

Klasy jsou převážně tvořeny skelným andezitem-bazaltem. Velké balvany dále tvoří fluidální a světle zvětřující porézní andezit-bazalt.

Fluidální skelné nebo porfyrické andezity-bazalty nebyly v oblasti Santa Lucia ani v blízkém okolí ve výchozech nalezeny. Byly však zjištěny v obdobných aglomerátech a rovněž ve výchozech ve svahu kaldery Las Lajas, která leží asi 15 km jižně odtud (obr. 2). Taková hornina je hrubozrnná, s fenokrysty plagioklasů, s klino- i ortopyroxenem nebo amfibolem. Názor o pravděpodobném původu bloků tvořících akumulace laharů na obvodu kráterové deprese Santa Lucia se opírá o tyto údaje:

1. srovnání litologie a petrografie hornin v kaldeře Las Lajas a v laharech – stejné typy, na Santa Lucii se ve výchozech nevyskytují;
2. předpoklad silné explozivní aktivity Las Lajas, kdy byl destruován bazaltový štítový vulkán a vznikaly obrovské kubatury aglomerátových proudů;
3. lahary na Santa Lucii tvoří nejmladší (nejvyšší) horninové soubory, které kryjí mio-pliocenní bazalty – kaldera Las Lajas je pleistocenní.

Klasy z laharů odpovídají v diagramu TAS svým složením převážně bazaltickým andezitům s alkalickou afinitou. Vykazují obohacení o Ba, Sr, Nd, Sm, Tb, Y, Tm, Yb, často také Hf a Zr, naopak jsou ochuzené o Th, Nb a Ta. Většina studovaných klastů má oproti ostatním horninám vyšší obsahy REE (94–150 ppm). Klast bazaltu spadá v geotekto-

nickém klasifikačním diagramu do pole bazaltu vulkanických oblouků (MESCHEDE 1986). V klasifikaci WOODA (1980) leží bazaltové klasy v poli tholeiitických bazaltů ostrovních oblouků. Většina vzorků leží na hranici obou klasifikačních polí. Srovnání geochemického složení vzorku potvrzuje, že přinejmenším část klastů pochází z kaldery Las Lajas, což je dobře patrné zejména v diagramech obr. 3.

Literatura

- BAROŇ, I. – NOVOTNÝ, R. – KERNSTOCKOVÁ, M. – BURIÁNEK, D. – HAVLÍČEK, P. – HRADECKÝ, P. – MELICHAR, R. (2008): Geomorphic, structural and paleostress analysis of a Quaternary giant slope failure near Boaco and Santa Lucia (Nicaragua, Central America). – Congress *Slope Tectonics*, 15–16 February, 2008, Laussane.
- EHRENBORG, J. (1996): A new stratigraphy for the Tertiary volcanic rocks of the Nicaraguan Highland. – *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 108, 7, 830–842.
- GARAYAR, J. S. (1972): Geología y depósitos de minerales de la región de Chontales y Boaco. – Informe 11, Archivo de INETER, Managua.
- HRADECKÝ, P. (2006): Tertiary ignimbrites in Central America: Volcanological aspects and lithostratigraphical correlation proposal. – *Krystalinikum*, 31, 11–24.
- MESCHEDE, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. – *Chem. Geol.*, 56, 207–218.
- WOOD, D. A. (1980): The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. – *Earth Planet Sci. Lett.*, 50, 11–30.

BIOLOGICKY PŘÍSTUPNÉ KOVY V PŮDÁCH KONTAMINOVANÝCH TĚŽBOU A ÚPRAVOU POLYMETALICKÝCH RUD V NAMIBII

Bioavailable metals in soils contaminated by mining and processing of base metal ores in Namibia

