



Možnosti využitia zeolitov v ochrane zložiek životného prostredia

Terézia Szabová¹, Milan Búgel¹ a Marcela Leščinská¹

The possibilities of utilizing natural zeolites in the environmental protection

The natural zeolites have been known as the material of a wide spectrum of applicability in different branches of national economy. As naturally occurring aluminosilicate minerals of specific crystal structure they possess significant properties. In the paper possibilities of the natural zeolites utilization in the environment protection are introduced.

Key words: natural zeolites, heavy metal, environment protection.

Úvod

Pod vplyvom hospodárskej činnosti človeka prebieha kontaminácia prostredia rôznymi chemickými látkami, používanými na intenzifikáciu poľnohospodárskej činnosti, tuhými, kvapalnými a plynými odpadmi priemyslu (detergentami, umelými dlhožijúcimi štiepnymi produktami, splodinami pri spaľovaní palív a pod.). V dôsledku toho sa prostredie, ktoré obývame, postupne chemicky mení.

Kontaminácia atmosféry, vody a pôdy polutantami vyvoláva obavu nielen preto, že môže znížiť produktivitu rastlín, hlavne poľnohospodárskych, nevyhnutných pre výživu človeka a kŕmenie zvierat, ale môže narušiť ekosystémy, vyvolať za určitých podmienok vážnu deštrukciu asimilačného potenciálu fytohmoty, ale aj preto, že súčasne sa znižuje hygienická kvalita prostredia človeka. Vplyv človeka na chemické znečistenie biosféry má v súčasnosti globálny charakter.

Tri zložky životného prostredia – vzduch, voda, pôda – sú pre človeka elementárnym zdrojom sily pre jeho najjednoduchšie životné pochody. Kvalita týchto zložiek sa odrazí nielen v rovnováhe ekosystému, ale aj v zdravotnom stave obyvateľstva.

Fyzikálno - chemické vlastnosti zeolitov

Začiatkom sedemdesiatych rokov sa začína vo svete, aj u nás, venovať veľká pozornosť úlohe prírodných zeolitov v ochrane jednotlivých zložiek životného prostredia.

Na Slovensku sa ekonomicky významné akumulácie zeolitov nachádzajú pri Nižnom Hrabovci (okres Vravnov nad Topľou), kde je hlavným horninotvorným minerálom vulkanosedimentárnej horniny, označovanej ako ryodacitový tuftit, zeolitový minerál **klinoptilolit**. Prítomnosť zeolitových minerálov klinoptilolitu a **mordenitu** bola zistená aj vo vzorkách ryolitových tufov, odobraných z odkryvov pri Jastrabej a Bartošovej Lehôtke (okres Žiar nad Hronom) (Šamajová a Kraus, 1977).

Zeolity tvoria najväčšiu skupinu hydratovaných hlinítkremičitanov s vymeniteľnými kationmi alkalických kovov a alkalických zemín. Základnou štruktúrnou jednotkou hlinítkremičitanovej kostry sú tetraédre SiO_4^{-4} a AlO_4^{-5} (prevažne SiO_4^{-4}), predstavujúce priestorovo takmer guľovité útvary. Tieto útvary sú pospájané len cez niektoré tetraédre pomocou väzieb Si - O - Si do trojrozmernej siete. Tým vznikajú v kryštálovej štruktúre pomerne veľké dutiny, pospájané kanálkami, v ktorých sú uložené jedno až dvojmočné kationy (v prírode najčastejšie K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Ba^{+2} , Sr^{+2}), obklopené molekulami vody. Vymeniteľné kationy kompenzujú prebytočný záporný náboj, vzniknutý náhradou Si^{+4} kationom Al^{+3} (Barrer, 1978). V štruktúre klinoptilolitu sa štvorstenné primárne jednotky - tetraédre (obr.1) spájajú do 3 -, 4 - a 5 - členných kruhov, ktoré vytvárajú na seba uložené, paralelné vrstvy (obr.2) (Horváthová - Chmielewská, 1985).

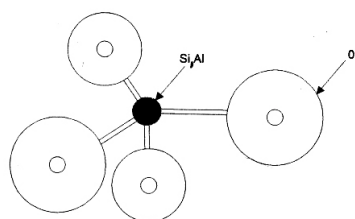
Záujem o zeolity ako o katalizátory a selektívne adsorbenty súvisí predovšetkým so zvláštnosťou stavby ich kostry a dostupnosťou vnútrokryštalického objemu.

