Stopové prvky v lesních půdách Česka podle biogeochemického mapování a jejich vztah k horninovému podloží

Trace elements in forest soils of the Czech Republic according to biochemical monitoring and their relation to the geological background

Václav Procházka[1] – Julie Sucharová[2] – Ivan Suchara[2] – Marie Holá[2]

[1] Česká geologie, Pštrossova 16, 110 00 Praha 1; vprochaska@seznam.cz
[2] Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Květnové náměstí 391, 252 43 Průhonice

Please cite this article as: Procházka, V. – Sucharová, J. – Suchara, I. – Holá, M. (2019): Trace elements in forest soils of the Czech Republic according to biochemical monitoring and their relation to the geological background. – Geoscience Research Reports, 52, 2, 117–123. (in Czech)

Key words: trace elements, biomass, forest-floor humus, mineral soil horizons, bedrock geology

Summary: Results of ICP-Vegetation monitoring program were previously interpreted mainly for estimation of environmental pollution loads. The biochemical monitoring included determination of 36–40 elements in the mineral soil, forest-floor humus and biomass of selected plants of coniferous forests at ca. 250 sites across the Czech Republic. Here, we interpret the monitoring data chiefly in relation to the bedrock geology (and expected geochemistry). In the aboveground biomass (epigeic moss, grass, annual and biennial spruce needles) as well as in humus the relation of individual element concentration to its concentration in the mineral soil is usually missing or very weak, with exceptions mainly in the case of Mg, Rb, Sr, Cs and Ca.

Several "exotic" trace elements for which reliable petrochemical data have usually been insufficient are evaluated (Ag, As, Bi, Cd, Cu, Hg, Li, Mo, Tl; partial datasets were also interpreted for Ge, In and W; see Tables 1, 2). The comparison of soil- and biomass data shows that the influence of atmospheric deposition (or other superficial contamination) on B2 soil horizons is usually irrelevant except for Hg and Cd in some cases; otherwise an anomalous element content in B2 horizon should reflect the bedrock composition. The anomalies of Ag, As, Cd (accompanying Zn – Fig. 1), Hg, Li, Mo and possibly Cu are related to local or regional mineralizations rather than to specific rock types, while Bi and W are concentrated in granites (mainly in the Karlovy Vary region) and Tl shows high content in K-rich granites and durbachites with close relation to Rb (Fig. 3). Germanium and partly copper in both B1 and B2 horizons correlate significantly with Fe and Mn (Fig. 2).

In the biomass variability of the most elements is controlled by atmospheric deposition (including regional mineral dust), the peak values being mainly in areas of high dustiness (NW Bohemia, S Moravia). In the forest floor humus, the combined effect of atmospheric deposition and bedrock composition lead to regionally elevated contents of Ag, Bi, Mo, Sn and W mainly in mountains of northwestern and northern Bohemia (the same probably applies for In which, however, was determined in moss biomass only).

Sledování stopových prvků v půdách a biomase se u nás v posledních desetiletích zpravidla zaměřilo na mapování antropogenního znečištění a chování rizikových prvků v polních nebo lesních ekosystémech. I když nikdo nezpochybňuje, že je vhodné údaje o znečištění propojit s informacemi o chemismu geologického podloží, v praxi byl takový výzkum dosud omezen na poměrně malá území. Komplexnější geochemické výzkumy existují např. pro malé povodí Lesní potok (Navrátil et al. 2016 a odkazy tamtéž), pozornost byla věnována i arzenu v místech přirozeně vysokého obsahu v horninách a půdě (např. na ložisku Mokrsko – Psí Hory, Drahota et al. 2009).

Biochemický monitoring složek jehličnatých lesů se v Česku prováděl v rámci projektu „Biogeochemical exploration of forests as a basis for long-term landscape management in the Czech Republic" za účelem zjištění míst zvýšeného vstupu biologicky aktivních prvků z atmosférického spadu do koloběhu prvků lesního ekosystému. Převážně smrkové lesy byly pro biogeochemické sledování vybrány z důvodu alespoň částečného a dlouhodobě probíhajícího koloběhu látek a jejich dlouhodobé archivace v nadložním humusu a také proto, že jsou na území státu rozmístěny poměrně rovnoměrně. Obsah prvků ve vybraných složkách jehličnatého lesa (rostlinách, nadložním humusu, minerální půdě) byl sledován na zhruba 250 monitorovacích místech rozmístěných po celé ČR.

Zde jsou prezentovány – není-li uvedeno jinak – výsledky analýz vzorků odebraných v roce 2010, kdy byl stanoven obsah 39–41 prvků (Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, S, popř. N a dále stopové prvky) v lesní půdě (nadložní humus – horizont Oh, horizonty minerální půdy B1 a B2) a v biomase (mech – převážně druh *Pleurozium schreberi*, tráva – převážně druh *Avenella flexuosa*, jednoleté a dvouleté jehličí smrku). V mechu byl obsah vybraných prvků monitorován v pětiletých intervalech (na většině ploch od roku 1995, některé prvky a lokality již v r. 1992) jako ukazatel aktuální úrovně atmosférického spadu prvků (projekty programu OSN EHK ICP-Vegetace, Monitoring mechu – viz

DOI 10.3140/zpravy.geol.2019.19

též https://icpvegetation.ceh.ac.uk/). Některé prvky byly v roce 1995 stanoveny také v humusu. Přehled všech analýz uvádí tab. 1.