VLADIMÍR MAJER – BOHDAN KRÍBEK – JAROMÍR ŠIKL

Česká geologická služba, Klárov 3, 118 21 Praha 1

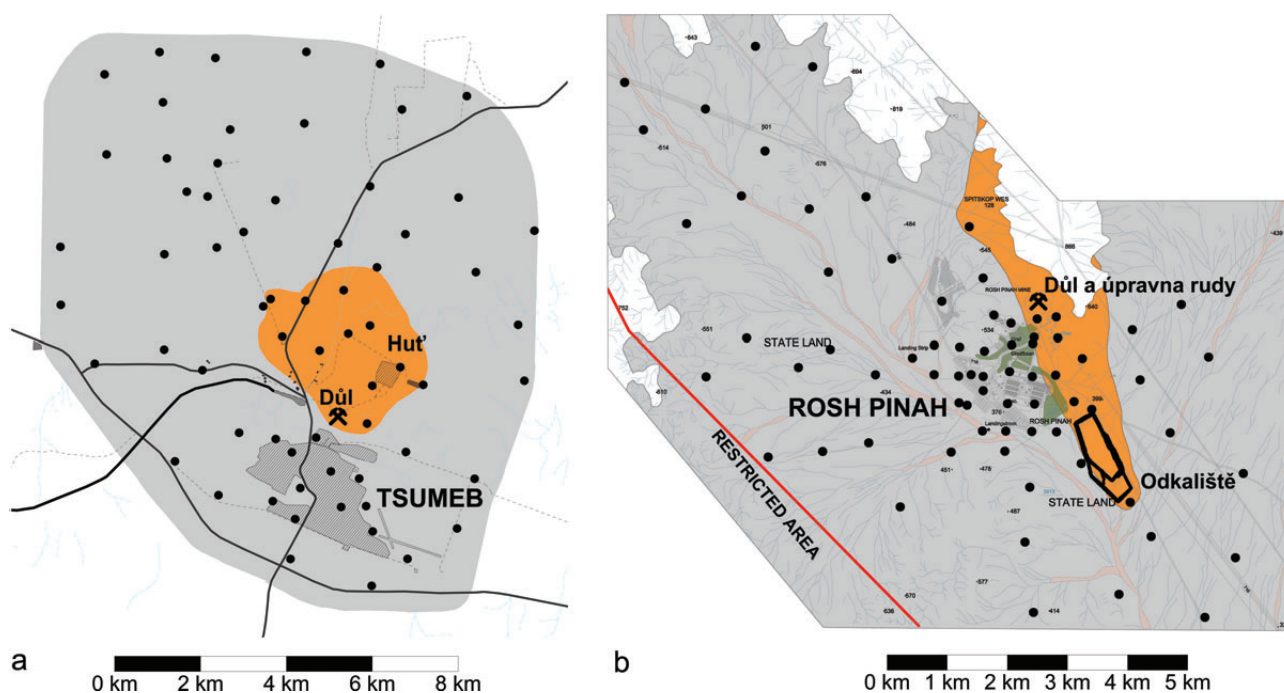
Key words: bioavailable metals, factor analysis, Rosh Pinah, Tsumeb, Namibia



Abstract: The bioavailability of metals in heavily contaminated soils studied in the areas of Rosh Pinah and Tsumeb in Namibia turned out to differ significantly. Their enhanced bioavailability in the Tsumeb region is obviously caused by fine grain-size of solid emissions from local smelter and their fast weathering after deposition in semi-humid climate. The bioavailability of metals in the desert region of Rosh Pinah is lower. Approximately 73 % of chemical variability found in soil samples in the area of Rosh Pinah can be attributed to two factors. The first one is ascribed to sulfide fallout from crushers and ore concentrate dumping grounds in which the content of bioavailable metals is low. The second factor is interpreted as fallout from a tailings impoundment that has been exposed to prolonged weathering, oxidation of sulfides and subsequent transport of sulfates. The fallout from tailings impoundment contains mostly metals in bioavailable form.

Při hodnocení rizik spjatých s těžbou a úpravou rud je velká pozornost věnována distribuci kovů v kontaminovaných půdách. Zatímco celkový obsah kovů v půdě velmi dobře vykresluje rozsah kontaminovaného území, pro posouzení biotoxicity těžkých kovů a jejich vlivu na lidské zdraví je používána celá řada metod, které modelují příjem kovů rostlinami a jsou založeny na zkoumání vlivu těžkých kovů na půdní mikroorganismy, řasy nebo semena vyšších rostlin. Poslední dobou se stále více používají metody, které modelují příjem kovů žaludeční sliznicí. To proto, že vedle nasálního příjmu kovů a jejich rozpouštění v plicních alveolách je pro posouzení rizika příjmu velmi důležitá také přístupnost kovů v prachu, který je polykán a rozkládán žaludečními šťávami. Metodu původně použili DAVIS et al. (1992) a nyní je běžně používána pro posouzení environmentálních rizik spjatých s těžbou (KELLEY et al. 2002).

