KADMIUM AKO TOXICKÝ PRVOK

TOXICITY OF CADMIUM

Jana Dadová

RNDr. Jana Dadová, PhD., Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Fakulta prírodných vied, Katedra životného prostredia, Tajovského 40, 974 01 Banská Bystrica, email: Jana.Dadova@umb.sk

Abstrakt*:* Kadmium je chemický prvok s protónovým číslom 48. Je to mäkký kov modro-bielej farby s podobnými vlastnosťami ako zinok, avšak so silnejšou afinitou k síre. Priemerná koncentrácia kadmia v zemskej kôre kolíše od 0,1 po 0,5 ppm. Kadmium sa najčastejšie vyskytuje ako prímes v sfalerite (ZnS) a preto sa získava ako vedľajší produkt pri hutníckom spracovaní sfaleritovej rudy. Kadmium sa získava zo zinkovej rudy a využíva sa hlavne v Ni/Cd batériách. Kadmium je toxické a nebezpečné pre rastliny i pre zvieratá. Kontaminácia humánnej populácie môže byť dôsledkom spaľovania fosílnych palív, používania fosfátových hnojív, výroby ocele, železa, neželezných kovov, cementu (a súvisiacich aktivít) a spopoľňovania odpadu. Fajčenie patrí medzi najvýznamnejšie individuálne zdroje kontaminácie organizmu kadmiom. Kontaminácia organizmu kadmiom v dôsledku fajčenia zvyšuje pravdepodobnosť vzniku arteriosklerózy, vysokého krvného tlaku a prispieva tak ku vzniku kardiovaskulárnych chorôb.

Kľúčové slová: Sulfidy, výskyt, výroba, využitie, toxicita, rastliny, zdravie.

Abstract: Cadmium is a chemical element with atomic number 48. It is a soft, bluish-white metal is chemically similar to the zinc but has stronger afinity to sulphur as zinc. The average concentration of cadmium in the Earth's crust is between 0.1 and 0.5 ppm. Cadmium occurs mostly as a minor component in zinc ore sphalerite (ZnS) and therefore is a byproduct of zinc production.Cadmium is isolated from the zinc metal and is used mainly in Ni/Cd batteries. Cadmium is toxic and therefore dangerous both for plants and for animals. Human exposures to environmental cadmium are primarily the result of fossil fuel combustion, phosphate fertilizers, natural sources, iron and steel production, cement production and related activities, nonferrous metals production, and municipal solid waste incineration. Tobacco smoking is the most important single source of cadmium exposure in the general population. Cadmium exposure is a risk factor associated with early atherosclerosis and hypertension, which can both lead to cardiovascular disease.

Key words: Sulphide, occurrence, production, exploitation, toxicity, plants, health.

Úvod

Kadmium objavil v sfalerite Friedrich Stromeyer roku 1817. Prvok bol pomenovaný v tej dobe už nepoužívaným označením pre zinok „*cadmium*“. Tento názov je odvodený od gréckeho označenia zinkovej rudy kalamín – *kadmeia* (Šejbl, 1990). Kadmium má protónové číslo 48. Existuje 8 prírodných izotopov kadmia, pričom izotopy ^{110}Cd a ^{111}Cd a ^{112}Cd sú stabilné. Najvyšší podiel v prírode majú izotopy ^{114}Cd (28,72 %) a ^{112}Cd (24,13 %). Umelo bolo pripravených ďalších 26 nestabilných izotopov (^{97}Cd až ^{130}Cd; Greenwood, Earnshaw, 1990). Merná hmotnosť (hustota) Cd je 8650 kg.m^{-3} (Kašpar, Přistoupil, 1954 in Šejbl, 1990).

Je to relatívne vzácny, mäkký, modrobiely prechodný kov, nerozpustný vo vode (Greenwood, Earnshaw, 1990). Kadmium sa v elementárnej forme v prírode nevyskytuje. Jeho klark pre granity je 0.1 ppm, pre sedimenty 0.035 a pre pôdy 0,1 až 0,5 ppm (Rose et al., 1979). Má výraznejší chalkofilný charakter ako zinok, ktorý ho sprevádza takmer vo všetkých prostrediach. Prednostne sa koncentruje v pomagmatickej etape (Polański, Smulikowski, 1978). Pri zahrievaní vo vákuu sublimuje už pri teplote 164 °C, pri zahrievaní za zvýšenej teploty na vzduchu zhorí žltohnedým až červeným plameňom na oxid CdO (Šejbl, 1990).