Kvôli zlepšeniu sorpčných a katalytických vlastností sa zeolity termicky alebo chemicky aktivujú.

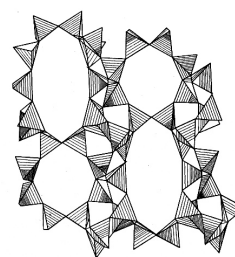
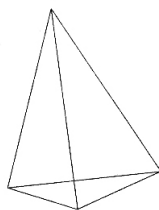
Termická aktivácia, t.j. dehydratácia zeolitov sa uplatňuje viac v katalýze pri selektívnom delení plyných zmesí ako pri sorpcii látok z kvapalného prostredia. Adsorpčná mohutnosť zeolitov je priamo závislá na objeme mikropórov, nachádzajúcich sa v ich kostrách, na rozdiel od niektorých iných priemyselných adsorbentov, pri ktorých je rozhodujúci ich merný povrch (Keřev, 1976).

K štruktúrnej modifikácii zeolitov chemickou úpravou patrí dealuminácia, deaktonizácia a iónová výmena. Sleduje sa nimi možnosť zlepšenia niektorých charakteristických a špecifických vlastností, prípadne odstránenie niektorých nezeolitických balastných komponentov. Na prípravu iných monoiónových foriem zeolitu sú, ako východiskové, najvhodnejšie jeho aniónové formy (Horváthová - Chmielewská, 1985).

¹ Doc. Ing. Terézia Szabová, CSc., Ing. Milan Búgel, CSc. a Ing. Marcela Leščinská. Katedra mineralurgie a environmentálnych technológií F BERG Technickej univerzity, Park Komenského 19, 043 84 Košice
(Recenzovali: Doc. Ing. Natália Pliešovská, CSc. a Ing. Ladislav Tometz)



Obr.1.: Základná štruktúrna jednotka zeolitov – tetraéder



Obr.2.:Princíp štruktúry klinoptilolitu

Vzduch

Pri spotrebe 10 l na 100 km spáli ročne motor osobného automobilu okolo 1 000 l benzínu a z jeho výfuku unikne do ovzdušia okolo 350 kg oxidu uhoľnatého, 50 kg uhl'ovodíkov, 15 kg oxidu dusíka a ďalších asi 250 druhov škodlivín. Ide o látky, ktoré v miligramových množstvách ohrozujú zdravie človeka. Najproblematickejšou zložkou výfukových plynov sú v súčasnosti oxidy dusíka (NO_x), pretože ich zatiaľ vieme len veľmi ťažko likvidovať. Koncom roka 1993 predstavila firma Mazda zeolitový katalyzátor, ktorý v spojení so spaľovaním chudobnej zmesi (lean burn) umožňuje významné zníženie podielu oxidu dusíka v spalínach. Otázka ich úplného zneškodnenia však zostáva naďalej otvorená (Lapčík, 1994).

Škodlivé účinky oxidu siričitého na lesné ekosystémy a ostatné rastlinstvo, fyziologické účinky na človeka a zvieratá, ako aj poškodenie skoro všetkých druhov používaných materiálov sú príčinou, že problém separácie oxidu siričitého zo spalín je stále nanajvyš aktuálny. Jednou z možností čiastočného riešenia problému je využitie prírodnej zeolitovej horniny vo funkcii adsorbenta. V prípade použitia nižnohraboveckého zeolitového tufitu ako adsorbenta SO_2 , nebola zaznamenaná súvislosť medzi veľkosťou zrna a maximálnou adsorpčnou mohutnosťou. Obrovský povrch mikropórov spôsobuje, že sorpcia plynov na prírodných zeolitoch nie je funkciou priemeru zrna (Búgel, Kmet', 1985).

Tabuľka 1. Vzťah medzi obsahom klinoptilolitu, adsorpčnou mohutnosťou a výmennou kapacitou.