Množství orálně přístupných kovů bylo studováno ve dvou silně kontaminovaných oblastech Namibie: v okolí hutě Tsumeb (v severní Namibii) a v okolí polymetalického



Obr. 1. Rozsah území silně kontaminovaných prašným spadem (oranžově) z hutě v Tsumebu a z úpravy rud a odkaliště v Rosh Pinahu v Namibii. Plocha kontaminovaného území v oblasti Tsumebu činí 11 km², plocha kontaminovaného území v Rosh Pinahu 9 km². Na topografickém podkladu je šedě znázorněno mapované území, černé body značí odběrová místa půdních vzorků.

ložiska Rosh Pinah v jižní Namibii. V oblasti Tsumebu jsou hlavním zdrojem kontaminace půd emise z olovené a měděné hutě. V minulosti se v hutě zpracovávaly i rudy arzenu a kadmia. V oblasti Rosh Pinahu je hlavním zdrojem kontaminace jednak úpravárenský závod (drtiče rud a deponie rudního koncentráту), jednak rozsáhlé úložiště floatačních odpadů. Silně kontaminované území – tj. území, kde průměr koncentrací všech kontaminujících prvků převyšuje desetinásobek průměru jejich středních koncentrací v půdách – je pro obě studované oblasti znázorněno na obr. 1. V oblasti Tsumebu činí plocha silně kontaminované oblasti 11 km² (9 % mapované oblasti), v oblasti Rosh Pinahu 9 km² (6 % mapované oblasti). Cílem práce bylo posoudit orální biologickou přístupnost kovů z kontaminovaných zemín, které jsou zdrojem prašného spadu v oblasti Tsumebu a Rosh Pinahu a ověřit možnost použití faktorové analýzy při identifikaci zdrojů biologicky přístupných kovů.

Materiály a použité metody

Vzorky půdy byly odebírány z povrchové vrstvy půdního profilu do hloubky maximálně 2 cm, protože pouze povrchová vrstva kontaminované půdy je zdrojem prašných emisí. Po vysušení byly vzorky půd o hmotnosti cca 0,5 kg sítovány na plastických sítích o velikosti oka 0,2 mm. Frakce pod 0,2 mm byla v analytických laboratořích ČGS homogenizována v achátových mlýnech na analytickou jemnost (< 0,063 mm). Homogenizované vzorky byly louženy směsí koncentrované HNO₃ a HCl za tepla (celková koncentrace kovů ve vzorku, c_i). Stejně vzorky byly zpracovány metodou simulující rozpouštění kovů v lidském žaludku (RIEUWERTS et al. 1999): 0,1 g půdy byla extrahována

v 10 ml 0,12 M HCl (pH 1,19), roztok byl ponechán po dobu dvou hodin při pokojové teplotě a následně centrifugován. Obsahy biologicky přístupných kovů (c_{av}) byly stanoveny v centrifugátu. Vlastní stanovení kovů ve výlužích pak bylo provedeno podle metodické příručky Centrálních laboratoří České geologické služby (DEMPÍROVÁ – VITKOVÁ 2002). Množství celkové síry a celkového uhlíku bylo stanoveno spalováním vzorku při teplotě 1450 °C a následným spektrálním stanovením vzniklého SO₂, resp. CO₂ v infračervené oblasti. Pro stanovení pH výluhu bylo použito 2,5 g přesítovaného půdního vzorku, louženého v 10 ml roztoku 1 M KCl po dobu 24 hodin.