Tvorí celý rad binárnych i komplexných zlúčenín, v ktorých sa vždy vyskytuje v oxidačnom stupni 2+. Kvalitatívny dôkaz kadmia v roztoku je možné uskutočniť sulfidom amónnym $(NH_4)_2S$, prítomnosť kademnatých iónov sa prejaví vznikom sýtožltej zrazeniny sulfidu kademnatého CdS. Zaujímavé je chovanie Cd v roztokoch zlúčenín Au, ako jediný neušľachtilý kov neredukuje zlato v elementárnej forme, ale vo forme intermetalickej zlúčeniny Cd_3Au (Greenwood, Earnshaw, 1990).

Dobre sa viaže na sírové donory ako cisteín, ako aj na aminokyseliny, karboxylové kyseliny, polysacharidy a organické znečisťujúce látky.

V laboratórnych podmienkach s dusíkom a vodíkom nereaguje, ale ľahko sa rozpúšťa v kyselinách, pričom väčšina rozpustných zlúčenín kadmia je silne jedovatá. V ovzduší kyslíka horí jasným červeným plameňom za vzniku hnedého oxidu kademnatého CdO (Moore, Ramamoorthy, 1984). Pri vyšších teplotách reaguje s halogénmi (Greenwood, Earnshaw, 1990).

Výskyt v prírode

Hlavná časť kadmia sa koncentruje spolu so zinkom predovšetkým v mezotermálnych a teletermálnych hydrotermálnych ložiskách. Lokálne pri zvetrávaní vznikajú v oxidačnej zóne ložísk zinkových rúd samostatné minerály kadmia, napríklad kadmoselit CdSe alebo hawleyit CdS. Vzhľadom na chemickú príbuznosť sa Cd vyskytuje predovšetkým v polymetalických Pb-Zn-Cu rudách v sfalerite (ZnS), v ktorého štruktúre zastupuje Zn v pomere 1:1000 až 1:100. Kadmium má voči zinku výraznejší chalkofilný charakter a v kyslom prostredí vykazuje vyššiu mobilitu ako Zn (Donelly, 1996). Vlastné minerály tvorí len veľmi vzácne: barquillit $Cu_2(Cd,Fe)GeS$, andyrobertsit $KCdCu_5(AsO_4)_4[As(OH)_2O_2]\cdot H_2O$, goldquarryit $CuCd_2Al_3(PO_4)_4F_2(H_2O)_{10}(H_2O)$, černýit Cu_2CdSnS_4, keyit $(Cu,Zn,Cd)_3(AsO_4)$, kvadratit $Ag(Cd,Pb)(As,Sb)S$, greenockit CdS, manganeseshadlunit $(Mn,Pb,Cd)(Cu,Fe)_8S$, niedermayrit $Cu_4Cd(SO_4)_2(OH)_6\cdot 4H_2O$ či šadlunit

$(Pb,Cd)(Fe,Cu)_8S$. Spomedzi týchto minerálov majú najvyšší obsah Cd (87,54 %) a monteponit (Hurlbut, Edwin Sharp, 1998). Vysokým obsahom Cd sa vyznačuje aj polymorfná modifikácia sfaleritu – wurtzit [(Zn,Fe)S] (Polański, Smulikowski, 1978).

V procese zvetrávania sulfidických rúd ľahko prechádza do roztoku a vytvára kation Cd^{2+} alebo komplexné ióny [napr. $(CdCl)^+$, $(CdOH)^+$] a organické cheláty. V supergénnych

podmienkach sa môže počas migrácie od Zn oddeliť. Sulfid kadmia sa oxiduje pomalšie ako síran a sulfid zinku. Preto sa Cd niekedy zo sfaleritu uvoľňuje v podobe žltých náletov a povlakov greenockitu (CdS). V povrchovej zóne sulfidických ložísk vstupuje hlavná časť Cd ako prímes do sekundárne sa tvoriacich uhličitanov Zn, predovšetkým smithsonitu $ZnCO_3$. V podmienkach silnej oxidácie má tendenciu formovať minerály monteponit CdO a otavit $CdCO_3$ (Polański, Smulikowski, 1978), ako je tomu na ložisku Tsumeb v juhozápadnej Afrike (Smirnov, 1956).