Označenie vzorky	a ($\text{mg SO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$)	Obsah klinoptilolitu stanovený		w ($\text{cm}^3 \text{SO}_2 \cdot \text{g}^{-1}$)
		z VK	z a (hmotnostné %)	
NH – 8 / 84	94,80	61,00	-	32,39
NH – 2 / 86	114,82	73,70	73,88	39,23
NH – 5 / 86	38,31	25,20	24,65	13,09
NH - 6 / 86	86,82	54,70	55,86	29,66

Pri viacnásobnom použití prírodného zeolitového tufitu ako adsorbenta SO_2 dochádza k postupnému čiastočnému znižovaniu jeho adsorpčnej mohutnosti. Pre praktickú aplikáciu je možné využiť cca 90% jeho adsorpčnej schopnosti. Dôležitou podmienkou dosiahnutia maximálnej adsorpčnej schopnosti prírodnej zeolitovej horniny je jej tepelná úprava. Kvôli odstráneniu vody, nachádzajúcej sa v mikropóroch klinoptilolitu, je tepelnú úpravu potrebné vykonať minimálne pri teplote 350°C , avšak horná hranica tepelnej úpravy prírodného zeolitu nesmie prekročiť 450°C . O veľkosti adsorpčnej mohutnosti zeolitu **a**, resp. **w** rozhoduje hmotnostný podiel klinoptilolitu v hornine. Obsah klinoptilolitu môže byť stanovený z hodnôt výmennej kapacity **VK** alebo z adsorpčnej mohutnosti **a** (tabuľka 1). Adsorpčné vlastnosti prírodných zeolitov je možné využiť v malotonážnych výrobách a pri výrobe špeciálnych druhov výrobkov, pri ktorých nevznikajú vysoké objemové množstvá odpadových plynov, resp. vznikajúce plyny obsahujú nízky objemový podiel vodnej pary (Búgel, 1988).

Voda

Medzi najväčšie problémy vodného hospodárstva patrí ochrana kvality podzemných vôd, ako významného zdroja pitných vôd. Najohrozenejšie sú podzemné vody v alúviách riek, ktoré sa vyznačujú nízkym podielom povrchovo aktívnych zložiek horninovej matrice (íl, humus, atď.) a pritom sa nachádzajú v oblastiach vysokej koncentrácie obyvateľstva, poľnohospodárskej a priemyselnej výroby. Antropogénnou činnosťou sa v niektorých prípadoch zhoršila kvalita vody vo vodných zdrojoch do takej miery, že museli byť vyradené zo zásobovacích systémov. Vyradilo sa cca $2\,000 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ pitnej vody, čo ročne predstavuje $63,07 \text{ mil. m}^3$ a $11,9\%$

z celkovej dodávky vody z podzemných zdrojov. Okrem toho je celý rad lokalít, kde sezónne zhoršenie akosti vody spôsobuje ťažko zvládnuteľné problémy s jej úpravou.

Využitím sorpčných vlastností prírodných sorbentov (zeolítov) je možné riešiť ochranu vodných zdrojov pred prienikom mikropolutantov, ako sú PCB, pesticídy, chlórované uhl'ovodíky, ropné uhl'ovodíky, ťažké kovy. Zatiaľ čo odbúranie degradovateľných organických látok prebieha vplyvom respiračných a denitrifikačných procesov v úzkej zóne od miesta infiltrácie alebo v pôdnom profile, je imobilizácia špecifických organických látok, ťažko oxidovateľných, ako aj ťažkých kovov vo veľkej miere realizovaná predovšetkým prostredníctvom sorpcie na jemné ílovité frakcie horninového prostredia pomocou sorpčných clon (Holubec, 1998).

Klinoptilolit sa využíva aj pri úprave a čistení vôd na odstraňovanie amoniaku, stopových prvkov z vôd, zvyškového koagulantu, zákalu, eventuálne bakteriálneho oživenia vôd. Môže sa použiť ako náhrada kremičitého piesku na mechanickú úpravu vody, v kombinácii s ostatnými vodárenskými materiálmi, ako náplň viacvrstvových koagulačných filtrov, pre deamonizačný efekt v agregáčnom miešaní, t.j. úprave vody koaguláciou. Iónovo selektívny proces s použitím prírodného klinoptilolitu je ekonomicky porovnateľný s klasifikáciou biologickou nitrifikáciou – denitrifikáciou. Jeho prednosti v porovnaní s biologickou metódou však spočívajú v nenáročnosti na klimatické podmienky, rezistencii voči toxickým priemyselným odpadom, ktoré sa v prípade výskytu vo forme kationov redukujú z vody simultánne, v ušetrení obstaveného priestoru, rekuperácii technologických hmôt a ich recyklácii do výrobných procesov a iné (Horváthová, 1990).