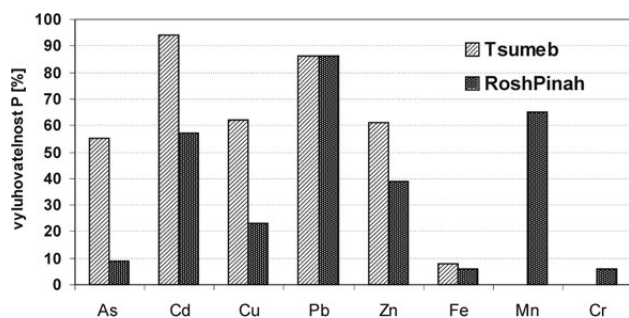
Výsledky a diskuse

Celkové obsahy kovů v půdách

Střední hodnoty celkových obsahů sledovaných kontaminantů (c_i) se na obou lokalitách liší (tabulka 1). Ze stopových prvků obsahují půdy v oblasti Tsumebu vyšší množství As, Cd, Cu a Pb, půdy z okolí Rosh Pinahu vyšší množství Zn. Obsahy Cu jsou v obou oblastech podobné. Rozdíly v celkovém množství kovů v obou oblastech jsou způsobeny hutněním arzenem a kadmiiem bohatých rud žilného typu v Tsumebu a vysokým obsahem zinku ve stratiformních rudách těžných v Rosh Pinahu.

Biologicky přístupné obsahy kovů v půdách

Střední hodnoty (mediány) biologicky přístupných obsahů sledovaných kontaminantů (c_{av}) jsou ve srovnání s celkovými středními hodnotami celkového obsahu kovů nižší



Obr. 2. Střední hodnoty (mediány) podílů biologicky přístupného a celkového obsahu jednotlivých kovů („vyluhovatelnost“, P_{Me}) v kontaminovaných půdách v oblasti Tsumebu a Rosh Pinahu.

Tabulka 1. Porovnání mediánů celkové (c_t) a biologicky přístupné koncentrace (c_{av}) jednotlivých prvků v půdách a mediánů poměrů biologicky přístupných a celkových koncentrací (vyluhovatelnost P) jednotlivých prvků v mapovaných oblastech Tsumebu a Rosh Pinahu

	Tsumeb			Rosh Pinah		
	c_t [ppm]	c_{av} [ppm]	P [%]	c_t [ppm]	c_{av} [ppm]	P [%]
As	28	13	55	2,7	0,3	9
Cd	4,1	4,0	94	1,1	< 0,8	57
Cu	85	51	62	27	7	23
Pb	180	150	86	150	120	86
Zn	97	52	61	430	210	39
Fe	7700	500	8	17000	1000	6
Mn				400	300	65
Cr				32	2	6

Tabulka 2. Granulometrické složení prachu z hutě v Tsumebu a z drtičů a odkaliště v Rosh Pinahu

frakce [μm]	Tsumeb		Rosh Pinah	
	1	2	3	4
> 125	–	–	7,43	5,38
125–63	–	14,92	29,54	27,72
63–16	–	18,85	22,92	18,49
16–8	15,13	23,8	15,15	16,8
8–4	18,85	23,31	10,96	13,56
4–2	24,08	19,09	13,99	18,05
2–1	22,92		–	–
1–0,5	9,79		–	–
< 0,5	9,23		–	–
charakteristická velikost zrna (d')	3,93	13,44	35,62	40,88

1 – prach z odlučovačů konvertorů v Tsumebu, 2 – prach z odlučovačů elektrické pece v Tsumebu, 3 – prašný spad z odkaliště v Rosh Pinahu, 4 – prašný spad z drtičů rudy v Rosh Pinahu

(tab. 1). Střední hodnoty (mediány) vyluhovatelnosti (P), vypočtené jako podíl biologicky přístupného a celkového

obsahu kovu (c_{av}/c_t) v jednotlivých vzorcích půd, jsou rovněž uvedeny v tabulce 1 a graficky znázorněny v obr. 2. Z tabulky i obrázku vyplývá, že množství biologicky přístupného As, Cd, Cu a Zn v oblasti Tsumebu je proti oblasti Rosh Pinahu daleko vyšší. Množství biologicky přístupného olova a železa jsou v obou oblastech přibližně stejné. Obsahy manganu a chromu byly sledovány pouze v oblasti Rosh Pinahu. Na rozdíl od vysokého množství biologicky přístupného manganu, který tvoří akcesorickou příměs v rudních karbonátech, je množství přístupného chromu v půdách minimální.

