

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci s
Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVaI UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 15

Číslo 2/2024

**Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV
v spolupráci s
Ústavom krajinnej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava
a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVaI UKF v Nitre**



EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Ročník 15

Číslo 2/2024

EKOLOGICKÉ ŠTÚDIE

Recenzovaný vedecký časopis venovaný aktuálnym problémom ekológie, krajinej ekológie a príbuzných vedných disciplín

Hlavný redaktor / Editor-in-Chief:

prof. RNDr. František Petrovič, PhD., MBA.

Výkonný redaktor / Executive editor:

prof. PaedDr. PhDr. RNDr. Martin Boltžiar, PhD.

Redakčná rada / Editorial board:

RNDr. Peter Gajdoš, CSc.

prof. Fedir Hamor, DrSc. (Ukrajina)

RNDr. Vladimír Herber, CSc. (Česká republika)

prof. RNDr. Juraj Hreško, CSc.

prof. RNDr. Zita Izakovičová, PhD.

doc. RNDr. Zdeněk Lipský, CSc. (Česká republika)

Dr.h.c. prof. RNDr. László Miklós, DrSc.

RNDr. Milena Moyzeová, PhD.

Ing. Július Oszlányi, CSc.

Dr. László Podmanický (Maďarsko)

Dr.h.c. prof. RNDr. Florin Žigrai, DrSc. (Rakúsko)

Technické spracovanie / Computer typesetting:

Mgr. Jakub Košša

Za obsahovú a jazykovú stránku príspevkov zodpovedajú autori

Vydavateľ: Slovenská ekologická spoločnosť pri SAV v spolupráci s Ústavom krajinej ekológie SAV, v. v. i., Bratislava a Katedrou ekológie a environmentalistiky FPVal UKF v Nitre

Dátum vydania: december 2024

Číslo: 2

Ročník: 15

Vychádza 2x ročne

Časopis Ekologické štúdie je dostupný online na stránke <http://publikacie.uke.sav.sk/>

Evidenčné číslo MK SR: EV 4174/10

ISSN 1338-2853

OBSAH

BOROVSKÁ, J., RUSŇÁK, T.: Sledovanie obsahu toxických ťažkých kovov Pb, Cd, As, Hg prostredníctvom machorastov ako bioindikátorov v období 1990 – 2020 na území Slovenska.....	4
GERHÁTOVÁ, K., FORRO, P., DAVID, S.: Ekologické hodnotenie vážok (Odonata) a ich biotopov v Dolnovážskej nive (JZ Slovensko).....	16
GDUĽOVÁ, D., MIŠOVIČOVÁ R., PISCOVÁ V.: Vývoj separácie komunálneho odpadu v Hrušovsko-Beňadickom mikroregióne v rokoch 2016 a 2020.....	38
BABICOVÁ, D., KOZELOVÁ, I., ŠTEFUNKOVÁ, D., PALAJ, A.: Podmienky vývoja záhradkárskeho osád v Bratislave a zmeny ich krajinej štruktúry od 50tych rokov 20. storočia po súčasnosť	61
MAJZLAN, O., CUNEV, J.: Bzdochy (Heteroptera) v okolí Sládkovičova (južné Slovensko).....	82
MIKLÓS, L.: Teoreticko-metodické východiská tvorby atlasu prírodného kapitálu Slovenska.....	99
MATEČEK, A., HLÔŠKA, L., BALÁŽ, I.: Vplyv habitatovej selekcie na disperziu a abundanciu sympatrických lesných hlodavcov.....	125

SLEDOVANIE OBSAHU TOXICKÝCH ŤAŽKÝCH KOVOV Pb, Cd, As, Hg PROSTREDNÍCTVOM MACHORASTOV AKO BIOINDIKÁTOROV V OBDOBÍ 1990 – 2020 NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

MONITORING THE CONTENT OF TOXIC HEAVY METALS Pb, Cd, As, Hg USING BRYOPHYTES AS BIOINDICATORS IN THE PERIOD 1990 - 2020 IN SLOVAKIA

Jana BOROVSÁ, Tomáš RUSŇÁK

Ústav krajinej ekológie Slovenskej akadémie vied, v.v.i., Akademická 2, 949 01
Nitra, e-mail: jana.borovska@savba.sk, tomas.rusnak@savba.sk