Na monitorovacích plochách (nejméně 50 × 50 m) byly odebírány směsné vzorky vyšetřovaných matric složené ze tří (minerální půda) a z pěti až sedmi (humus a rostliny) dílčích vzorků. Rostlinný materiál nebyl omýván od prachu, aby nedošlo k vyluhování a odnosu rozpustných látek z rostlinných pletiv, hlavně mechu, jehož rostlinky nejsou pokryty kutikulou. Vzorky humusu byly odebírány, jak podrobně popisují Suchara a Sucharová (2000), z ploch bez viditelného porušení a bez makroskopické minerální složky. Typický obsah minerálního podílu („popelovin") v odebraných vzorcích humusu byl mezi 12– 22 % a nepřekračoval 25 %. Minerální půda byla odebírána z hloubek 10–20 cm (horizont B1) a 30–40 cm (horizont B2), přičemž odběr nebyl zaměřen na konkrétní diagnostické horizonty (nicméně tyto vzorky nikdy nezasahovaly do podložního humusového horizontu A). Odběr nebyl prováděn na místech, kde by mohlo dojít k významné kontaminaci svahovými pohyby.

Celkové obsahy prvků byly stanoveny metodami ICP-MS, ICP-OES a analyzátorem rtuti AMA-254. Kvalita laboratoře je kontrolována v rámci mezinárodních programů kontroly laboratoří (WEPAL Wageningen a ICP-Vegetation).

Mapy bodových a izopletových koncentrací prvků byly zkonstruovány v programu Surfer s použitím lineární interpolace. Podrobnosti k použitým metodám uvádějí např. Suchara et al. (2011). Hustota vzorkování sice neumožňuje dobře vystihnout složitou geologickou stavbu Česka, ale mapy dostatečně ukazují vliv atmosférické depozice a tím umožňují odlišit trendy a anomálie způsobené horninovým podložím. Protokoly o odběrech vzorků, zeměpisné souřadnice sledovaných lesních ploch a kompletní data jsou po dohodě k dispozici ve Výzkumném ústavu Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., v Průhonicích.

Dřívější výsledky monitorování obsahu prvků v mechu a humusu a jeho změny ve vztahu k předpokládanému vlivu emisí z průmyslových zdrojů byly podrobněji zveřejněny v národních zprávách o výsledku biomonitoringu (např. Sucharová – Suchara 2004; Suchara et al. 2007; Sucharová

Tabulka 1. Přehled prvků stanovených a) v mechu v jednotlivých letech, b) v ostatních materiálech (kromě humusu pouze rok 2010)
Table 1. List of elements determined a) in moss in individual years, b) in other materials (year 2010 only, except of forest-floor humus)

a)

Year	Elements	Number of sites
1992	As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, V, Zn	33
1995	Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, S, V, Zn	192
2000	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, La, Li, Mn, Mo, N, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, Y, Zn	250
2005	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, La, Li, Mn, Mo, N, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, Y, Zn	280
2010	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, Y, Zn	273

b)

Material	Elements		Number of sites
Forest-floor humus (Oh)	Yr. 1995	Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Pb, S, V, Zn	192
	Yr. 2010	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, W, Y, Zn	259
Upper mineral subsoil (B1)	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, N, Na, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, W, Y, Zn		258
Lower mineral subsoil (B2)	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, W, Y, Zn		258
Grass, spruce needles (annual and biennial)	Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nd, Ni, Pb, Pr, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, Tl, U, V, Y, Zn		265 (grass) / 254 (needles)

podtržené jsou prvky blíže prezentované v textu
elements presented in the text more in detail are underlined

Tabulka 2. Obsahy vybraných prvků (mg/kg) v lesním humusu (půdní horizont Oh) a v půdním horizontu B (B1 – svrchní, eluviální horizont, B2 – spodní, iluviální); Sucharová et al. (2012) a nepublikovaná data
Table 2. Concentration of selected elements (ppm) in forest floor humus (soil Oh horizon) and in soil horizons B (B1 – upper mineral horizon, ca. 10–20 cm; B2 – lower mineral horizon, ca. 30–40 cm); Sucharová et al. (2012) and unpublished data

	Ag		As		Bi		Cd		Cu	
Horizon	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1
Min.	0.09	0.04	2.5	0.92	0.11	0.02	0.23	0.01	7.9	0.45
Median	0.24	0.3	10	9.7	0.45	0.21	0.56	0.08	23	8.1
Max.	1.9	5.1	86	262	1.6	5.5	2.1	0.85	174	157
B2 min.–max.	0.04–4.17		1.3–199		0.02–6.07		0.009–0.59		0.8–145	

	Hg		Li		Mo		Tl		W	
Horizon	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1	Oh	B1
Min.	0.07	0.001	1.6	2.8	0.42	0.05	0.12	0.01	0.49	0.01
Median	0.43	0.07	7.4	27	1.4	0.46	0.31	0.57	1.93	1.44
Max.	1.1	0.31	34	242	5.2	13	1.3	3.7	14.1	15.2
B2 min.–max.	0.001–0.401		2.8–339		0.06–15.9		0.02–4.52		0.02–13.45	

et al. 2008). Národní výsledky biomonitoringu jsou předávány do databáze koordinačního centra programu ICP-Vegetation a jsou předkládány v kontextu celoevropských výsledků (např. Harmens et al. 2015).