Všeobecně je množství přístupných kovů v kontaminovaných půdách určováno řadou faktorů, mezi něž patří mineralogická forma výskytu kovů a velikost prašných částic, stupeň uzavírání minerálních fází kovů v silikátové matici nebo v hutním skle, stáří částic prašného spadu a rychlost jejich zvětrávání za různých klimatických podmínek. Velkou úlohu hrají i pedochemické vlastnosti půd (půdní pH, obsah organické hmoty a jejich výměnná kapacita; SAHAI – SCHOONEN 2006).

Pedologické charakteristiky půd jsou v obou studovaných oblastech rozdílné. Půdy v klimaticky semihumidní oblasti Tsumebu lze označit jako organickou hmotou bohaté kalcitické regosoly, kalcitické kambisoly a peltické vertisoly (sine 1977). V aridním klimatu Rosh Pinahu jsou arenosoly a zejména hrubozrnné fluvisoly s nízkým obsahem organické hmoty a s nízkým podílem jílové frakce, které jsou vyvinuté na koluvních výplavových plošin.

Těžba a zpracování rud v oblasti Tsumebu trvá více než sto let, zatímco těžba v oblasti Rosh Pinahu se datuje od roku 1978. Dlouhý čas depozice prachových částic v půdním profilu v oblasti Tsumebu a poměrně humidní klima mohou být – na rozdíl od pouštní oblasti Rosh Pinahu – jedním z faktorů, které určují rychlé zvětrávání a tedy vyšší biologickou přístupnost kovů v půdách prvé oblasti.

Dalším faktorem může být granulometrické a mineralogické složení pevných emisí; v oblasti Tsumebu jsou to emise z hutí. Charakteristická velikost zrna emisí z hutí v Tsumebu je výrazně nižší (3,93 a 13,44 μm) nežli charakteristická velikost zrna prašného spadu z drtičů rudy a z odkaliště v Rosh Pinahu (35,62 a 40,88 μm , tab. 2). Je pochopitelné, že se zvyšující se velikostí zrna klesá rychlost vyluhování a chemického zvětrávání částic prašného spadu.

Navíc, mineralogická forma těžkých kovů se ve spadu s hutí, drtičů a odkaliště liší. V odprachu hutí v Tsumebu byly XRD difrakcí například identifikovány lanarkit ($\text{Pb}_2(\text{SO}_4)\text{O}$) a anglesit (PbSO_4), v jemných frakcích hutní strusky i ryzí kovy. V prachu z drtičů v Rosh Pinahu byl nalezen pouze galenit spolu s dalšími sulfidy, v prachu z odkaliště navíc cerusit (AMKONGO 2006).

Vzhledem k dlouhodobé depozici kontaminantů a změnám v technologii hutnění, i vzhledem k velmi proměnlivému charakteru rud, které jsou v Tsumebu zpracovávány, nebyla v tomto teritoriu nalezena statisticky signifikantní závislost mezi celkovými a biologicky přístupnými obsahy kovů, ani mezi obsahy celkové síry a kovů v kontaminovaných půdách.

Naopak v oblasti Rosh Pinahu byla nalezena u většiny kovů velmi dobrá korelace mezi jejich biologicky přístupnými (c_{av}) a celkovými (c_t) obsahy v půdách. Příkladem může být zinek, kde podíl biologicky přístupného kovu klesá s růstem jeho celkové koncentrace v půdách (obr. 3a). To lze vysvětlit hromaděním většího množství hrubozrnných, špatně vyluhovatelných částic prašného spadu v blízkosti zdrojů kontaminace. Zvyšování biologické přístupnosti kovů se vzdáleností od zdroje kontaminace popisují např. REEDER et al. (2006).

