

Ilja KNĚSL¹, Bohdan KRĚBEK¹, Vladimír MAJER¹, Imasiku NYAMBE²

¹ Česká geologická služba,

² University of Zambia, School of Mines, Geology Department, Lusaka, Zambia

BIOLOGICKÁ PŘÍSTUPNOST KOVŮ V PŮDÁCH KONTAMINOVANÝCH PŘI TĚŽBĚ A ZPRACOVÁNÍ OLOVĚNÝCH A ZINKOVÝCH RUD V KABWE (ZAMBIE)

Abstrakt. Půdy v oblasti města Kabwe v Centrální provincii Zambie jsou silně kontaminovány emisemi z místní olovené a zinkové hutě, která ukončila činnost v roce 1994. V současné době jsou zdrojem prašného spadu rozsáhlá uložiska strusek a odpadů po chemickém loužení rud. Bylo zjištěno, že plošný rozsah kontaminované půdy kadmiiem, olovem a zinkem přesahuje 200 km². Obsahy kadmia dosahují až 162 ppm, olova 40 692 ppm a zinku 67 886 ppm. Množství gastricky přístupných kovů vyjádřené v procentech celkového množství kovů v půdách stoupá v pořadí: Fe (3 %) → Cu (45 %) → Zn (58 %) → Pb (82 %) → Cd (100 %). Znamená to, že olovo i kadmium jsou velmi snadno vstřebávány žaludeční sliznicí. Množství kovů přístupných pro metabolismus rostlin vyjádřené v procentech celkového množství stoupá v řadě Fe (0,6 %) → Cu (17,6 %) → Zn (21,2 %) → Pb (33,8 %) → Cd (62 %).

METALS BIOAVAILABILITY IN SOILS CONTAMINATED FROM LEAD-ZINC MINING AND SMELTING IN THE KABWE AREA (ZAMBIA)

Summary. Soils in the Kabwe area, Central Province Zambia were highly polluted by emissions from a lead-zinc smelter. The smelter was closed in 1994. At present, main source of dusty fallout are large slag disposal site and old tailings after chemical leaching of ores. Area contaminated by cadmium, lead and zinc is larger than 200 km². Contents of Cd reach up to 162 ppm, Pb up to 40 692 ppm and Zn up to 67 886 ppm. Amount of gastric-available metals expressed in percent of total metal available in soils increases in the range: Fe (3 %) → Cu (45 %) → Zn (58 %) → Pb (82 %) → Cd (100 %). Therefore lead and cadmium are easily absorbed in human stomach. Amount of metals available to plants metabolism expressed in percent of total metal in soils is increasing in sequence: Fe (0,6 %) → Cu (17,6 %) → Zn (21,2 %) → Pb (33,8 %) → Cd (62 %).

1. Úvod

Město Kabwe, dříve nazvané Broken Hill, leží v Centrální provincii Zambie 140 km severně od hlavního města Lusaky (fig. 1A). Ložisko zinkových a olovených rud bylo objeveno v roce 1902 a za 88 let těžby z něj bylo získáno 12,3 Mt rudy s obsahy 25,2 % Zn a 10,7 % Pb (Hitzman et al., 2003; Kamona, Friedrich, 2007). V letech 1906 až 1994 byly rudy zpracovávány v místním úpravárenském komplexu, jehož součástí byla i pražírna rud a hut'. Emise z pražírny rud a z hutě byly v minulosti hlavním zdrojem kontaminace půd v oblasti Kabwe. Po ukončení těžby byly povrchové doly zatopeny, úpravárenský komplex byl demontován a rozprodán. V oblasti zůstaly rozsáhlé haldy a odkaliště, které jsou v současné době největším zdrojem znečištění povrchových půd těžkými kovy.

Podle klasifikace FAO/UNESCO (1997) lze půdy v oblasti Kabwe označit jako akrisoly, v menší míře se vyskytují podzoly a v oblastech močálů (dambos) jílovité vertisoly.