V tomto příspěvku jsou prezentovány zejména vztahy obsahu prvků ve zkoumaných půdních horizontech, popř. i v biomase, ke geologickému podloží. Zaměřili jsme se hlavně na stopové prvky, mj. proto, že data pro některé hlavní prvky jsou pro ČR neúplná a navíc jsou koncentrace hlavních živin v daném druhu biomasy většinou udržovány v poměrně úzkém rozmezí, což snižuje jejich vypovídací hodnotu o chemismu horninového podkladu. Podložní hornina byla určena srovnáním s Geologickou mapou ČR 1 : 50 000 v mapovém serveru České geologické služby (https://mapy.geology.cz/geocr50/). Půdy na většině lokalit jsou různé typy kambizemí, jak bylo ověřeno i srovnáním s půdními mapami ČGS 1 : 50 000, pokud pokrývají danou lokalitu (https://mapy.geology.cz/pudy/); vzhledem k malému podílu jiných půd nelze objektivně hodnotit význam typu půdy – navíc také výrazně ovlivněného podložní horninou – pro sledované chemické parametry.

Výsledky a diskuse

Většina prvků (Al, K, Rb, Cs, Mg, Ca, Fe, Mn, Co, Cr, V, Ga, Ge, Sn, W, Be, Bi, La, Ce, Pr, Nd, Y, Th, U, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu, As, Ag, Hg; rovněž S, která však nebyla analyzována v horizontu B2) má v obou horizontech B vyšší obsahy v krystaliniku než v sedimentech. Pouze Sb, Mo a v horizontu B2 také Li tuto tendenci nemají. V nadzemní biomase jsou koncentrace prvků výrazně ovlivněny atmosférickou depozicí, což do značné míry platí i pro nadložní humus, vznikající hlavně z opadu jehličí. Atmosférická depozice sice zahrnuje i horninový prach z blízkého okolí, přesto je korelace mezi složením půdních horizontů B a humusu (případně i biomasy) spíše slabá, i když v časovém vývoji (dokumentovaném v mechu) je mezi roky 1995 a 2005 patrný pokles atmosférického spadu většiny prvků z antropogenních zdrojů znečišťování – tím se podíl vzdálených zdrojů na obsahu prvků v bioindikátorech snižuje a opět relativně stoupá význam místního geologického podloží (viz např. Sucharová et al. 2008). V horizontu B1 a biomase korelují hlavně Mg, Ca, Sr, Ba, Na, K, Rb a Mn, méně Tl, některé další prvky mají náznak korelace spíše kvůli ojedinělým extrémním hodnotám (např. Cr na ultrabaziku u Dukovan). Obecně jsou však koncentrace většiny litogenních prvků v biomase nejvyšší v oblastech s vysokou prašností, zvláště na Mostecku a jižní Moravě (Sucharová et al. 2008).

V půdních horizontech B jsou z mapování patrné i určité regionálně geologické nebo obecně petrochemické trendy. Jde hlavně o prvky koncentrované v granitech (Sn, Be, Rb, Cs, Bi, W, Tl), podobně jsou zvýšené obsahy Cr, Ni a Co na mafických a bazických horninách. Oblast vyššího obsahu La, Ce, Pr, Nd a Th, zahrnující velkou část moldanubika (včetně moldanubického a třebíčského plutonu) i českobudějovickou pánev, do značné míry odpovídá oblasti zvýšeného obsahu monazitu podle mnohem hustší šlichové prospekce (Abraham et al. 2001). Podobně zvýšený Sn v horizontu B v některých případech (na Karlovarsku, u Jevan) odpovídá hojnějšímu kasiteritu ve šlichových vzorcích. Obsahy stopových prvků v podsítných frakcích šlichů (přesněji koncentrační třídy podle semikvantitativních analýz frakce < 0,15 mm) jsou již podstatně citlivější na antropogenní kontaminace (Abraham et al. 2001), přesto

se v nich oblasti s přirozeně zvýšenými obsahy některých prvků v půdě (Bi, Sn, La) také projevují.

Výskyt obsahů prvků pod mezí detekce příslušné metody byl ve všech sledovaných materiálech zanedbatelný s výjimkou Se v horizontu B2.

Dále je zhodnoceno 12 vybraných stopových prvků. Jde o prvky v často až ultrastopových koncentracích, jejichž dostatečně spolehlivá a citlivá stanovení v horninách, případně i v půdách, jsou dosud poměrně omezená, někdy vyloženě vzácná (lepší situace je pouze v případě Li). Jsou uvedeny lokality, na nichž byl zjištěn výrazně zvýšený obsah těchto prvků v půdním minerálním horizontu (který se využívá i při půdní metalometrii), ať už jde o vazbu na určitý druh hornin, nebo lokální či regionální mineralizaci.