Prírodné zeolity sa využívajú aj pre čistenie nízkoaktívnych kvapalných odpadov z jadrových elektrární, hlavne pre záchyt rádiostroncium a rádiodécia. Vysokou afinitou sa zeolity vyznačujú hlavne k céziu. Veľmi často sa však využívajú syntetické zeolity, ktoré na rozdiel od v prírode sa vyskytujúcich minerálov majú vyššiu čistotu a presne definované a reprodukovateľné zloženie (Franta a Vaňura, 1984).

Prírodné ílové minerály sa využívajú aj pri zakladaní skládok. Systém utesnenia základovej spáry dna a bokov skládky má za cieľ zamedziť infiltrácii vody, presakujúcej telesom skládky, dnom alebo bokmi. Funkčnosť tesnenia musí vydržať 30 až 50 rokov. Systém tesnenia v základovej spáre dna skládky má niekoľko bariér. Tieto bariéry sú zložené hlavne z minerálnej tesniacej vrstvy – mocnosť 0,6 až 1,0 m, s hutnením po 0,2 m. V prípade, ak je nedostatok ílovej zeminy, ktorá po zhutnení vyhovuje požiadavkám na nepriepustnosť, využívajú sa prírodné bentonity a zeolity (Jonáš, 1991).

Pôda

Niektoré pôdne typy, napr. regozem arenická, obsahujú malé množstvo organickej zložky a ílových minerálov, v dôsledku čoho majú veľmi nízku sorpčnú schopnosť a veľkú priepustnosť vody. Zúrodňovanie takýchto pôd je možné cestou aplikácie organických a minerálnych sorbentov. Jedným z komponentov, ktoré prichádzajú do úvahy pri zúrodňovaní uvedenej pôdy, sú zeolity. Z výsledkov laboratórneho a vegetačného nádobového pokusu pri štúdiu vplyvu zeolítov na fyzikálne a chemické vlastnosti regozeme arenickej vyplýva, že pozitívne ovplyvnili vododržnosť a priepustnosť pre vodu, čo sa prejavilo vzostupom vlhkosti (o 1,2 – 5,7 %) a poklesom koeficientu filtrácie (tabuľka 2). Po aplikácii zeolitu sa zvýšila pôdna reakcia, kationová sorpčná kapacita, obsah výmenných bázických kationov (najmä Ca^{2+} a K^+) a miery tlmivosti voči kyseline v závislosti od dávky zeolitej horniny (Hanes, 1990).

Dôkladné poznanie pôdy a jej vlastností, ktoré ovplyvňujú úrodnosť v kladnom či zápornom zmysle, nie je možné bez komplexného posúdenia viacerých faktorov, pôsobiacich dynamicky počas využitia pôdy na poľnohospodársku produkciu. Jedným z takýchto dôležitých faktorov je kontaminácia pôdy ťažkými kovmi, ktorá môže pôsobiť pri prekročení určitej koncentrácie na pôdu toxicky. Celkové množstvo ťažkého kovu v pôde však nie je dostatočným ukazovateľom akútneho hygienického rizika pre poľnohospodársku produkciu. Toxicita jednotlivých kovov je veľmi závislá od zlúčenín, v akých sa kov vyskytuje v prostredí. Pre rastliny sú

Tabuľka 2. Chemické vlastnosti skúmanej zeminy.

Variant	pH		Výmenné bázické kationy (mmol.kg ⁻¹)					Kationová sorpčná kapacita (mmol.kg ⁻¹)	Pôdna vlhkosť (%)	Kof. filtrácie (g.deň ⁻¹)
	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺			
Z	6,78	5,88	10,93	1,13	2,80	0,40	1,31	35	16,5	5,86
Z+NPK	6,38	5,39	10,13	0,66	3,20	0,35	1,25	38	16,5	6,12
Z+NPK+30 T	7,39	6,99	18,40	1,26	9,20	1,20	2,01	53	17,3	3,28
Z+NPK+60 T	7,59	7,18	26,33	1,59	15,60	1,80	2,14	66	19,6	2,13
Z+NPK+120 T	7,77	7,26	32,60	1,80	26,80	4,00	2,28	91	20,9	0,54
Z+NPK+240 T	7,87	7,26	48,86	2,03	45,60	8,80	2,41	145	22,2	0,05

Z – zemina z vrchného horizontu regozeme arenickej (lokalita Veľké Leváre), T – zeolitové tufity (lokalita Nižný Hrabovec), NPK – hnojenie priemyselnými hnojivami, 30T - 240T - 30 - 240 g tufitov - aplikačné dávky tufitov

najtoxickejšie rozpustné zlúčeniny ťažkých kovov, ktoré sú najpohyblivejšie, a tie, ktoré sú potenciálne dostupné rastlinám. Zvýšený prísun ťažkých kovov a ich nadmerná kumulácia v rastlinnom organizme pôsobí buď priamo toxicky na rastliny alebo nepriaznivo ovplyvňuje kvalitu krmív a potravín.