Abstract: *Environmental studies using bryophytes (mosses) for biomonitoring of changes in atmospheric deposition of heavy metals in Slovakia started in 1990. The basic grid of monitoring sites was arranged according to a national forest monitoring program (ICP Forest Slovakia) in a 16x16 kilometer grid. Since then, within the monitoring program of the ICP Vegetation concentrations of toxic heavy metals As, Cd, Hg, Pb were monitored. Comparing the median values from 1990 and 1995 for Hg and 2000 for As with the median values from 2020, the concentration of metals in moss samples has a decreasing trend in the order Pb (89.87%) > Cd (86.32%) > Hg (70.80%) > As (38.17%). This study aims to evaluate the long-term trends in atmospheric toxic heavy metals deposition and quantify the reduction in metal concentrations from 1990 to 2020.*

Key words: *toxic heavy metals, bioindicators, mosses, Slovakia*

Úvod

V roku 1987 bol založený Medzinárodný program spolupráce o účinkoch znečistenia ovzdušia na prirodzenú vegetáciu a plodiny (the International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops), skrátene nazývaný ICP Vegetation, predtým ICP Crops. Program je súčasťou aktivít Pracovnej skupiny pre vplyvy WGE (Working Group on Effects) v rámci Dohovoru o diaľkovom znečisťovaní ovzdušia prechádzajúcim hranicami štátov (LRTAP), ktorý pokrýva región EHK OSN (Európska hospodárska komisia Organizácie Spojených národov) v Európe a Severnej Amerike. Od roku 2001 je ICP Vegetation hlavným koordinátorom siete biomonitorovania znečistenia ovzdušia ťažkými kovmi pomocou machov. Negatívny vplyv vysokých koncentrácií

dusíka v depozícii si vyžiadali ich pravidelné monitorovania aj pomocov machov a to od roku 2005. V roku 2010 boli v niekoľkých krajinách po prvýkrát sledované aj koncentrácie perzistentných organických polutantov (POP) v machoch. Na zistenia o negatívnych vplyvoch a rozšírení mikroplastov v životnom prostredí zareagoval program ICP Vegetation vytvorením projektu MADAM na biomonitoring rozšírenia mikroplastov, do ktorého sa zapojilo v poslednej kampani 2020 tridsať krajín programu ICP Vegetation. Významnosť využívania machov pre biomonitoring podčiarkuje skutočnosť, že v programe ICP Vegetation je viac ako 250 vedcov z cca 50 krajín (<https://icpvegetation.ceh.ac.uk/>).

Na Slovensku sa biomonitoring využívajúci machy na sledovanie zmien atmosférickej depozície s ťažkými kovmi začal v roku 1990 v rámci aktivít zameraných na monitorovanie kvality lesov pod vedením NLC (Národné lesnícke centrum) vo Zvolene, ktorý je hlavným koordinátorom za Slovensko v medzinárodnom programe ICP Forest. Z tohto dôvodu je aj základná sieť monitorovacích lokalít umiestnená v lesných ekosystémoch. Základ monitorovacej siete je 16x16 kilometrov. Od roku 2020 je táto základná sieť rozšírená aj o monitorovacie body mimo lesných ekosystémov.

Ťažký kov je akýkoľvek kovový prvok v periodickej tabuľke, ktorý má relatívne vysokú hustotu ($>5,0 \text{ g/cm}^3$), vysokú atómovú hmotnosť (>65) a je toxický alebo jedovatý v nízkych až stopových koncentráciách (Singh, Susan, 2018). Sedemnást ťažkých kovov sa považuje za veľmi toxických a z nich olovo, kadmium, arzén a ortuť za navyše nebezpečné (Franková et al, 2010, Ojovan, Lee, 2005).

V dôsledku geologických, klimatických, biologických a antropogénnych vplyvov sa dostávajú ťažké kovy aj do atmosféry. Odtiaľ sa potom zrážkami a atmosférickým spadom dostávajú na zemský povrch.

Olovo patrí medzi najrozšírenejšie ťažké kovy. V prírodnom prostredí sa najčastejšie vyskytuje vo forme PbS ako galenit. Olovo patrí k najmenej mobilným ťažkým kovom. Má sklon prirodzene sa kumulovať v povrchových horizontoch pôd, primárne v súvislosti so zvýšeným výskytom organickej hmoty, čiastočne v dôsledku atmosférického znečistenia (Čurlík, Šefčík, 1999)

V období rozvoja automobilovej dopravy patrilo spaľovanie olovnatého benzínu k významným zdrojom olova v atmosfére. S nástupom bezolovnatých benzínov sa tento zdroj významne zredukoval. K ďalším zdrojom patrí baníctvo, spracovanie kovov, najmä emisie z produkcie železa a ocele a hüt spracúvajúcich olovnaté rudy, tavenie, galvanické pokovovanie, výroba ložísk, plastov, keramiky a konzervačných látok a spaľovanie pevného odpadu a uhlia (Alloway, 1995, 2013, Jadaa, Mohammed 2023)