Stříbro vykazuje v půdě výraznou anomálii u Radošovic (pararula blízko kontaktu středočeského plutonu na okraji blanické brázdy – kambizem dystrická, k. oglejená mezobazická; v místě byly ověřovány anomálie Ag, Hg, Cu a Zn – Marešová et al. 1980), která se projevuje i v humusu, stejně jako zvýšené hodnoty u Zlatých Hor (fylitická břidlice – kryptopodzol rankerový). Regionálně zvýšené koncentrace jsou v horizontu B na Mostecku a Karlovarsku, zatímco v humusu spíše v Krušných horách (Výsluní) a v Krkonoších, s izolovanou anomálií antropogenního původu u Příbrami (Trhové Dušníky, písčité sedimenty spodního kambria – kambizem dystrická). V biomase jsou již náznaky vztahu k obsahu Ag v půdě velmi slabé.

Arzen. Dvě lokality (Srní – granit, Solná Lhota – migmatit) s vysokými koncentracemi v půdě jsou ze střední Šumavy z oblasti regionální anomálie As (v různých typech hornin), zahrnující též ložisko zlata Kašperské Hory. V humusu ani biomase zde již As není zvýšen, což odpovídá závěrům Skály et al. (2011) z analýz biomasy (převážně travin) mimo lesy. Vysoké koncentrace v horizontu B byly zjištěny též u Jáchymova (svor – kryptopodzol rankerový) a v jeho spodní části také v Albrechticích u Frýdlantu (ortorula). Zajímavá je lokalita Orličky (lugikum, ortorula – kambizem dystrická), kde je vysoký obsah As pouze v horizontu B1. V humusu a biomase se projevuje dominantní podíl atmogenního As původem ze spalování hnědého uhlí.

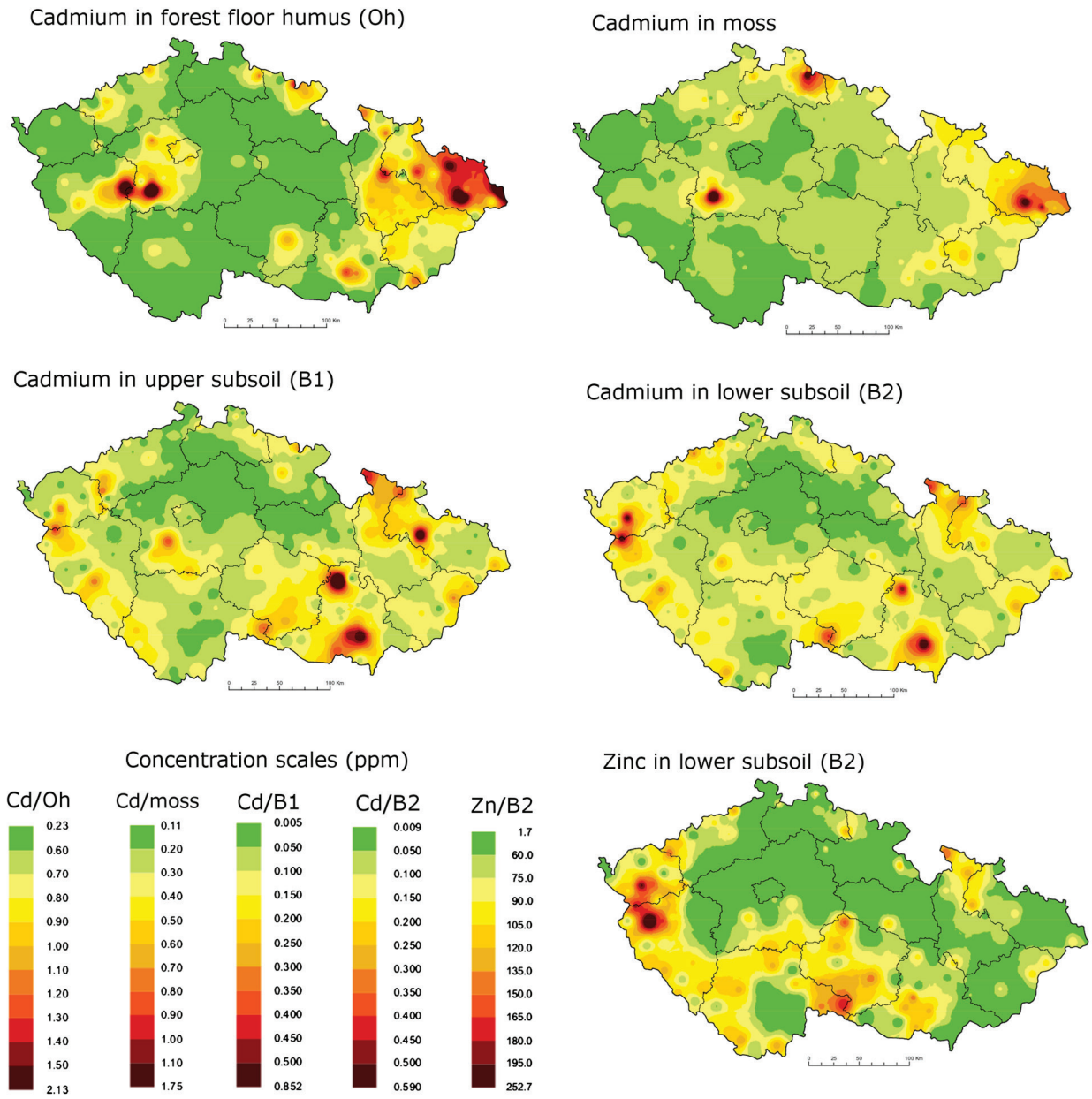
Bismut má plošně zvýšené koncentrace Bi v půdě (B2) na Karlovarsku, kde se také nacházejí tři ze čtyř lokalit s kontrastními hodnotami 2–6 ppm (granity: Činov – kambizem mezobazická, k. dystrická rankerová, Dolní Žandov – kambizem dystrická; Jáchymov – svor), poslední lokalitou s vysokým Bi v půdě je Klášter-Konrac v moldanubickém plutonu (dvojslídné žuly – kryptopodzol modální). Obě tyto oblasti odpovídají anomáliím Bi v podsítné frakci těžkých minerálů podle šlichové prospekce (Abraham et al. 2001), stejně jako mírně zvýšený Bi u Jevan, další šlichové anomálie Bi na menších územích však již nebyly zachyceny. V biomase jsou nejvyšší koncentrace v širším okolí Děčína a v mechu je výrazná anomálie i na polských hranicích u Třince (Nýdek – karpatský flyš – kambizem mezobazická). V humusu je kombinací vlivu podloží a atmosférické depozice zvýšený obsah Bi v souvislém pásu pohoří na severní hranici od Sokolova po Králický Sněžník a regionálně antropogenně zvýšený na Ostravsku.