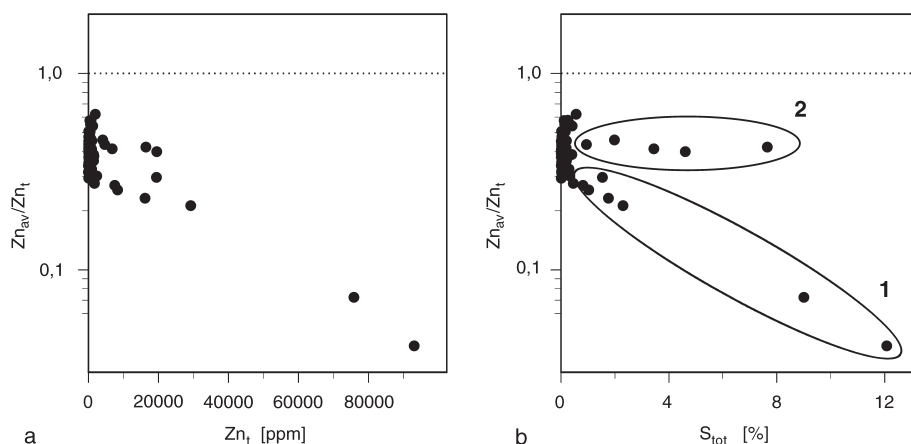
V oblasti postižené zejména prašným spadem z drtičů rudy a z deponovaného rudního koncentráту hodnoty vyluhovatelnosti (P) velmi dobře koreluje s obsahy celkové síry, která se vyskytuje převážně ve formě síry sulfidické (obr. 3b). V oblasti vysoce kontaminované hrubým sulfidickým prachem v blízkosti zdroje (vysoké hodnoty S_{tot}) jsou hodnoty vyluhovatelnosti (P) nízké, se vzdáleností od zdroje (s poklesem hodnot S_{tot} , přibývání jemných frakcí prašného spadu) se tyto hodnoty zvyšují.

V oblasti postižené převážně spadem z odkaliště nebyla korelace mezi hodnotami vyluhovatelnosti (P) a množstvím S_{tot} nalezena (obr. 3b). To je možno vysvětlit dlouhodobým zvětráváním uložených flotačních odpadů, oxidací sulfidů na dobře rozpustné sulfáty a vymýváním sulfátů z tělesa odkaliště. Zvýšená množství sulfátů v monitorovacích vrtech v okolí odkaliště uvádí např. AMKONGO (2006). Na podobných odkalištích v Zambii je rychlý rozklad sulfidů na sírany dokumentován výkvěty syngenitu ($K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$), hexahydritu ($MgSO_4 \cdot 6H_2O$), picromeritu ($K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$), bloeditu ($Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$) a mooreitu ($Mg_9Zn_4Mn_2(SO_4)_2(OH)_{26} \cdot 8 H_2O$) na povrchu odkaliště (KRÍBEK et al. 2004).

Faktorová analýza kontaminace půd v oblasti Rosh Pinahu

Na základě rozlišení vyluhovatelného (c_{av}) a nevyluhovatelného podílu ($c_{nav} = c_t - c_{av}$) jednotlivých kontaminantů lze na lokalitě Rosh Pinah identifikovat rozsah znečištění z jednotlivých zdrojů faktorovou analýzou. Ta umožňuje na základě měřitelných veličin identifikovat neměřitelné faktory, určující chování celého systému. Jako vstupní data faktorové analýzy byly použity hodnoty pH půdního výluhu, obsahy S_{tot} a CO_2 (které odpovídají množství karbonátů ve vzorcích) a dále hodnoty c_{av} a c_{nav} sledovaných chemických prvků.

Výsledky faktorové analýzy, tj. vliv faktorů na jednotlivé měřené veličiny, lze vyjádřit na základě faktorových zátěží (tab. 3) nebo plošnou distribucí vzorků ovlivňovaných jednotlivými faktory (faktorová skóre, obr. 4). V mapované oblasti Rosh Pinahu jsou významné prvé dva faktory



Obr. 3. Závislost poměru vyluhovatelného a celkového Zn (Zn_{av}/Zn_t) na (a) celkové koncentraci Zn (Zn_t) a (b) koncentraci celkové síry (S_{tot}). Z grafu (b) je patrné odlišné chování vzorků z oblasti úpravy rud a deponie rudního koncentráту (1) a z odkaliště (2).