Kadmium sa v prírode vyskytuje ako prímes v rúd so zinkom, z ktorých sa uvoľňuje pri výrobe Zn a ako vedľajší produkt výroby iných kovov. Kadmium má výraznejší chalkofilný charakter a v kyslom prostredí vykazuje vyššiu mobilitu ako Zn. Všetky zlúčeniny kadmia sú jedovaté. Cd má vysokú akútnu toxicitu a potenciálnu bioakumuláciu. Do životného prostredia sa dostáva pri výrobe hnojív, energie, batérií, farbív, ocele a plastov a z odpadov (Jadaa, Mohammed 2023)

Arzén sa v prírode najčastejšie vyskytuje vo forme FeAsS ako arzenopyrit. Arzenopyrit sa často vyskytuje v paragenéze so sulfidmi iných kovov – rúd olova, striebra, medi, niklu, železa, kobaltu a antimónu. Arzén sa uvoľňuje pri spracovaní týchto rúd. Hlavné ľudské činnosti zodpovedné za znečisťovanie životného prostredia arzénom sú ťažobné činnosti, spracovanie nerastov, tavenie, výroba tepla a chemické pesticídy. Arzén je v stopových množstvách prítomný aj v uhli (Jadaa, Mohammed 2023).

Elementárna ortuť je prchavá látka. Len zriedkavo sa vyskytuje v čistej forme. Najčastejšie sa v prírode vyskytuje vo forme sulfidu HgS ako rumelka, či cinabarit. Použitie ortuti je pomerne rozmanité – na amalgamáciu, pokovovanie, v pyrotechnike, na impregnáciu dreva a pod. Ortuť sa uvoľňuje do životného prostredia pri výrobe energie z uhlia, pri banskej činnosti, v hutníctve, v chemickom priemysle, pri povrchovej úprave kovov, ťažbe nerastov, výrobe žiaroviek a fungicídov (Jadaa, Mohammed 2023).

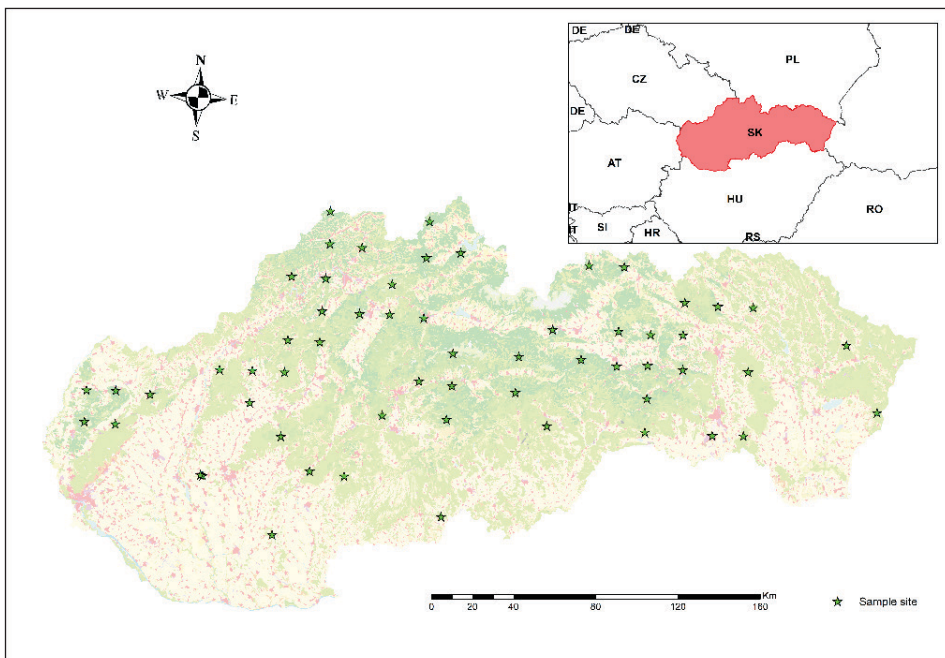
Metodika

Vzorky machov boli pravidelne odoberané v rámci monitorovacieho programu ICP Vegetation v päťročných intervaloch od roku 1990 na plochách ICP Forest Slovakia v základnej sieti 16 x 16 km. Počet lokalít sa v priebehu rokov mierne menil podľa prítomnosti alebo neprítomnosti vhodných machov na odberovej lokalite (1990 – 58; 1995 – 78; 2000 – 86; 2005 – 77; 2010 – 67; 2015 – 68; 2020 – 59). Odoberali sa len pleurokarpné machy, prevažne druhy rodov Pleurozium, Hylocomium, Hypnum a Dicranum.