Kadmium patří mezi analyzovanými prvky k těm nejvíce koncentrovaným v humusu (navíc v horizontu B jsou obecně vyšší koncentrace spíše v horní části). Proto je možný vliv atmosférické depozice i jiných povrchových kontaminací na hlubší půdní horizonty, což se zdá reálné na lokalitách Trhové Dušníky (u Příbrami) a možná i Kerhartice (Nízký Jeseník, kulm). Naopak se v horizontu B už neprojevují anomálie Cd v humusu a biomase např. na Ostravsku. Endogenní původ mají zřejmě vyšší obsahy v půdě např. na lokalitách Prameny (amfibolit na kontaktu s granitem), Zadní Chodov (pararula – kambizem dystrická) a Travná (lugikum, Javornický výběžek – kambizem mezobazická), kde je zároveň více nebo méně zvýšený Zn (obr. 1). Nejasný původ má vysoké Cd v horizontu B na lokalitách Boleradice (karpatský flyš – luvizem modální) a Lhota u Lysic (mramor, moravikum; možná přítomnost sulfidů vzhledem k vysokému obsahu S – rendzina vyluhovaná, kambizem modální). Zvláštní postavení má lokalita Dobřív (křemenný porfyr – kambizem dystrická) s výraznou anomálií Cd pouze v humusu, kterou lze vysvětlit spadem z bývalých hutí v Hrádku u Rokycan.

Měď má v horizontu B výrazné maximum na lokalitě Mašťov (alterovaný bazaltoid, Doupovské hory – kambizem eutrofní), endogenního původu jsou i zvýšené koncentrace na lokalitách Černá v Pošumaví (na pararule, s výrazně vyšší hodnotou v horizontu B2 oproti B1), Železná Ruda (pararula) a Zlaté Hory. Patrná je korelace s Fe, tedy pravděpodobně jistá vazba na oxidy a hydroxidy železa, jejichž obsah kromě geologického podloží významně ovlivňuje také vývin příslušných půdních horizontů. V biomase je měď esenciálním prvkem a žádný vztah ke geologickému podloží není patrný; znečištění se projevuje hlavně v mechu v severozápadních Čechách.

Germanium bylo stanoveno pouze v horizontu B a v mechu. V nižší části horizontu B jsou maxima na lokalitách Mašťov a Albrechtice u Frýdlantu a plošně zvýšené koncentrace hlavně na Karlovarsku. V horizontu B1 je obsah Ge zpravidla nižší (0,14–17,99 ppm) než v B2 (0,32–28,05 ppm), výjimkou jsou vyšší koncentrace v poměrně rozsáhlém území krystalinika od Havlíčkova Brodu po Mikulov. V horizontech B1 i B2 má Ge významnou korelaci s Fe (pravděpodobně nejsilnější ze všech stopových prvků kromě Co) a Mn (viz též obr. 2). V mechu výrazně dominuje vliv spalování uhlí, zvláště v severozápadních Čechách.