V životnom prostredí sa kadmium najčastejšie vyskytuje vo forme Cd^{2+} (Polański, Smulikowski, 1978). Jeho značná časť v pôdach pochádza zo superfosfátov, predovšetkým severoafrickej proveniencie, v ktorých sú opísané obsahy až 31 $g.kg^{-1}$ Cd. Najmobilnejšie je v kyslých pôdach s rozpätím hodnôt pH 4,5-5,5, v alkalických pôdach je výrazne imobilné (Polanski, Smulikowski, 1978; Kabata-Pendias, Pendias, 2000). Za obdobie rokov 1980-1990 sa do každého hektára ornej pôdy vpravilo 52,5 g Cd (Valenta, 1980). Prítomnosť karbonátov a síranov v pôdnom roztoku môže iniciovať úplnú precipitáciu (imobilizáciu) Cd. (Kabata-Pendias, Pendias, 2000) Pri extrémne vysokej koncentrácii kadmia môže dochádzať k precipitácii Cd-fosforečnanov a Cd-karbonátov. Naopak, chloridové ióny zvyšujú pohyblivosť Cd v pôde a zvyšujú podiel Cd viazaného na ílové minerály (hlavne na montmorillonit). S humínovými kyselinami tvorí Cd komplexy, ktoré sú však menej stabilné ako komplexy týchto kyselín s Cu a Pb (Fergusson, 1990; Alloway, 1995; Alloway, Ayres, 1993).

V prírodnej vode sa z rozpustných foriem Cu vyskytuje jednoduchý hydratovaný ión Cu^{2+}, uhličitanové komplexy $[CuCO_3(aq)]^0$, $[Cu(CO_3)_2]^{2-}$ a hydrokomplexy [CuOH], $[Cu(OH)_2(aq)]^0$, $[Cu(OH)]^{3-}$ a $[Cu(OH)_4]^{2-}$. S amoniakom tvorí Cu aminokomplexy. V povrchových vodách je v rozmedzí pH 6,5 až 8,5 a pri koncentrácii CO_2 až 5 $mol.L^{-1}$ rozpustnosť Cu limitovaná len rozpustnosťou $Cu(OH)_2$. Rozpustné Cd sa vo vodách vyskytuje ako jednoduchý hydratovaný ión
Cd^{2+}, vo forme anorganických komplexov $[CdOH]^+$, $[Cd(OH)_2(aq)]^0$, $[Cd(OH)_3]^-$, $[CdCO_3(aq)]^0$, $[Cd(CO_3)_2]^{2-}$, $[CdSO_4]^0$ a vo forme organických komplexov s rôznymi organickými ligandmi (Pitter, 1990). Pri identickej koncentrácii Cd, Pb, Mn, Zn a Co v pôde, ich obsah v pletivách rastlín so vzrastajúcou hodnotou pH klesá (Lagerwerff, 1971).

Výroba a využitie

Spotreba kadmia v celosvetovom meradle stále vzrastá (Obr 1). Celosvetová ročná produkcia dosahovala (roku 2012) 23 kt. Najvýznamnejšími producentmi sú Čína (7 kt), Južná Kórea (4,1 kt), Japonsko (2,1 kt), Kazachstan a Mexiko, v Európe Holandsko (580 ton Cd ročne), Poľsko (450 ton Cd) a Bulharsko (440 ton Cd). Celosvetové zásoby kadmia sa odhadujú na 500 kt čistého kovu.

Základnou surovinou na výrobu kadmia sú odpadové produkty po výrobe zinku. Pri tavení minerálov zinku (sfaleritu ZnS a smithsonitu $ZnCO_3$) sa vyzráža vo forme sulfidu Cd, z ktorých sa kadmium získava dvomi základnými postupmi. Pri mokrom postupe sa využíva lúženie kyselinou sírovou. Pri lúžení prejde kadmium do roztoku ako rozpustný síran kademnatý. Hlavné znečisťujúce prímesi, Pb a Cu, zostávajú v nerozpustnom zvyšku. Z roztoku je potom kadmium vyredukované práškovým zinkom vo forme Cd-huby. Táto sa po premytí znovu rozpustí v kyseline sírovej a Cd sa z roztoku vylúči elektolyticky. Elektrolytické kadmium sa vyrába o čistote až 99,95 % (Tolcin, 2013



Obr 1 Svetová produkcia kadmia (*Zdroj*: internet, 2012)

Fig 1 World production of cadmium

Druhou možnosťou výroby kadmia je frakčná destilácia, ktorá sa uskutočňuje v liatinových retortách pri teplote 600-800 °C. Následne sa kondenzát s obsahom Cd v redukčnom prostredí ešte druhý raz destiluje. Produktom destilácie je surové kadmium. Jeho rafinovanie na čistotu 99,5 % sa realizuje pretavovaním pod vrstvou hydroxidu sodného.