Odbery a následné spracovanie prebiehali v súlade so štandardizovaným protokolom ICP Vegetation, pričom počas poslednej kampane v roku 2020 (obr. 1) boli realizované podľa protokolu ICP Vegetation Moss Survey, Protocol 2020 (Frontasyeva et al., 2020). Odoberané vzorky boli zbavené vyschnutých častí a očistené na sucho od zvyškov pôdy. Následne boli analyzované v Centrálnom lesníckom laboratóriu Národného lesníckeho centra vo Zvolene na obsahy As, Cd, Pb metódou AES-ICP-U (atómová emisná spektrometria s indukčne viazanou plazmou - ultrasonic) a Hg prostredníctvom AAS-AMA (atómová absorpčná

spektrometria – ortuťový analyzátor).

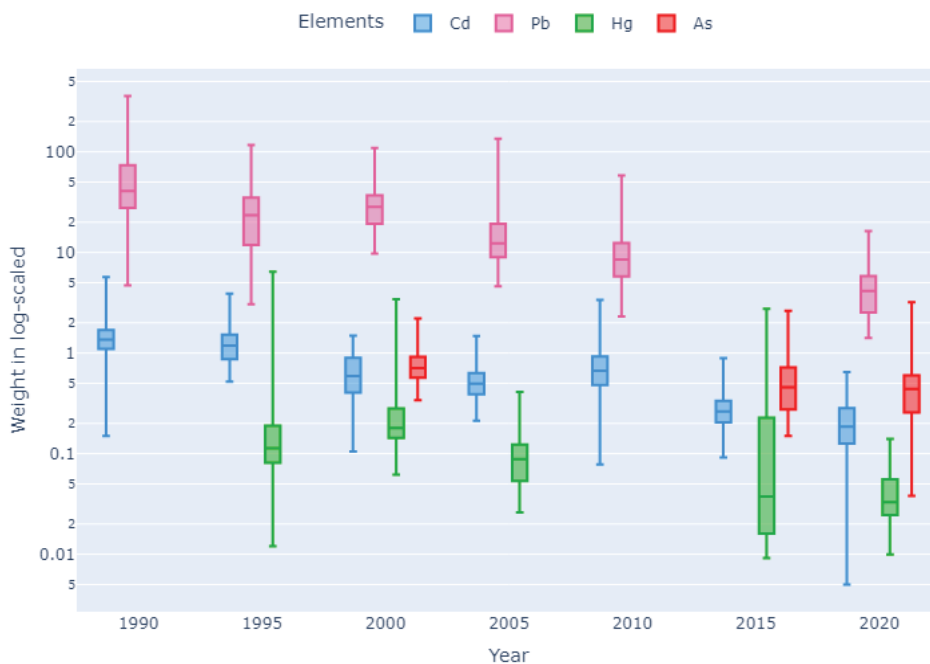
Cieľom tejto štúdie bolo zhodnotiť dlhodobé trendy atmosférickej depozície toxických ťažkých kovov (As, Cd, Hg, Pb) na Slovensku s využitím machov ako biomonitorov a kvantifikovať pokles koncentrácií kovov v období rokov 1990 až 2020. Výsledky analýz boli následne spracované a prenesené do priestorových máp pomocou IDW interpolácie (Inverse Distance Weighting), ktorá zabezpečila hladké priestorové zobrazenie koncentrácií jednotlivých prvkov a umožnila lepšie pochopenie ich rozloženia v skúmanom území.



Obr.1: Mapa Slovenska s vyznačenými trvalými odberovými plochami.

Výsledky

Výsledky analýz toxických ťažkých kovov Pb, Cd, As, Hg získaných od roku 1990 po rok 2020 z trvalých monitorovacích plôch ICP Forest Slovakia boli štatisticky spracované a sú prezentované v grafe 1.



Graf 1: Grafická prezentácia obsahov kadmia (Cd), olova (Pb), ortuti (Hg) a arzénu (As) v machoch z lokalít ICP Forest Slovakia nazbieraných a analyzovaných v päťročných monitorovacích programoch ICP Vegetation od roku 1990 do roku 2020.