Rtuť patří k nejmobilnějším prvkům v půdním profilu a je rovněž silně koncentrována v humusu (s maximem na lokalitě Podhájí u Týna nad Vltavou – na aluviu, které však není spojeno se zvýšenou hodnotou jinde než v humusu a jde o antropogenní kontaminaci). Endogenní původ mají pravděpodobně anomálie v horizontu B2 na lokalitách Kraslice-Sněžná (kvarcit), Říčky (ortorula sněžnické skupiny), Čenkovice (lugikum) a Bílá (karpatský flyš, istebňanské souvrství – kambizem mezobazická), vyšší Hg doprovází

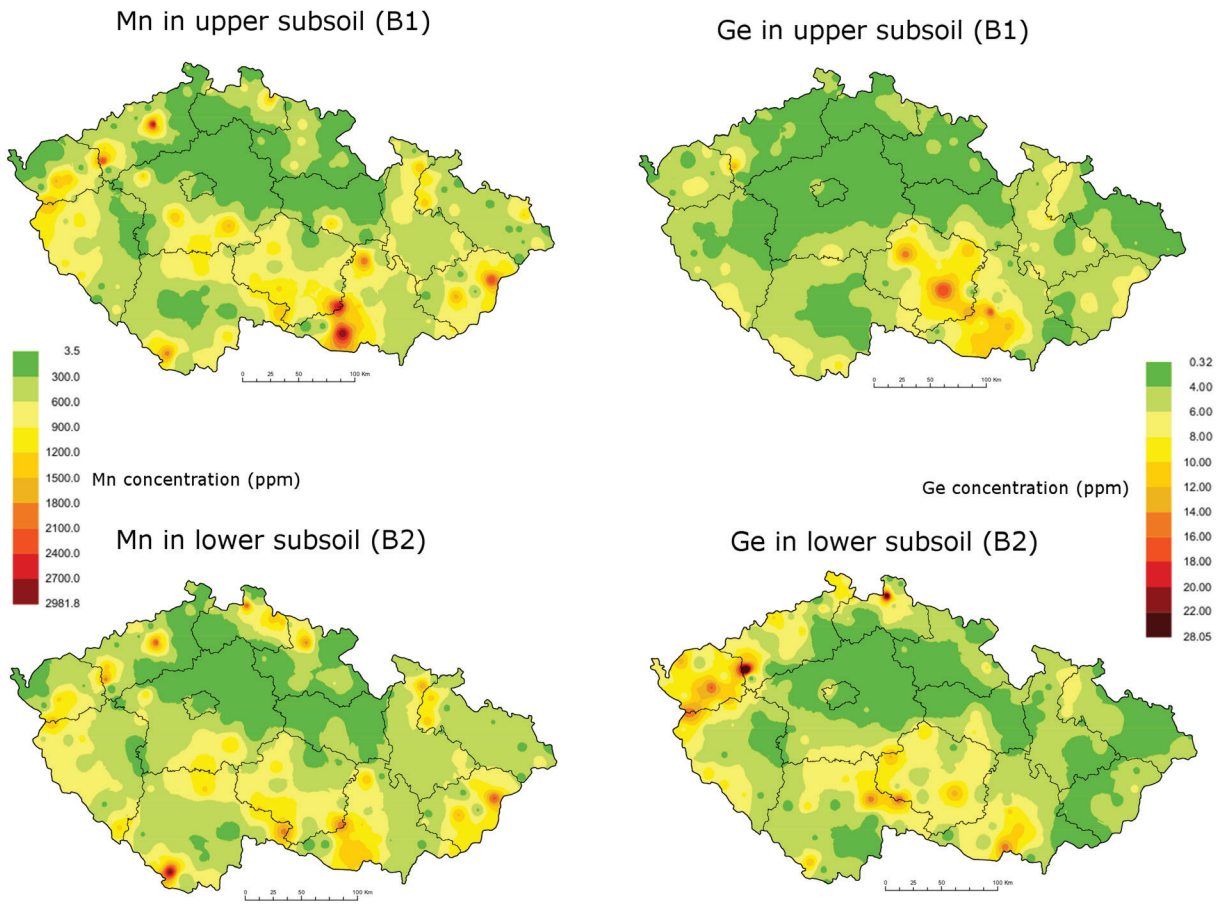


Obr. 1. Porovnání plošné distribuce obsahů Cd v mechu a v půdních horizontech Oh, B1 a B2 (v B2 pro srovnání též Zn; měřítko ve všech mapách 100 km).
Fig. 1. Aerial distribution of Cd content: comparison of moss and soil horizons Oh, B1 and B2 (in B2 also Zn for comparison; scale bar represents 100 km in all maps).

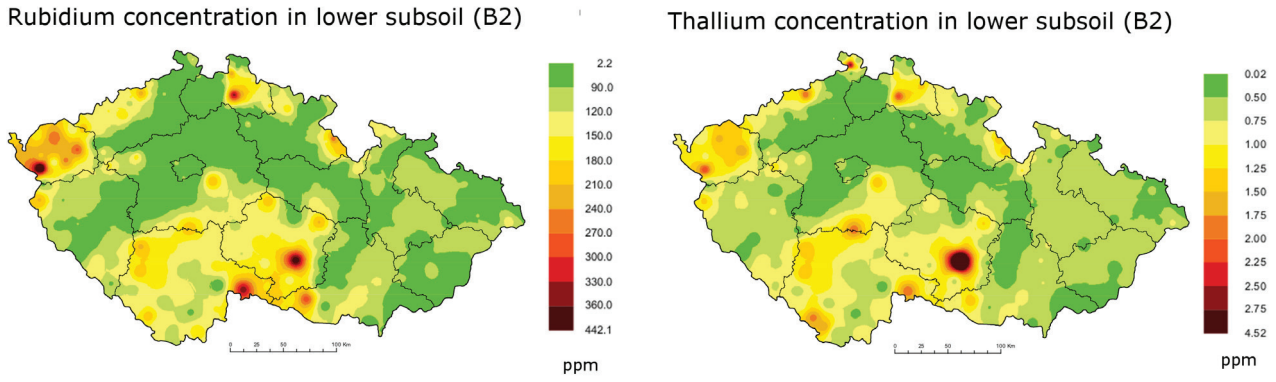
také anomálii Ag u Radošovic; také zvýšený obsah Hg v obou horizontech B ve velké části Šumavy nelze dobře vysvětlit atmosférickou depozicí.