Tabuľka 3. Vplyv zeolitu na sorpciu, desorpciu a distribučné koeficienty ^{85}Sr a ^{137}Cs .

Pôdny typ	Množstvo aplikovaného zeolitu (g·10 g ⁻¹)	^{85}Sr			^{137}Cs		
		Sorpcia (%)	K _d (cm ³ ·g ⁻¹)	Desorpcia (%)	Sorpcia (%)	K _d (cm ³ ·g ⁻¹)	Desorpcia (%)
Hnedá pôda piesočnatá	-	79,20	15,23	92,30	99,17	477,9	3,03
	0,10	87,18	27,20	59,84	99,40	710,3	3,35
	0,05	86,28	25,15	62,59	99,47	750,7	3,31
	0,03	84,01	21,02	62,99	99,40	662,7	3,30
Hnedozem hlinitá	-	92,43	48,84	63,56	99,70	1329,3	0,83
	0,10	92,84	51,87	61,38	99,63	1077,1	3,09
	0,05	92,52	49,48	58,77	99,76	1662,7	0,66
	0,03	92,86	52,02	52,72	99,66	1172,5	0,76
Hnedá pôda hlinito-piesočnatá	-	90,57	38,42	84,60	99,40	710,3	2,54
	0,10	92,58	49,91	51,21	99,40	673,9	2,66
	0,05	92,46	49,05	55,11	99,30	567,4	2,60
	0,03	92,54	49,62	58,99	99,20	496,0	2,51
Hnedozem piesočnato-hlinitá	-	88,95	32,20	74,26	99,25	529,3	3,22
	0,10	89,60	34,46	57,06	99,38	641,2	2,85
	0,05	89,03	32,46	57,24	99,36	621,0	2,99
	0,03	88,96	32,23	63,95	99,26	536,5	2,94
Hnedozem hlinitá	-	95,80	92,39	65,62	99,74	1534,5	2,63
	0,10	95,90	93,56	55,40	99,64	1107,1	0,20
	0,05	95,70	89,02	59,35	99,70	1329,3	0,85
	0,03	96,40	107,11	51,30	99,60	1077,1	0,23
Černozem hlinitá	-	96,80	124,21	63,26	99,70	1329,3	0,45
	0,10	96,80	122,98	56,28	99,60	996,0	0,46
	0,05	96,80	121,00	56,16	99,57	926,2	0,49
	0,03	96,90	125,03	44,39	99,62	1048,6	0,43
Černozem hlinitá	-	92,50	49,48	65,86	99,86	2853,1	0,37
	0,10	93,90	61,79	57,21	99,82	2218,2	0,25
	0,05	93,95	62,12	60,85	99,85	2662,7	0,20
	0,03	93,44	56,98	47,57	99,82	2218,2	0,20
Černozem degradovaná piesočnato-hlinitá	-	95,32	81,47	63,25	99,78	1814,2	0,94
	0,10	95,58	86,50	54,75	99,86	2853,1	0,86
	0,05	95,39	82,70	56,17	99,70	1329,3	0,81
	0,03	95,38	82,60	43,57	99,78	1814,2	0,81
Hnedozem hlinitá	-	93,70	59,90	60,85	99,83	2348,9	0,65
	0,10	93,80	60,50	52,35	99,79	1900,8	0,45
	0,05	94,31	66,30	40,96	99,80	1996,0	0,60
	0,03	93,67	59,19	51,99	99,82	2218,2	0,51
Hnedozem ílovitohlinitá	-	95,43	83,53	62,48	99,73	1477,5	0,33
	0,10	95,49	84,69	54,10	99,74	1534,5	0,26
	0,05	95,70	89,02	40,89	99,50	796,0	0,20
	0,03	95,60	86,91	44,58	99,50	829,3	0,29