V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty mediánov a štandardných odchýlok za jednotlivé prvky podľa rokov odberu. V posledná kampaň ICP Vegetation Moss Survey bola z dôvodu kovidu-19 predĺžená na tri roky.

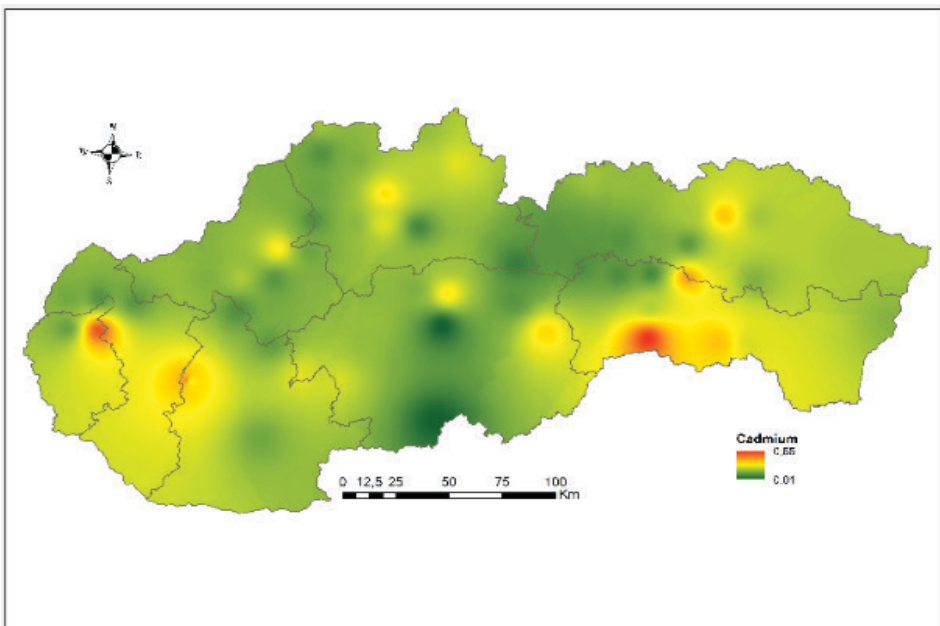
Tab.1: Hodnoty mediánu koncentrácií a štandardných odchýlok kadmia (Cd), olova (Pb), ortuti (Hg) a arzénu (As) v machoch z monitorovacích lokalít v období rokov 1990 – 2020. Nie všetky prvky boli stanovené v každom cykle monitorovacieho programu.

Porovnaním mediánových hodnôt (tab.1) z roku 1990, resp. z roku 1995 pri Hg a z roku 2000 pri As so strednými hodnotami z rokov 2020 má koncentrácia kovov vo vzorkách machu klesajúci trend v poradí Pb (89,87 %) > Cd (86,32 %) > Hg (70,80 %) > As (38,17 %).

Median	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg	As mg/kg
1990	1,36 ± 0,77	40,85 ± 61,19		
1995	1,19 ± 0,52	23,455 ± 25,20	0,113 ± 0,72	
2000	0,592 ± 0,34	28,375 ± 21,18	0,18 ± 0,66	0,71 ± 0,35
2005	0,496 ± 0,24	12,3 ± 19,35	0,088 ± 0,07	
2010	0,667 ± 0,50	8,51 ± 8,95		
2015	0,2625 ± 0,15		0,0376 ± 0,65	0,456 ± 0,51
2020	0,186 ± 0,13	4,137 ± 3,23	0,033 ± 0,03	0,439 ± 0,49
POKLES v %	86,324	89,873	70,796	38,169