Indium bylo měřené jen v mechu (0,001–0,038 ppm v r. 2005), v němž vykazuje nejvyšší koncentrace u německé hranice od Litvínova po Lužické hory, kde je často doprovázeno zvýšenými (ne však tak kontrastními) hodnotami Mo a/nebo Sn. I když se v Krušných horách nacházejí ložiska In, na zvýšení koncentrací v mechu mezi roky 2000–2005 (které nastalo i ve východních Čechách) se mohl podílet i další zdroj, např. větrné elektrárny (Sucharová et al. 2008) a solární elektrárny (později In nebylo stanoveno z důvodu jeho použití jako vnitřního standardu ICP-MS).

Lithium patří v půdě k nadprůměrně mobilním prvkům a 6 anomálních hodnot je omezeno jen na horizont B2 (maximum: Pustá Kamenice, pararula, poličské krystalinikum – kambizem dystrická) pouze ojediněle se zvýšeným Li také v ročním nebo dvouletém jehličí. Většina těchto lokalit se nachází na sedimentech (z toho dvakrát je kumburské souvrství permokarbonu) a všechny pravděpodobně byly alespoň v minulosti zakryty sedimenty české křídové pánve, což by mohlo mít souvislost s předpokládanou dobře rozpustnou formou Li. Na granitech lze jako anomální označit koncentrace Li v horizontu B jenom na lokalitách Vodná (kambizem rankerová mezobazická) a Klášter-Konrac (pouze v B1), zvýšená hodnota je i na lokalitě Jevany.



Obr. 2. Srovnání Ge a Mn v půdních horizontech B1 a B2.
Fig. 2. Comparison of Ge and Mn in soil horizons B1 and B2.



Obr. 3. Srovnání Tl a Rb v půdním horizontu B2.
Fig. 3. Comparison of Tl and Rb in B2 soil horizon.

Molybden vykazuje výrazné anomálie v půdním horizontu B na lokalitách Lovečkovice (kvádrové pískovce) a Albrechtice u Frýdlantu (pouze v B2). Zvýšený obsah na lokalitě Lhota u Lysic (mramor) se projevuje i v humusu. V humusu je Mo plošně zvýšený v severních pohraničních horách od Chomutova až po Náchod, dále hlavně na Kladensku a Ostravsku, pravděpodobně z bývalých provozů železné metalurgie. Toto rozložení částečně odpovídá Mo v mechu, jinak jsou však v biomase dominantní spíše anomálie z lokálního znečištění (jen v jehličí v Praze a v sz. okolí lze již mluvit o regionální anomálii).

Thalium má v horizontu B těsnou korelaci s Rb (méně s Cs a K) a zároveň patří mezi prvky s nejlepší shodou koncentrací v horizontech B1 a B2. Plošně zvýšený obsah je na granitech bohatých na K až durbachitech: třebíčský pluton (Věstoňovice – kambizem mezobazická), středočeský pluton (Veletín – pseudoglej kambický, Jevany),

Karlovarsko, jv. část Šumavy, Klášter-Konrac. Někdy se vysoké Tl v podloží projevuje i v humusu (Věstoňovice, Veletín, pravděpodobně i lokalita Přítkov v aluviu na teplickém ryolitu – glej luvický), v mechu (Karlovarsko, Jevany), trávě (Veletín) nebo jehličí (Jevany). S povrchovou kontaminací by mohl souviset vysoký obsah Tl v horiozntu B1 (méně B2) na lokalitě Brtníky (kvádrový pískovec – kryptopodzol arenický), kde je ještě výraznější anomálie Tl v mechu a trávě (ale jen malé zvýšení v humusu a průměrné koncentrace v jehličí).

Wolfram byl při biochemickém monitoringu stanoven jen v minerální půdě a humusu. V minerální půdě je výrazně koncentrován v granitech, zvláště na Karlovarsku. V humusu je zvýšený obsah v celém severním pohraničí, nejvíce od Smrčin po Jizerské hory, s izolovaným maximem u Zlatých Hor. Zatímco na Karlovarsku a v krkonošsko-jizerském plutonu je přirozeně vyšší obsah W i v podsítné frakci šlichů (Abraham et al. 2001), zvýšený W v podsítné frakci (spolu se scheelitem v nadsítné frakci) šlichů ve velké části středočeského a třebíčského plutonu ekvivalent v humusu, a ve středočeském plutonu ani v minerální půdě, nemá.