Práce vznikla jako součást projektu rozvojové spolupráce v Zambii „Řešení dopadů vlivu těžby a zpracování rud na životní prostředí a zdraví obyvatel ve vybraných oblastech centrální provincie a provincie Copperbelt v letech 2008 – 2010“. Cílem projektu v roce 2008 bylo posouzení stupně kontaminace půd, vegetace a řečištních sedimentů v oblasti Kabwe.

2. Použité metody terénních a laboratorních prací

V rámci terénních prací byly odebírány vzorky povrchové vrstvy půd podle předem stanoveného schématu z hloubky 0 až 3 cm. Pro srovnání byly na vybraných lokalitách vzorky půd odebírané pedologickou sondou i z hloubky 70–80 cm. Výběr odběrových míst hlubší části půdního profilu byl proveden na základě geologické stavby území tak, aby byly v co největší míře zachyceny typy půd vyvinuté na různých geologických formacích. Odebrané vzorky půd byly síťovány na sítěch s okem 2 mm.

Celkové obsahy kovů ve všech pevných vzorcích byly stanoveny rentgen-fluorescenční analýzou (RFA). Pro stanovení byl použit rentgen-fluorescenční spektrometr ALPHA. Přístroj umožňuje stanovení obsahů 22 prvků včetně As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb a Zn. Měření byla prováděna na suchých homogenizovaných vzorcích v měřicím módu zeminy. Měření probíhalo po dobu 2 minut.

2.1. Biologicky přístupné obsahy kovů ve vzorcích

U vybraného počtu povrchových půdních vzorků byly stanoveny celkové obsahy As, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Pb a Zn metodou plamenové atomové adsorpční spektrometrie (FAAS) po extrakci roztokem aqua regia. Následně byly tyto vzorky louženy v okyseleném glycinu. Glycin okyselený HCl navozuje podmínky v žaludku (Rieuwerts et al., 1999). Dále byly tyto vzorky půd louženy v roztoku kyseliny diethylentriaminpentaoctové. (DTPA). Výluh do DTPA je používán pro stanovení té části kovů v zemině, která je přístupna výživě rostlin (Lottermoser et al., 2008).

3. Výsledky

3.1. Regionální geochemicko-environmentální mapování

Regionálně-geochemickým mapováním bylo zjištěno, že plocha silně kontaminovaných půd přesahuje 200 km². Celkové obsahy As v půdách se pohybují od 8 do 641 ppm, Cd od 6,6 do 162 ppm, Co od 54 do 1 636 ppm, Cr od 79 do 293 ppm, Cu od 16 do 7 121 ppm, Fe od 0,15 do 21,6 %, Pb od 10 do 40 692 ppm a Zn od 7 – 67 886 ppm. Jako příklad je uvedena plošná distribuce Pb v mapovaném území na fig. 1B. Z obrázku vyplývá, že kontaminovaná oblast je položena ve směru převládajících větrů.

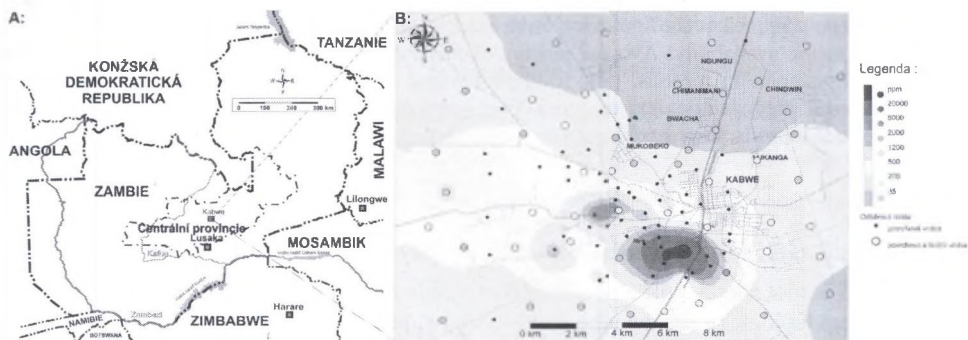


Fig. 1. (A): Mapa Zambie, s lokalizací Kabwe a studovaným územím; (B): Izoliniová mapa koncentrací Pb v povrchové vrstvě půd a bodová mapa koncentrací Pb ve hlubší vrstvě půd s lokalizací odběrových míst