 Navážka; 0,10 g odpovedá 30 t·ha⁻¹; 0,05 g odpovedá 20 t·ha⁻¹; 0,03 g odpovedá 10 t·ha⁻¹

Cestou vedúcou k zmierneniu kontaminácie biomasy rastlín pestovaných na pôdach s vyššou hladinou mobilných rizikových prvkov je ich trvalé či prechodné zabudovanie do väzieb neprístupných pre rastliny. Za veľmi dôležitý faktor pre lepšiu odolnosť pôdy voči intoxikácii ťažkými kovmi sa považuje hlavne obsah minerálnych koloidov. Z ílovitých minerálov sú najúčinnnejšie kaolinit, ale využívajú sa aj bentonity a zeolity, v snahe vytvoriť predpoklady pre zníženie koncentrácie ťažkých kovov v pôdnom roztoku a tým zníženie ich príjmu rastlinami. V nádobových pokusoch s pôdou prirodzene kontaminovanou zinkom, olovom a kadmium bol použitý ionex, humát sodný a bentonit pri pestovaní vybraných zelenín – šalát, kaleráb, zemiaky, mrkva (Hlušek, 1993). Sorbenty významne ovplyvňujú výnos, ale aj obsah ťažkých kovov v rastlinách, ktorý je veľmi závislý na druhu rastlinného orgánu.

Šalát citlivo reaguje na stupňované dávky zinku, olova a kadmia v pôde, prijíma a kumuluje ich vo zvýšenej miere v listoch. Výnos bol preukazne zvýšený po aplikácii bentonitu a ionexu, humát sa neprejavil. Obsah Zn a Cd bol po aplikácii ionexu a humátu významne znížený, bentonit vyvolal významné zvýšenie. Obsah olova bol preukazne znížený po aplikácii všetkých sorbentov.

Kaleráb patrí k rastlinám, ktoré výnosom citlivo reagujú na zvýšený obsah ťažkých kovov v pôde. Pri ich vysokom obsahu sa znižoval výnos buliev a v niektorých prípadoch rastliny vyhynuli. Ťažké kovy sa v oveľa väčšej miere ukladajú v listoch kalerábu než v bulvách. Po aplikácii humátu a bentonitu došlo k výraznému zvýšeniu výnosu buliev.

Zemiaky sú plodina tolerantná k vysokým hladinám ťažkých kovov v pôde, ktoré neovplyvnili ich výnos. Ťažké kovy sa hromadia viac vo vňati ako v hľuzách. Výnos zemiakov aplikované sorbenty neovplyvnili, avšak došlo k významnému zníženiu obsahu ťažkých kovov vo vňati pôsobením humátu a bentonitu, ktorý významne znížil obsah zinku v hľuzách.

Analýzou rastlín mrkvy sa ukázalo, že obsah Zn, Pb a Cd je niekoľkonásobne vyšší v nadzemnej hmote než v koreňoch. Z použitých sorbentov sa u mrkvy najviac prejavil bentonit, ktorý preukazne zvýšil výnos, znížil hladinu ťažkých kovov vo vňati a obsah zinku v koreňoch.

Pri sledovaní aplikácie vápnenia a sorbentu na kumuláciu kadmia a zinku v biomase špenátu došlo k výraznému poklesu koncentrácie Cd a Zn v listoch špenátu po vápnení (20% u Cd a na 25% Zn v porovnaní s kontrolou), ale len o málo nižšia účinnosť bola zistená po aplikácii sorbentu. Účinnosť sorbentu sa začala znižovať v treťom a v štvrtom cykle po aplikácii (Tlustoš et al., 1995).

Každá kontaminácia pôd ťažkými kovmi musí byť posudzovaná samostatne a tiež samostatne riešená v závislosti na pôdnych vlastnostiach, ktoré znižujú alebo zvyšujú mobilitu určitého prvku.