Závěr

Výsledky potvrdily, že obsah stopových prvků v půdním horizontu B (zvláště v obohacené, spodní části) záleží především na jejich obsahu v horninovém podloží a jen u nejmobilnějších prvků (Hg, Cd, Se?) může být lokálně významně ovlivněn atmosférickou depozicí, případně jinou kontaminací. Naproti tomu v nadzemní biomase je vztah koncentrací prvků ke geologickému podkladu velmi slabý, častěji se projevují jen zvýšené hodnoty alkálií a alkalických zemin (kromě Li, Na, Be), spíše ojediněle dalších prvků jako Tl a Ni. Biogeochemická prospekce tedy podle žádného ze zkoumaných biologických materiálů (bioindikátorů) pro většinu prvků nevypadá reálně. Výjimkou může být několik litofilních prvků jako Rb, Cs a Sr, jejich malá mobilita v půdě však naznačuje, že cennější výsledky by měla přinést půdní metalometrie. U mobilnějších prvků (Cd, Hg, Li) může srovnání s humusem a biomasou objasnit původ anomálií v půdě. Vysoká koncentrace prvku v biomase je často spíše důsledkem atmosférické depozice; humus může být ovlivněn i staršími kontaminacemi, které se v biomase již neprojevují.

Podrobnější zhodnocení získaných dat stopových prvků na různých typech hornin, zvláště v kombinaci s výzkumy na menších územích, jistě poskytne cenné informace o chování těchto prvků při zvětrávání různých typů hornin, pedogenezi a v biochemických cyklech.

Poděkování. Výzkum byl financován z projektu Norských fondů CZ 0074 „Biogeochemical exploration of forests as a basis for long-term landscape management in the Czech Republic“. Práce byla rovněž podpořena z institucionální podpory VUKOZ-IP-00027073. Za připomínky k původní verzi děkujeme editorovi Karlu Kirchnerovi a recenzentům Janě Janderkové a Aleši Bajerovi.

Literatura

Abraham, M. – Dudek, A. – Fediuk, F. – Hůlka, L. – Jurák, L. – Malec, J. – Švestka, J. – Veleba, B. – Žáček, M. (2001): Regionální šlichová prospekce České republiky. – 259 str. GEOMIN, Jihlava. Čes. geol. služba, Praha. P099974.

Drahota, P. – Rohovec, J. – Filippi, M. – Mihaljevič, M. – Rychlovský, P. – Červený, V. – Pertold, Z. (2009): Mineralogical and geochemical controls of arsenic speciation and mobility under different redox conditions in soil, sediment and water at the Mokrsko-West gold deposit, Czech Republic. – Sci. Tot. Env. 407, 3372–3384.

Harmens, H. et al. (2015): Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some “hotspots” remain in 2010. – Env. Pollut. 200, 93–104.

Marešová, Z. – Sobotka, M. – Tytlová, A. (1980): Detailní geochemický výzkum v okolí Radošovic u Vlašimi. – MS Čes. geol. služba, Praha. P032852.

Navrátil, T. – Rohovec, J. – Skřivan, P. (2016): Lesní potok – čtvrtstoletí monitoringu modelového povodí. – 42 str. Strategie AV21. AV ČR, v. v. i. Praha.

Skála, J. – Vácha, R. – Čechmánková, J. (2011): Evaluation of arsenic occurrence in agricultural soils of the Bohemian Forest region. – Silva Gabreta 17, 55–67.

Suchara, I. – Sucharová, J. (2000): Distribution of long-term accumulated atmospheric deposition loads of metal and sulphur compounds in the Czech Republic determined through forest floor humus analyses. – Acta Pruhoniciana 69, 1–177.

Suchara, I. – Sucharová, J. – Holá, M. (2007): Bio-monitoring of the atmospheric deposition of elements using moss analysis in the Czech Republic. Results of the international bio-monitoring programme UNECE ICP-Vegetation 2000. Part II: Optional elements for the bio-monitoring programme. – Acta Pruhoniciana 87, 1–186.

Suchara, I. – Sucharová, J. – Holá, M. – Reimann, C. – Boyd, R. – Filzmoser, P. – Englmaier, P. (2011): The performance of moss, grass, and 1- and 2-year old spruce needles as bio-indicators of contamination: a comparative study at the scale of the Czech Republic. – Sci. Tot. Env. 409, 2281–2297.

Sucharová, J. – Suchara, I. (2004): Bio-monitoring the atmospheric deposition of elements in the Czech Republic. Results of the international bio-monitoring programme UNECE ICP-Vegetation 2000. Part I: Elements required for the bio-monitoring programme. – Acta Pruhoniciana 77, 1–135.

Sucharová, J. – Suchara, I. – Holá, M. (2008): Contents of 37 elements in moss and their temporal and spatial trends in the Czech Republic during the last 15 years. Fourth Czech bio-monitoring survey pursued in the framework of the international programme UNECE ICP-Vegetation 2005/2006. – 96 str. Výzk. úst. S. Taroucy kraj. okras. zahrad., Průhonice.

Sucharová, J. – Suchara, I. – Holá, M. – Maříková, Š. – Reimann, C. – Boyd, R. – Filzmoser, P. – Englmaier, P. (2012): Top-/bottom-soil ratios and enrichment factors: What do they really show? – Appl. Geochem. 27, 138–145.