Kovové Cd sa využíva hlavne v metalurgickom priemysle pri výrobe rôznych nízkotaviteľných zliatín, napr. Woodovho kovu (Šejbl, 1990a). Používa sa aj k pokovovaniu iných kovov proti korózii, na výrobu ložiskových kovov s nízkym koeficientom trenia, pájok a predovšetkým na výrobu Ni/Cd elektrických akumulátorov (Reimann, de Caritat, 1998). Zlúčeniny kadmia sa používajú na výrobu modrých a zelených luminoforov do CRT obrazoviek, sulfid kademnatý CdS (kadmiová žlť) sa používa ako žltý pigment (Tolcin, 2013).

Kadmium ako toxický prvok

Kadmium do životného prostredia preniká z prírodných zdrojov, ale jeho množstvo neustále rastie predovšetkým v dôsledku antropickej činnosti. Najviac Cd emituje oceliarsky priemysel,

spaľovanie odpadov, vulkanická aktivita, výroba zinku, spaľovanie komunálneho odpadu, fosílnych palív, pohonných hmôt a olejov (Palúchová, 1997; Uhrínová, Buchancová, 2007). V poľnohospodárstve je pôda znečisťovaná kadmiom v dôsledku jej hnojenia fosfátovými hnojivami, resp. čistiarenskými kalmi. Ďalšími možnými zdrojmi Cd, zapríčiňujúcimi kontamináciu krajiny, sú odpadové kaly a banský priemysel (Alloway, 1995; Šejbl, 1990a; Frankovská et al.,2010).

Kontaminácia rastlín

Kadmium nepatrí k esenciálnym prvkom a pri prekročení limitnej koncentrácie pôsobí toxicky. Rastliny vykazujú veľkú schopnosť akumulovať Cd vo svojich pletivách (Melicherčík, Melicherčíková, 2010). Menšia časť Cd v rastlinách pochádza z atmosféry a do rastlinných tiel vstupuje listami (Hovmand et al., 1983). Tabak je schopný transportovať až 75-80% prijatého kadmia do svojich listov (Mench et al., 1989). Mak a huby znižujú koncentráciu kadmia v pôde (Šejbl, 1990a; Melicherčík, Melicherčíková, 2010).

Rastliny prijímajú Cd predovšetkým koreňmi (Haghiri, 1973), a to vo forme Cd^{2+} (Greger, Lindberg, 1986) difúziou v dôsledku chelatácie kovu organickými kyselinami,

vylučovanými koreňovým systémom rastliny (Mullis, Sommers, 1986). Príjem Cd z pôdy do rastlín neovplyvňuje iba druh rastliny a koncentrácia Cd v pôde, ale závisí aj od pôdnych vlastností, predovšetkým od pôdnej reakcie, tj. od pH. Najintenzívnejšie ho prijímajú rastliny z kyslých pôd, chudobných na Ca a humus. S klesajúcou hodnotou pH jeho rozpustnosť a teda aj biodostupnosť stúpa. Najvyššiu migračnú schopnosť vykazuje pri pH 4,5-5,5 (Makovníková et al., 2006). Pri pH nad 7,5 sa rozpustnosť Cd prudko klesá a jeho biodostupnosť sa stáva závislou na rozpustnosti $CdCO_3$ a $Cd_3(PO_4)_2$. Obsah Cd v pôde ovplyvňujú aj mikroorganizmy. Vysoká koncentrácia Cd má na mikroorganizmy inhibičný efekt a v dôsledku obmedzenia fixácie vzdušného N_2 negatívne vplýva na rast rastlín (Lagerwerff, 1971; Dercová et al., 2005). Najvyššie obsahy Cd v rastlinách sa zistili v koreňoch, nižšie sú v listoch a ešte nižšie v stonkách a plodoch. Najmenej Cd obsahujú obvykle semená (Haghiri, 1973).