Fig. 1. (A): Map of Zambia with location of the Kabwe area (Central Province); (B): Contour map of lead concentrations in topsoils and classed points in deeper horizon wit localization of sampling points

3.2. Biologicky přístupné množství kovů

Největší množství kovů se uvolňuje při extrakci okyseleným roztokem glycinu. Množství kovů, které je uvolňováno při tomto testu, stoupá v pořadí: Fe → As → Cu → Mn → Zn → Pb → Cd (fig. 2A). Znamená to, že olovo a kadmium představují při polykání prašných částic nebo při konzumaci nemyté zeleniny největší zdravotní riziko. Výsledky extrakce do roztoku DTPA ukazují, že pro metabolismus rostlin je velmi dobře přístupné kadmium a olovo. Je tedy pravděpodobné, že se tyto dva kovy budou nejvíce hromadit v rostlinné hmotě. Jak vyplývá z výsledků analýz, množství kovů extrahovatelných do roztoku DTPA stoupá v pořadí: Fe → As → Co → Mn → Cu → Zn → Pb → Cd (fig. 2B). Testy gastrické přístupnosti i extrakce kontaminovaných půd do roztoku DTPA tak indikují vysokou biologickou přístupnost olova, hlavního kontaminantu v oblasti Kabwe, pro lidské organismy a pro metabolismus rostlin.

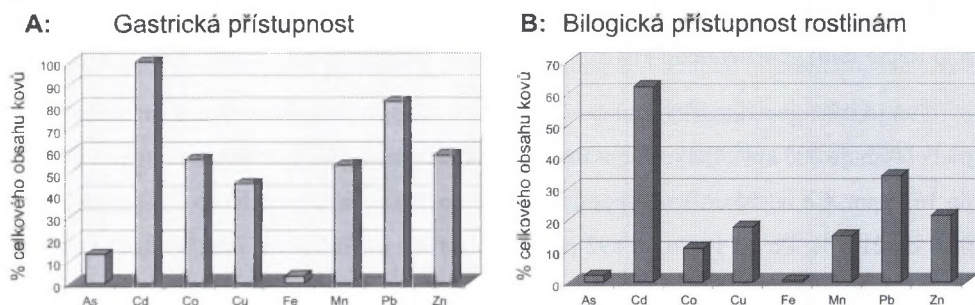


Fig. 2. (A): Gastrická přístupnost: Průměrné množství kovů ve výluhu glycin + HCl z vybraných vzorků z povrchové vrstvy půd. (B): Biologická přístupnost rostlin: Průměrné množství kovů ve výluhu kyseliny diethylentriaminpentaoctové z vybraných vzorků z povrchové vrstvy půd. Vyjádřeno v % „celkového“ množství kovu extrahovaného roztokem aqua regia

Fig. 2. (A): Gastric availability: Average amount of metals extracted in glycine + HCl mixture from selected samples in topsoils. (B): Biological plants availability: Average amount of metals extracted in diethylentriaminpentaoctan (Chelaton 5 and trethanolamine mixture) from selected samples in topsoils. Expressed in percent from whole amount of metal in aqua regia solution

3.3. Experimentální snížení množství kovů přístupných pro metabolismus rostlin

Pro snížení biologicky přístupného množství kovů je možné použít různé druhy materiálů, například fosfáty, apatit, bentonity, zeolity, nebo huminové látky (Chen et al. 1997). Použití těchto materiálů je finančně a technicky nenáročné. V oblasti Kabwe byla experimentálně testována možnost snížení biologické přístupnosti toxických kovů pro rostliny přidávkem nasyceného roztoku superfosfátu nebo roztoku huminových látek. Před vlastním

experimentem byly vzorky půd nasyceny kalcium přidáním vápenné vody. Následně byly vzorky půd smíchány s roztokem superfosfátu, huminových látek nebo směsí roztoků superfosfátu a huminových látek. Experiment byl proveden na dvou nejvíce kontaminovaných vzorcích. Výsledky experimentu ukazují, že huminové látky nesnižují výrazně množství kovů, které jsou v půdách přístupné pro rostlinný metabolismus (tab. 1). Na rozdíl od toho přidáním fosfátu se výrazně snižuje biologická přístupnost kovů pro metabolismus rostlin (ve výluhu DTPA).