Obsah kadmia v machoch

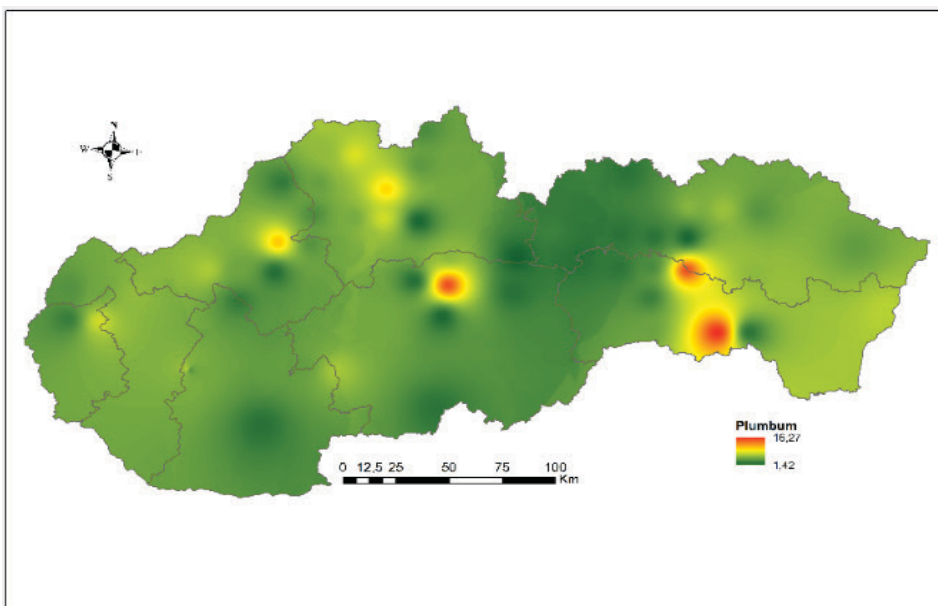
Obsah kadmia v machoch sa v období 1990 – 2020 pohyboval v rozmedzí 5,70 mg/kg (max v roku 1990) po 0,005 mg/kg (min v rokoch 2020-20). Hodnoty mediánov za jednotlivé roky uvádza tab. 1. Z grafu 1 je viditeľný pokles obsahu Cd v machoch, s výnimkou roku 2010, kedy došlo k opätovnému zvýšeniu koncentrácií. Podľa výsledkov z poslednej kampane monitorovacieho programu ICP Vegetation Moss Survey 2020 bola zostavená mapa znečistenia životného prostredia kadmikom (obr.2). V tomto období bola zistená max koncentrácia Cd 0,646 mg/kg a min 0,005 mg/kg. Medián dosiahol 0,186 mg/kg, čo predstavuje zníženie koncentrácie v porovnaní s mediánom z roku 1990 pokles o 86,324 %.



Obr. 2: Mapa znečistenia životného prostredia podľa obsahov Cd v machoch z monitorovacích lokalít ICP Forest z kampane 2020.

Obsah olova v machoch

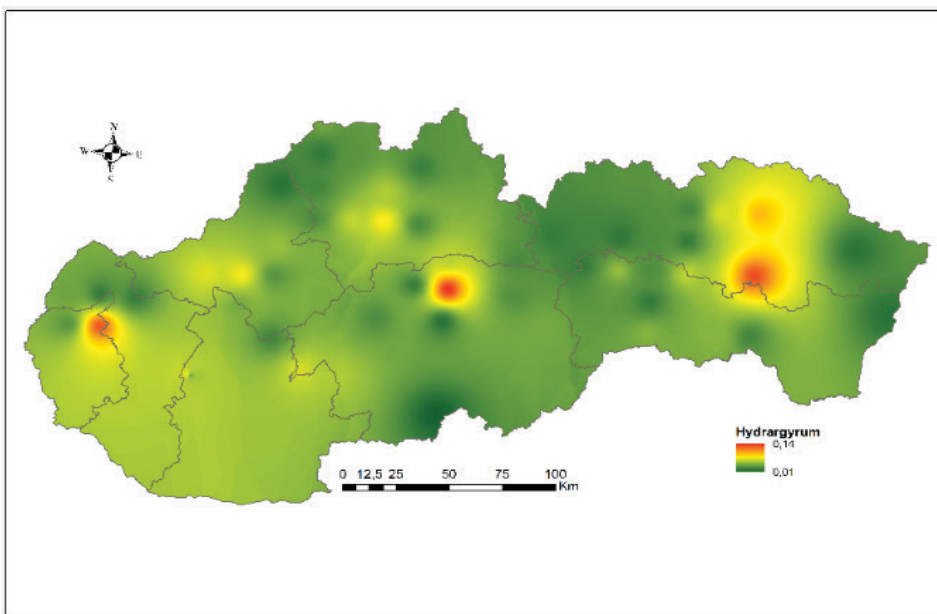
Obsah olova v machoch sa v období 1990 – 2020 pohyboval v rozmedzí 359,00 mg/kg (max v roku 1990) po 1,42 mg/kg (min v rokoch 2020). Hodnoty mediánov za jednotlivé roky uvádza tab. 1. Z grafu 1 je viditeľný pokles obsahu Pb v machoch, s výnimkou roku 2000, kedy došlo k miernemu zvýšeniu hodnoty mediánu. Podľa výsledkov z poslednej kampane ICP Vegetation Moss Survey 2020 bola zostavená mapa znečistenia životného prostredia olovom (obr.3). V tomto období bola zistená max koncentrácia Pb 16,27 mg/kg a min 1,42 mg/kg. Medián dosiahol 4,14 mg/kg, čo predstavuje zníženie koncentrácie v porovnaní s mediánom z roku 1990 pokles o 89,973 %.



