary. As a consequence of young tectonics, several depressions were created here, being later filled with eolian sediments (sands), blown out from the Morava River terrases.

Three profiles were studied. Globally 51 points were studied and soil samples were analysed for ten potentially toxic elements (As, Cd, Co, Cu, Hg, Fe, Ni, Pb, Sb, Zn). The magnetic susceptibility was measured in three horizons – at the land surface and in the depths of 5 – 10 cm and 30 – 40 cm by Kappameter KT-5 (Geofyzika Brno, Czech Republic). The values of magnetic susceptibility decreased with the depth and the highest values were measured at the soil surface.

Measured susceptibility values were compared with the results of chemical analysis of soil samples. There was not found a distinctive (clear) relationship between the distribution of magnetic susceptibility values and the potentially toxic elements contents.

We got similar results when we compared the relative topsoil enhancement (RTE) of element concentrations and values of magnetic susceptibility. RTE is the ratio of element concentration in the topsoil (0 – 15 cm) to that in subsoil (30 – 45 cm), representing an index of the surface contamination (Colbourn, Thoruton, 1978, in Alloway, 1990).

Soil magnetometry is actually commonly used as a preliminary, rapid and economically favourable method for the assessment of increased concentrations of potentially toxic elements in soils not only in our country (e.g. Ďurža, 1999, 2003; Ďurža et al., 2013), but mainly abroad (e.g. Petrovský et al., 2000; Schmidt et al., 2005; Liu et al., 2016). One of the first publicated important result (Mullins, 1977) indicated that magnetic susceptibility is closely related to the organic matter content.

Presented study confirms that the use of soil magnetometry is limited to the evaluation of potentially toxic elements distribution in soils with poor organic matter content, e.g. in sandy soils of studied area.

Doručené / Received: 26. 4. 2017
Prijaté na publikovanie / Accepted: 17. 5. 2017