Chovanie sa rádionuklidov v pôdach a rýchlosť ich šírenia nezávisí len od druhu rádionuklidu, ale aj od fyzikálne – chemických vlastností pôdy. Zeolity vďaka svojej špecifickej kryštalickej stavbe majú rozvinutú adsorpčnú a iónovú schopnosť. Vysoká selektivita prírodných zeolitov k zásaditým kationom, ako aj ku kationom ťažkých kovov znižuje po ich aplikácii do pôd ich kumuláciu v rastlinách. Prírodné zeolity sú veľmi účinnými a efektívnymi sorbentami pre rádiostroncium a rádiocézium, na deponovanie rádionuklidov, ako aj na mixovanie s cementom pre vytvorenie bariér na úložiskách rádioaktívnych odpadov, aby sa zabránilo ich migrácii do prostredia. Pri štúdiu aplikácie zeolitov do pôd sa zistilo, že sa zvyšuje pevnosť sorpcie rádiostroncium v piesočnatých a piesočnatohlinitých pôdach, hlavne v dôsledku zvýšenia obsahu ílovitej frakcie, a tým aj zvýšenia sorpčnej kapacity týchto pôd (tabuľka 3). Aplikáciou zeolitov sa zvyšuje hodnota distribučných koeficientov, znižuje sa jeho koncentrácia v pôdnom roztoku, a tým aj jeho príjem rastlinami.

Cézium je pútaný v pôdach veľmi pevne, aplikácia zeolitu nemá na jeho migráciu významnejší vplyv (Szabová a Mitro, 1993).

Zeolity s vysokým obsahom klinoptilolitu majú nasledovnú selektivitu pre rôzne ióny (Kanno, Nimura, 1984): $Cs^+ > NH_4^+ > K^+ > Sr^{2+} = Ba^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > Li^+$.

Záver

Intenzívny a systematický výskum špecifických iónovými vlastností priemyselne využiteľných domácich zdrojov zeolitov otvára široké možnosti využitia týchto sorbentov pri ochrane zložiek životného prostredia. Pracovníci katedry aj v súčasnosti skúmajú unikátne vlastnosti zeolitovej suroviny v súvislosti s jej aplikáciou na fixáciu ťažkých kovov z kontaminovaných pôd.

Literatúra

- Barrer, R. M., FRS.: Zeolites and Clay Minerals as Sorbent and Molecular Sieves. *Academic Press, London. New York. San Francisco, 1978.*
- Búgel, M.: Preskúmanie prírodného zeolitu z hľadiska jeho adsorpčných vlastností. *Kandidátska dizertačná práca, Košice, 1988, 141 s.*
- Búgel, M. a Kmeť, S.: O možnosti ispol'zovania ceolitov dľa očistki gazovych potokov ot SO₂. *World Congress on Non – Metallic minerals, Sava Center Belgrade, Jugoslavia April 1985, Zborník referátov.*
- Franta, P. a Vaňura, P.: Možnosti využiti prírodných zeolitů k čistěni nízkoaktivních kapalných odpadů československých jaderných elektráren. *SLOVZEO'84, Zborník prednášok, Vysoké Tatry, 1984, s.55 - 60.*
- Hanes, J.: Vplyv zeolitových tufitov na fyz.-chem. vlastnosti regozeme arenickej. *Poľnohospodárstvo, 5, 1990.*
- Holubec, M.: Ochrana vody vo vodných zdrojoch, Ekologické riziká a pracovné prostredie. *Zborník prednášok BIJO, Košice, 1998, s. 36 - 39.*
- Horváthová, E.: Iónová výmena na prírodných zeolitoch v technológiách úpravy a čistenia vôd. *Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava, 1990, 69 s.*
- Horváthová - Chmielewská, E.: Čistenie a úprava vôd. *Skriptum Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava, 1995.*
- Jonáš, F.: Ochrana životního prostředí a krajiny. *Skriptá VŠZ, Praha, 1991.*
- Keřceř, N.V.: Osnovy adsorpcionnoj techniki. *Chimija, Moskva, 1976.*
- Lapčík, V.: Doprava a životní prostředí, *Životné prostredie, 4, 1994, s.186.*
- Szabová, T., Mitro, A.: Vplyv zeolitu na sorpciu, desorpciu a distribučné koeficienty rádiostroncium a rádiocézia v rôznych pôdach. *Poľnohospodárstvo, 1, 1993, s.1.*
- Šamajová, E. a Kraus, I.: Minerálne zloženie a genéza ílových surovín, zeolitov a perlitov. *Záverečná správa za roky 1975 - 1978, Manuskript GÚ PFUK, Bratislava, 1977.*
- Tlustoš, P., Vostál, J., Száleová, J. a Balík, J.: Přima a následná účinnost vybraných opatření na obsah Cd a Zn v biomase špenátu. *Rostlinná výroba, 1, 1995, s.31.*