Medzi najčastejšie uvádzané prejavy fytotoxicity Cd patria chloróza listov (Page et al., 1972), hnednutie koreňov (Imai, Siegel, 1973), znížená fotosyntetická aktivita pri zvýšení respiračných procesov, poškodenie membránových systémov (Makovníková et al., 2006), červenohnedé sfarbenie listovej žilnatiny (Uhrínová, Buchancová, 2007), tvorba fialovohnedých škvŕn na listoch (Weigel, Jáger, 1980; Alloway, 1991), ku ktorej dochádza asi v dôsledku zmeny metabolizmu fenolov (Barceló et al., 1986), chloróza a nekróza listov a celkový pokles biomasy (Makovníková et al., 2006), spôsobený opadávaním listov (Šejbl, 1990a). Nedostatok Cd spôsobuje zvýšenú tvorbu biomasy, kým vysoký obsah Cd spôsobuje neúmerný rast listov a koreňov, stagnovanie bunečného delenia a predlžovanie buniek (Fuhrer, 1983). Podľa Kafku a Punčochářovej (2002) majú niektoré rastliny schopnosť kumulovať kadmium oproti jeho koncentráciám v pôde až niekoľkonásobne (sója, pšenica, niektoré druhy zeleniny, tabak).

Kadmium je vysokotoxické, má tendenciu kumulovať sa v organizmoch (hlavne v obličkách, slezine, pohlavných orgánoch a pečeni; Virčíková, Pálfy, 1997) a niektoré vodné živočíchy usmrcuje už pri koncentráciách 0,1 $mg.L^{-1}$. Katión Cd^{2+} reaguje ľahko s fosfolipidmi a narušuje v bunke syntézu nukleových kyselín (Cibulka et al., 1986). Kontaminácia organizmu kadmiom zvyšuje krvný tlak a spôsobuje deštrukciu červených krviniek. Môže vyvolávať aj vznik rakoviny pľúc, krehnutie kostí až skrútenie celej kostry (Kafka, Punčochářová, 2002). Samci sú vo všeobecnosti citlivejší na intoxikáciu kadmiom ako samice (Talmage, Walton, 1991).

Kontaminácia živočíchov

Kadmium je vysokotoxické, má tendenciu kumulovať sa v organizmoch (hlavne v obličkách, slezine, pohlavných orgánoch a pečeni; Virčíková, Pálfy, 1997) a niektoré vodné živočíchy usmrcuje už pri koncentráciách 0,1 $mg.L^{-1}$. Katión Cd^{2+} reaguje ľahko s fosfolipidmi a narušuje v bunke syntézu nukleových kyselín (Cibulka et al., 1986). Kontaminácia organizmu kadmiom zvyšuje krvný tlak a spôsobuje deštrukciu červených krviniek. Môže vyvolávať aj vznik rakoviny pľúc, krehnutie kostí až skrútenie celej kostry (Kafka, Punčochářová, 2002). Samci sú vo všeobecnosti citlivejší na intoxikáciu kadmiom ako samice (Talmage, Walton, 1991).

Kadmium sa kumuluje predovšetkým v ľadvinách, pečeni a pankrease, menej vo svaloch, srdci, kostiach a mozgu (Talmage, Walton, 1991). Keď dosiahne koncentrácia Cd v pečeni prahovú hodnotu, vylučuje sa močom viazané na glutathion (Cherian, Vostal, 1977). Pri nízkych dávkach bývajú obsahy Cd v obličkách približne 10-násobne vyššie ako v pečeniach, avšak pri vysokých koncentráciách môžu obsahy v pečeni prevyšovať obsahy Cd v obličkách. Uvedené orgány majú schopnosť syntetizovať bielkovinu, takzvaný thionein s vysokou

afinitou ku kadmiu, ktorý s ním tvorí špecifický metalothionein. Vo všetkých tkanivách je Cd viazané práve na tento špecifický proteín, ktorého najvyššia hladina sa zistila v pečeni, obličkách a dvanástorníku (Šejbl, 1990a). V dôsledku toho dochádza k zadržaniu a akumulácii prevažnej časti Cd v tele. Kadmium viazané na túto bielkovinu je takto zneškodnené, pretože nemôže negatívne pôsobiť na vnútrobunečné organely a nemôže sa ani zapojiť do biochemických procesov. Toxicita Cd v organizme je tak v podstate daná množstvom Cd, ktoré nie je viazané v metalothioneine (Frieberg et al., 1974).

U ošípaných Pb a Cd atakuje obličky, obličkovú kôru a pečeň (Uthe et al., 1979). Pre ovce a kozy je otrava kadmiom nebezpečnejšia ako otrava olovom a ortuťou. Atakuje predovšetkým obličky (Rao et al., 1989). Obsahy Cd v organizme sa zvyšujú aj v prípade, že organizmy vykazujú nedostatok vápnika. Pri vylučovaní kadmia z organizmu má významnú úlohu žlč (Schenkel, Krehl, 1983).