Obr. 3: Mapa znečistenia životného prostredia podľa obsahov Pb v machoch z monitorovacích lokalít ICP Forest z kampane 2020.

Obsah ortuti v machoch

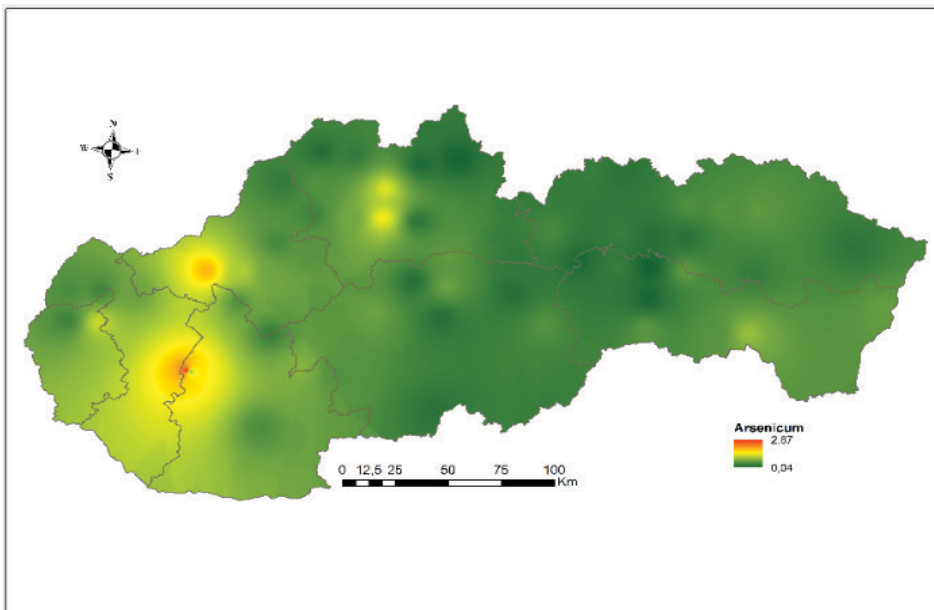
Obsah ortuti v machoch sa v období 1995 – 2020 pohyboval v rozmedzí 6,44 mg/kg (max v roku 1995) po 0,0092 mg/kg (min v roku 2015). Hodnoty mediánov za jednotlivé roky uvádza tab. 1. Z grafu 1 je viditeľný meniaci sa trend obsahu Hg v machoch. Od roku 2015 je hodnota mediánu takmer stabilná, 0,038 mg/kg v roku 2015 a 0,033 mg/kg v roku 2020. V roku 2020 bola zistená aj najnižšia hodnota max koncentrácie Hg v kampani. Podľa výsledkov z poslednej kampane ICP Vegetation Moss Survey 2020 bola zostavená mapa znečistenia životného prostredia ortuťou (obr.4). V tomto období bola zistená max koncentrácia Hg 0,14 mg/kg a min 0,01 mg/kg. Medián dosiahol 0,033 mg/kg, čo predstavuje zníženie koncentrácie v porovnaní s mediánom z roku 1995 pokles o 70,796 %.



Obr. 4: Mapa znečistenia životného prostredia podľa obsahov Hg v machoch z monitorovacích lokalít ICP Forest z kampane 2020.

Obsah arzénu v machoch

Obsah arzénu v machoch bol stanovený v rokoch 2000, 2015 a 2020 a pohyboval sa v rozmedzí 3,190 mg/kg (max v roku 2020) po 0,038 mg/kg (min v rokoch 2020). Hodnoty mediánov za jednotlivé roky uvádza tab. 1. V grafe 1 je viditeľný meniaci sa obsah As v machoch. V čase síce dochádza k zníženiu hodnoty mediánu koncentrácie As v machoch ale súčasne dochádza k zväčšeniu koncentračného rozpätia v rámci kampane. Podľa výsledkov z poslednej kampane ICP Vegetation Moss Survey 2020 bola zostavená mapa znečistenia životného prostredia arzénom (obr.5). V tomto období bola zistená max koncentrácia As 3,190 mg/kg a min 0,038 mg/kg. Medián dosiahol 0,439 mg/kg, čo predstavuje zníženie koncentrácie v porovnaní s mediánom z roku 2000 a pokles o 38,169 %.