Tabulka 1

Průměrné biologicky přístupné obsahy kovů ve vzorcích analyzovány po extrakci v roztoku DTPA po přidání příměsí superfosfátu, huminových látek a směsí superfosfátu a huminových látek

Neupravený vzorek	Vzorek + superfosfát	Vzorek + huminové látky	Vzorek + směs superfosfátu a huminových látek
15,05	9,20	15,35	9,30
2 758,00	1 062,50	2 661,00	1 116,00
1 969,50	1 870,50	1 903,00	1 779,50

4. Závěr

Průmyslová oblast Kabwe byla v minulosti silně postižena těžbou a úpravou rud, zejména prašnými emisemi z bývalé olovené a zinkové hutě na ploše přesahující 200 km². Obsahy arsenu dosahují až 641 ppm, kadmia 162 ppm, kobaltu 1 636 ppm, mědi 7 121 ppm, železa 215 957 ppm, olova 40 692 ppm a zinku 67 886 ppm. Množství gastricky přístupných kovů vyjádřené v procentech celkového množství kovů v půdách stoupá v pořadí: Fe (3 %) → Cu (45 %) → Zn (58 %) → Pb (82 %) → Cd (100 %). Množství kovů přístupných pro metabolismus rostlin vyjádřené v procentech celkového množství stoupá v řadě Fe (0,6 %) → Cu (17,6 %) → Zn (21,2 %) → Pb (33,8 %) → Cd (62 %). Znamená to, že olovo i kadmium jsou velmi snadno vstřebávány jak žaludeční sliznicí, tak kořeny rostlin. Množství Pb a Cd, které je přístupné pro metabolismus rostlin je možno snížit přidavkem roztoku superfosfátu.

Poděkování

Práce byla provedena za finančního přispění projektu MŽP ČR rozvojové spolupráce v Zambii (Řešení dopadů vlivu těžby a zpracování rud na životní prostředí a zdraví obyvatel ve vybraných oblastech centrální provincie a provincie Copperbelt v letech 2008 – 2010) a interního projektu ČGS č. 327400 (Rozvoj metodiky terénní rentgenfluorescenční spektrometrie pro potřeby geologických a environmentálních oborů).

LITERATURA

1. Hizman M.W., Reynolds N.A., Sangster D.F., Allen C.R., Carman C. E.: Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposits. – *Economic Geology*, 98, 2003, p. 685 – 714.
2. FAO-UNESCO: Soil map of the world 1:500 000. Volume VI. Africa. – UNESCO, Paris 1997.
3. Chen X., Wrigth, J.V., Conca J.L., Peurrung L.M.: Evaluation of heavy metal remediation using mineral apatite. – *Water, Air and Soil Pollution* 98, 1997, p. 57–78.
4. Kamona A.F., Friedrich G.H.: Geology, mineralogy and stable isotope geochemistry of the Kabwe carbonate-hosted Pb–Zn deposit, Central Zambia. *Ore Geology Reviews*, 30, 2007, p. 217 – 243.
5. Lottermoser B.G., Ashley P.M., Munksgaard N.C.: Biogeochemistry of Pb-Zn gossans, northwest Queensland, Australia: Implications for mineral exploration and mine site rehabilitation. – *Applied Geochemistry*, 23, 2008, p. 723 – 742.
6. Rieuwerts J.S., Farago M.E., Cikrt M., Bencko V.: Differences in lead bioavailability between a smelting and mining area. – *Water, Air Soil Pollution*, 122, 1999, p. 203 – 229.

Recenzent: Doc. Ing. Vladimír Lapčík, CSc., HGF, VŠB-TU OSTRAVA