Kontaminácia ľudského organizmu

Ľudský organizmus je voči kadmiu omnoho citlivejší ako rastliny (Melicherčík, Melicherčíková, 2010). Kadmium sa do ľudského organizmu dostáva inhalovaním a tráviacou sústavou. Maximálna koncentrácia Cd vo vode pre ľudskú spotrebu (pitná voda) je 0,005 $mg.dm^{-3}$ (Buchancová, 2003 in Melicherčík, Melicherčíková, 2010). Najvyššia prípustná koncentrácia Cd v potravinách je 0,02 mg $Cd.kg^{-1}$ sušiny. V našich podmienkach je táto norma často prekročená najmä v zemiakoch, v ktorých sú obsahy až 0,09 mg/kg a v tabakových výrobkoch. Priemerný príjem Cd potravou v SR predstavuje denne asi 60 ≒g. U fajčiarov je vyšší v priemere o ďalších 8 ≒g Cd (Valenta, 1980). V metabolizme dochádza u ľudí intoxikovaných kadmiom ku zmenám v bilancii vápnika, jeho zvýšenému vylučovaniu a v dôsledku toho k prejavom osteoporózy (Šejbl, 1990a). Postihnutí chudnú, pokašliavajú, trpia nespavosťou a tráviacimi ťažkosťami. Vyskytuje sa aj anémia, obmedzená sekrécia inzulínu, čo spôsobuje vyššiu hladinu sacharidov v krvi (Melicherčík, Melicherčíková, 2010). Väčšie dávky spôsobujú poškodenie obličiek, na zubnej sklovine postihnutého jedinca sa objavuje pigmentácia zlatistej farby (Vávra, 1995). Často sa objavuje nádcha, pocit sucha v ústach a v nose. V dôsledku toxického poškodenia obličiek objavujú sa poruchy vylučovania fosforu a vápnika, čo má vplyv na odvápnenie kostí, spôsobuje spomalený rast, ba až bolestivé skracovanie kostí. Frieberg et al. (1974) uvádza na základe celkového príjmu Cd ako kritickú koncentráciu 200 µg $Cd.g^{-1}$ hmotnosti obličkovej kôry. Inhalácia kadmia spôsobuje poškodenie pľúc. Niektoré zlúčeniny Cd ($CdCl_2$, CdO, $CdSO_4$, CdS) majú teratogénny a karcinogénny účinok. Kadmium môže predstavovať potenciálne rizikový faktor pre vznik rakoviny prsníka. Do plodu matky preniká len minimálne (Uhrínová, Buchancová, 2007). Akútne otravy kadmiom sa môžu prejaviť aj po dlhšom čase po expozícii. Znižovať toxické účinky kadmia v organizme pomáha selén, zinok, meď, železo, ale aj vysoké dávky vitamínu C. Špeciálne ochorenie spôsobené prítomnosťou kadmia vo vode bolo prvý raz opísané v Japonsku roku 1969 a pomenované „*itai-itai*" (Melicherčík, Melicherčíková, 1997).

Odporúčané smerné hodnoty Cd v ovzduší sú podľa WHO pre rurálnu oblasť 0,005 µg . m^{-3} a pre mestské a priemyselné zóny 0,010 µg . m^{-3}. Referenčná dávka RfD pre Cd v pitnej vode je 0,0005 $mg.kg^{-1}.deň^{-1}$, v potrave 0,001 mg $.kg^{-1}.deň^{-1}$ (Frankovská et al., 2010).

Literatúra

ALLOWAY, B.J. 1995. *Heavy metals in soils*. Glasgow : Blackie and Son Ltd. 339 s. ISBN-10: 021692698X..

ALLOWAY, B.J. – AYRES, D.C. 1993. Chemical principles of environmental pollution. *Blackie academic and professional*. London. 290 s.

BARCELÓ, J. – POSCHENRIEDER, CH. – ANDREU, I. – GUNSE, B. 1986. Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris L.* cv. Contender) I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *Journal of Plant Physiology*, 125, s. 17-25. ISSN 0176-1617. (Barceló et al., 1986)

CIBULKA, J. – MADER, P. – SOVA, Z. 1986. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v zemědelské výrobě a biosféře*. MZVž ČSR (SZN). 160 s. (Cibulka et al., 1986)

DERCOVÁ, K. – MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – ŽUFFA, J. 2005. Bioremediácia toxických kovov kontaminujúcich vody a pôdy. *Chemické listy*, 99, s. 682-693. ISSN 1213-7103. (Dercová et al., 2005)

DONELLY, P.J. 1996. *Cadmium compounds as stabilizers for PVC, in Sources of cadmium in environment*. OECD

Cadmium Workshop, Saltsjöbaden, Sweden, October 16-20, 1995. Proceedings: Brussels, Belgium, European Commission, s. 276-280.