Obr. 5: Mapa znečistenia životného prostredia podľa obsahov As v machoch z monitorovacích lokalít ICP Forest z kampane 2020.

Diskusia

Z výsledkov monitorovacieho programu na sledovanie prítomnosti toxických ťažkých kovov Cd, Pb, Hg a As v životnom prostredí prostredníctvom machorastov vyplýva, že v časovom horizonte od roku 1990, resp. 1995 došlo k poklesu koncentrácií týchto kovov v machoch. Najvýraznejší pokles bol zistený pri olove, čo súvisí s prechodom z olovnatého na bezolovnatý benzín v automobilovej doprave. Podľa poslednej monitorovacej kampane boli zistené zvýšené koncentrácie kadmia v oblasti Rožňavy, Spišu, Rohožníka a tiež v oblasti Turca (obr. 2). Zvýšené koncentrácie olova boli zistené v oblasti Spiša, Košíc, Jasenie a Ladce (obr. 3). Zvýšené koncentrácie ortuti boli zistené v oblasti Stropkova, Červenice a Plaveckého Mikuláša (obr. 4). Zvýšené koncentrácie arzenu (obr. 5) boli sledované v oblasti Kálnice a v lokalite Bábsky les, kde bola zistená max hodnota, ktorá bude v priebehu nasledujúceho monitorovacieho obdobia preverená, keďže pôdy tejto oblasti podľa Čurlíka, Šefčíka (1999) neobsahujú zvýšené hodnoty As.

Záver

Porovnaním mediánových hodnôt z roku 1990, resp. z roku 1995 pri Hg a z roku 2000 pri As so strednými hodnotami z rokov 2020 má koncentrácia kovov vo vzorkách machu klesajúci trend v poradí Pb (89,87 %) > Cd (86,32 %) > Hg (70,80 %) > As (38,17 %). Zvýšené hodnoty sledovaných toxických kovov majú lokálne zastúpenie a to v priemyselných oblastiach, v regiónoch s dominantným hutníckym priemyslom, v oblastiach lomov a cementární. Sumárne najviac ohrozené sú regióny Šariš – Horný Zemplín (Hg, Cd, Pb), Košický (Pb, Cd) a oblasť južne od Slovenskej Ľupče (Pb, Hg).

Pod'akovanie: Tento výskum bol financovaný z programu VEGA 2/0115/21 Dlhodobé zmeny znečistenia ovzdušia a ich dopad na ekosystémy.

Literatúra

Alloway, B.J. (eds.): Heavy metals in soils. Blackie and Son. Glasgow. 1995. 339 s.

Alloway, B.J. (eds.): Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability. Third Edition. Springer Science+Business Media. Dordrecht. 2013. 615 s. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-94-007-4470-7.pdf>

Čurlík, J., Šefčík, P.: Geochemický atlas Slovenskej republiky. Časť V: Pôdy. Bratislava. 1999. ISBN 80-88833-14-0.

Franková, J., Kordík, J., Slaninka, I., Jurkovič, L., Greif, V., Šottník, P., Dananaj, I., Mikita, S., Dercová, K., Jánová, V.: Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží. Štátny geologický ústav Dioníza Štúra. Bratislava. 2010. 361 s. SBN 978-80-89343-39-3

Frontasyeva et al.: Monitoring of atmospheric deposition of heavy metals, nitrogen, and POPs in Europe using bryophytes. Monitoring manual 2020 survey. ICP Vegetation.

Jadaa, W., Mohammed, H.K.: Heavy Metals – Definition, Natural and Anthropogenic Sources of Releasing into Ecosystems, Toxicity, and Removal Methods – An Overview Study. Journal of Ecological Engineering. 2023;24(6):249-271. doi:10.12911/22998993/162955

Ojovan, M.I., Lee, W.E.: Chapter 4 - Heavy Metals. In: Ojovan, M.I., Lee, W.E. (eds.) An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation. Elsevier. 2005. ss. 35-41. ISBN 9780080444628. <https://doi.org/10.1016/B978-008044462-8/50006-5>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080444628500065>)

Singh, N.B., Susan, A.B.H.: Polymer nanocomposites for water treatments, Editor(s): Jawaid, M., Khan M.M.: In Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Polymer-based Nanocomposites for Energy and Environmental Applications, Woodhead Publishing, 2018, Pages 569-595, ISBN 9780081022627, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102262-7.00021-0>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081022627000210>)