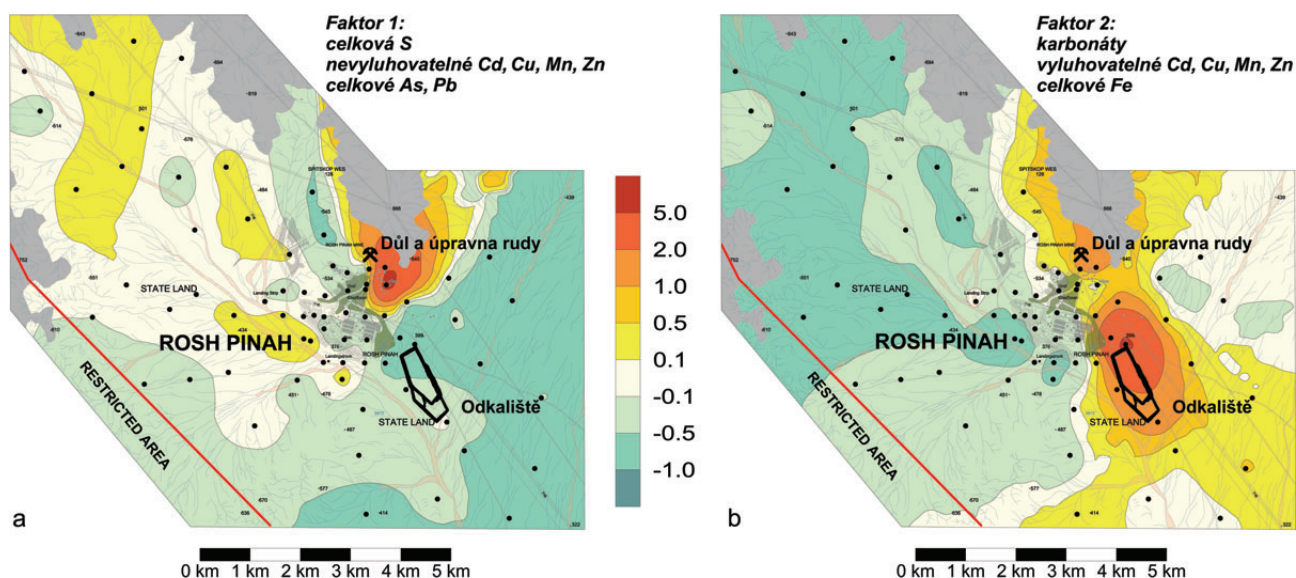
Tabulka 3. Faktorové zátěže pro jednotlivé prvky v prvních dvou faktorech, vysvětlujících 73 % variability vzorků na lokalitě Rosh Pinah

	faktor 1	faktor 2
variabilita	37 %	36 %
pH		
S_{tot}	0,768	0,632
CO_2		0,852
Cd_{av}		0,902
Cr_{av}		
Cu_{av}		0,734
Fe_{av}		0,802
Mn_{av}		0,944
Pb_{av}	0,757	
Zn_{av}		0,874
As_{av}	0,625	0,692
Cd_{nav}	0,947	
Cr_{nav}		
Cu_{nav}	0,859	
Fe_{nav}		0,834
Mn_{nav}	0,918	
Pb_{nav}	0,984	
Zn_{nav}	0,941	
As_{nav}	0,750	

uvedeny jen zátěže > 0,500, kurzivou faktorové zátěže v intervalu 0,5–0,7, tučně > 0,9

(tab. 3), které vysvětlují 73 % variability souboru odebraných vzorků. Faktor 1 ovlivňuje převážně variabilitu nevyluhovatelných podílů (c_{nav}) většiny prvků spolu s obsahy S_{tot} . Faktor 2 naproti tomu ovlivňuje variabilitu vyluhovatelných podílů (c_{av}) spolu s obsahy CO_2 (karbonátů) a v menší míře i obsahy S_{tot} .