FERGUSSON, J.E. 1990. *The heavy metals, chemistry*. *Environmental impact and health effect*. New Zealand : Pergamon Press. 614 s. ISBN 3-936028-05-2.

FRANKOVSKÁ, J., KORDÍK, J., SLANINKA, I., JURKOVIČ, Ľ., GREIF, V., ŠOTTNÍK, P., DANANAJ, I.,

MIKITA, S., DERCOVÁ, K., JÁNOVÁ, V. 2010. *Atlas sanačných metód environmentálnych záťaží*. Bratislava. 360 s. ISBN 978-80-89343-38-6. (Frankovská et al., 2010)

FRIEBERG, L. – PISCATOR, M. – NORDBERG, G.-- KJELLSTRÖM, T. 1974. *Cadmium in the environment*. Cleveland : Chemical Rubber Company Press. 248 s. ISBN 087819018X. (Frieberg et al., 1974)

FUHRER, J. 1983. Early Effects of Excess Cadmium Uptake in Phaseolus vulgaris. *Plant Cell Environ*., roč. 5, s. 263-270. ISSN 1365-3040.

GREENWOOD, N.N. – EARNSHAW, A. 1990. *Chemie der Elemente*. Würzburg. 1707 s. ISBN 3-527-26169-9.

GREGER, M. – LINDBERG, S. 1986. Effects of $Cd2^{2+}$ and EDTA on young sugar beets (Beta vulgaris) I. Cd^{2+} uptake and sugar accumulations. *Physiol. Planta*, roč. 66, s. 69-74. ISSN 0300-5127.

HAGHIRI, F. 1973. Cd uptake by plants. *Journal of Environmental Quality*, 2, s. 93-96. ISSN 0047-2425.

HOVMAND, M.F. – TJELL, J.C. – MOSBAEK, H. 1983. Plant uptake of airborne cadmium. *Environmental Pollution*, roč. 30, s. 27-38. ISSN 0269-7491. (Hovmand et al., 1983)

HURLBUT, C.S. – EDWIN SHARP, W. 1998. *Dana's Minerals and How to Study Them*. New York : John Wiley & Sons, Inc. 328 s. ISBN 0-8155-1437-9.

CHERIAN, M.G. – VOSTAL, J.J. 1977. Biliary excretion of cadmium in rat. I. Dose-dependent biliary excretion and the form of cadmium in the bile. *Journal of Toxicology and Environm. Health*, 2, 945. ISSN 1528-7394.

IMAI, I. – SIEGEL, S.M. 1973. A specific response to toxic cadmium levels in red kidney bean embryos. *Physiol. Planta*, roč. 29, s. 118-120. ISSN 0300-5127.

KABATA-PENDIAS, A. – PENDIAS, H. 2000. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press. Florida : Boca Ratón, EEUU. 432 s. ISBN 978-0-8493-1575-6.

KAFKA, Z. – PUNČOCHÁŘOVÁ, J. 2002. Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy*, roč. 96, s. 611-617. ISSN 1213-7103.

LAGERWERFF, J.V. 1971. Uptake of Cd, Pb and Zn by radish from soil and air. *Soil Science*, roč. 111, č. 2, s. 129-133. ISSN 1522-2624.MAKOVNÍKOVÁ, J. – BARANČÍKOVÁ, G. – DLAPA, P. – DERCOVÁ, K. 2006. Anorganické kontaminanty v pôdnom ekosystéme. *Chemické listy*, 100, s. 424-432. ISSN 1213-7103. (Makovníková et al., 2006)

MELICHERČÍK, M. – MELICHERČÍKOVÁ, D. 1997. *Bioanorganická chémia – Chemické prvky a ľudský organizmus*. Bratislava : Príroda. 188 s.

MELICHERČÍK, M. – MELICHERČÍKOVÁ, D. 2010. *Vplyv prostredia a účinky látok na ľudský organizmus*. Banská Bystrica : Univerzita Mateja Bela. 345 s. ISBN 978-80-557-0005-2.

MENCH, M. – TANCOGNE, J. – GOMEZ, A. – JUSTE C. 1989. Cadmium bioavailability to Nicotiana tabacum l., Nicotiana rustica L. and Zea mays L. grown in soil amended or not amended with cadmium nitrate. *Biology and Fertility of Soils*, roč. 8, s. 48-53. ISSN 1432-0789. (Mench et al., 1989)

MOORE, J.W. – RAMAMOORTHY, S. 1984. *Heavy metals in natural waters – Applied monitoring and impact assesment*. New York : Springer. 268 s. ISBN 1461297397.