Izolíniová mapa jednotlivých faktorových skóre (obr. 4)



Obr. 4. Izoliniová mapa faktorových skóre faktoru 1 a 2 z oblasti Rosh Pinahu. Faktory reprezentují kontaminaci z úpravy rud a deponii rudního koncentrátu (a) a z odkaliště (b). Spad z úpravy a deponii koncentrátu obsahuje kovy převážně v biologicky nepřístupné formě, spad z odkaliště převážně kovy v biologicky přístupné formě.

ukazuje, že kontaminace pocházející z areálu úpravy a deponie rudního koncentrátu má převážně nevyluhovatelny charakter, což vysvětlujeme sulfidickou vazbou kovů a nízkých stupněm zvětrávání sulfidů. Prach z odkaliště obsahuje daleko větší množství biologicky přístupných (vyluhovatelných) kovů, vázaných zřejmě na karbonáty a sírany nebo sorbovaných na jílovitý podíl silně zvětralých flotačních odpadů.

Závěr

Výsledky prací provedených v Namibii ukazují, že množství biologicky přístupných kovů v půdách postižených prašným spadem při těžbě a úpravě rud určuje řada faktorů, jakými jsou například mineralogická forma spadu a jeho granulometrické složení, vzdálenost od zdroje spadu i doba zvětrávání prašného spadu na povrchu půdy. Tyto faktory spolu s rozdílnými klimatickými podmínkami a zřejmě i s rozdílností kontaminantů v půdách mohou vysvětlit značné rozdíly v množství biologicky přístupného množství kovů v kontaminovaných půdách oblastí Tsumebu a Rosh Pinahu. Při kontrastním charakteru zdrojů kontaminace lze pro jejich rozlišení použít metod faktorové analýzy.

Studie byla provedena v rámci Grantového projektu GAČR č. 205/08/0321 a její výsledky budou použity jako srovnávací data při studiu kontaminace půd v oblastech postižených zpracováním měděných a kobaltových rud v oblasti Copperbeltu v Zambii.

Literatura

- AMKONGO, A. N. (2006): Geochemical characterization of groundwater and soil contamination in the surrounding of Rosh Pinah zinc/lead mine, Namibia. – B. Sc. Thesis, Rhodes Univ., Grahamstown, South Africa, 40 str.
- DAVIS, A. – RUBY, M. V. – BLOOM, M. – SCHOOF, R. – FREEMAN, G. – BERGSON, P. D. (1992): Mineralogical constraints on the bioavailability of arsenic in smelter-impacted soils. – *Env. Sci. & Technology*, 30, 392–399.
- DEMPIOVÁ, L. – VITKOVÁ, H. (2002): Metodická příručka akreditovaných metod, část I, analytická chemie. – MS Čes. geol. služba, Praha, 260 str.
- KELLEY, M. E. – BRAUNING, S. E. – SCHOOF, R. A. – RUBY, M. V. (2002): Assessing oral bioavailability of metals in soils. – Battelle Press, Columbus, 124 str.
- KŘÍBEK, B. – MAJER, V. – PAŠAVA, J. – BEZUŠKO, P. – PECINA, V. – MWAMBA, K. – NYAMBE, I. – SIMASIKU, S. (2004): Zhodnocení vlivu těžby a zpracování mědno-kobaltových rud v oblasti Copperbeltu v Zambii. Roční zpráva Projektu rozvojové spolupráce „Vliv těžby a úpravy měděných a kobaltových rud na životní prostředí v zambijské části Copperbeltu. – MS Čes. geol. služba, Praha, 180 str.
- REEDER, R. J. – SCHOONEN, M. A. A. – LANZIROTTI, A. (2006): Metal speciation and its role in bioaccessibility and bioavailability. In: N. SAHAL, M. SCHOONEN, Eds: Medical mineralogy and geochemistry. – *Rev. Mineral. Geochem.*, 64. *Geochem. Soc., Mineral. Soc. Amer., Chantilly, Virginia*, 332 str.
- RIEUWERTS, J. S. – FARAGO, M. E. – ČIKRT, M. – BENCKO, V. (1999): Differences in lead bioavailability between a smelting and mining area. – *Water, Air Soil Pollution*, 122, 203–229.
- SAHAL, N. – SCHOONEN, M. A. A., Eds (2006): Medical mineralogy and geochemistry. – *Rev. Mineral. Geochem.*, 64. *Geochem. Soc., Mineral. Soc. Amer., Chantilly, Virginia*, 332 str.
- sine (1977): Soil map of the world, Volume VI Africa. – EAO, Unesco, Paris, 300 str.