MULLIS, G. L. – SOMMERS, L. E. 1986. Characterization cadmium and zinc in four soils treated with sewage sludge.*Journal of Environmental Quality*, roč. 15, č. 4, s. 382-387. ISSN 0047-2425.

PAGE, A.L. – BINGHAM, F.T. – NELSON, C. 1972. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *Journal of Environmental Quality*, 1, s. 288-291. ISSN 0047-2425. (Page et al., 1972)

PALÚCHOVÁ, K. 1997. Vplyv kovov na ekosystém. *Enviromagazín*, roč. 2, č. 2, s. 20-21. ISSN 1335-1877. PITTER, P. 1990. *Hydrochemie*. Praha : STNL. 568 s. ISBN 80-03-00525-6.

POLAŃSKI, A. – SMULIKOWSKI, K. 1978. *Geochémia*. Bratislava : Slovenské pedagogické nakladateľstvo. 607 s.

RAO, V.P. – JORDAN, S.A. – BHATNAGAR, M.K. 1989. Combined nephrotoxity of methylmercury, lead and cadmium in pekin ducks: Metallothionein, metal interaction, and histopathology. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, Part A., roč. 26, s. 327-348. ISSN 1528-7394. (Rao et al., 1989)

REIMANN, C. – DE CARITAT, P. 1998. Chemical elements in the environment. Fact sheets for the geochemist and environmental scientist. Berlin : Springer. 314 s. ISBN 3-540 63670-6.

ROSE, A.W. – HAWKES, H.E. – WEBB, J.S. 1979. *Geochemistry in mineral exploration*. London-New York-Toronto-Sydney-San Francisco : Academic press. 657 s. ISBN 0-12-596250-9. (Rose et al., 1979)

SCHENKEL, H. – KREHL, B. 1983. The concentration of some trace elements in bile of farm animals. *Analytical Chemistry in Medicine and Biology*, 2, s. 263-270.

SMIRNOV, S.S. 1956. *Oxydační pásmo sulfidických ložisek*. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd. 304 s.

Svetová produkcia kadmia. [Online]. [Cit. 2012-10-12]. Dostupné na internete: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Cadmium_-_worldproduktion_trend.svg>.

ŠEJBL, J. 1990. Poškození zdraví kadmiem. I. Výskyt kadmia. *Rudy*, 2, 38, s. 39-42. ISSN 0483-5093.

ŠEJBL, J. 1990a. Poškození zdraví kadmiem. II. Kadmium v pracovním a životním prostředí. *Rudy*, 4, 38, s. 87-92. ISSN 0483-5093.

TALMAGE, S.S. – WALTON, B.T. 1991. Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, roč. 119, s. 48-99. ISSN 1432-0703.

TOLCIN, A. 2013. Cadmium. In *U.S. Geological Survey*. Mineral Commodity Summaries, s. 36-37. ISSN 0160-5151.

UHRÍNOVÁ, K. – BUCHANCOVÁ, J. 2007. Kadmium, čo o ňom (ne)vieme. *Slovenský lekár*, november-december 2007, s. 268-274. ISSN 1335-0234.

UTHE, J.F. – PROCTOR, B.G. – CHOU, C.L. 1979. The distribution of cadmium chloride in pigs dosed intramusculary for twelve weeks. *Journal of Environmental Science and Health*, Part A, A14, 2, s. 111-115. ISSN 1093-4529. (Uthe et al., 1979)

VALENTA, V. 1980. Toxické kovy a my – Cd. *Uhlie – Rudy*, 4, s. 168-169.

VÁVRA, J. 1995. Nebezpečné chemické látky. *Bezpečnosť a hygiena práce,* roč. 45, č. 11, s. 309-310. ISBN 80-86395-20-0.

VIRČÍKOVÁ, E. – PÁLFY, P. 1997. Prehľad technológií zneškodňovania nebezpečných odpadov s obsahom arzénu, kadmia a ortuti. *Aktuálne ekologické otázky E 97. Nebezpečné odpady*. Košice : BIJO Slovensko, s. 87-103.

WEIGEL, H.J. – JÁGER, H.J. 1980. Subcellular distribution and chemical form of Cd in bean plants. *Plant Physiology*, 119, s. 179-189. ISSN 0032-0889.