

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

ADSORPCE TOXICKÝCH OXOANIONTŮ Se NA POVRCHOVĚ UPRAVENÝ KAOLIN

LENKA HERZOGOVÁ^a, BARBORA DOUŠOVÁ^a,
MILOSLAV LHOTKA^b, VLADIMÍR
MACHOVIČ^{c,d}, JANA SCHWEIGSTILLOVÁ^d
a DAVID KOLOUŠEK^a

^a Ústav chemie pevných látek, ^b Ústav anorganické technologie, ^c Laboratoř molekulové spektroskopie, Vysoká škola chemicko-technologická, Technická 5, 166 28 Praha 6, ^d Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8
lenka.herzogova@vscht.cz

Došlo 10.10.11, přepracováno 1.2.12, přijato 19.3.12.

Klíčová slova: adsorpce, oxoanionty Se, povrchově upravený kaolin

Úvod

Sloučeniny selenu patří k toxickým kontaminantům ohrožující životní prostředí, proto se stále více prací zabývá jejich charakterizací v jednotlivých složkách prostředí, hledáním zdrojů znečištění a možnostmi efektivní dekontaminace zatížených oblastí^{1–5}. Zajímavé je, že selen má v organismu esenciální význam; je potřebný pro tvorbu enzymů ovlivňující antioxidační procesy, metabolismus hormonů štítné žlázy či reprodukci⁶. Hranice mezi esencibilitou a toxicitou selenu je však velmi úzká. Denní maximální dávka selenu je pro lidský organismus 200 µg, při požití 900 µg/den se mohou objevit příznaky otravy zahrnující únavu, zvracení, průjem, bolesti hlavy, dech zapáchající po česneku, horečku nebo zimnici. Pokud je lidský organismus vystaven dlouhodobým účinkům selenu, dojde k poškození ledvin, jater, nervového a oběhového systému, ke ztrátě nehtů a vlasů a v extrémním případě až ke smrti^{1,6}.

Vysoké koncentrace selenu byly zaznamenány v uhlí (např. USA, <10 mg kg⁻¹) a jiných organicky bohatých depositech, jílových frakcích sedimentů s navázanými oxidy a hydroxidy železa, černých břidlicích (např. Čína, ~200 mg kg⁻¹) a vulkanických půdách (celosvětově ~9 mg kg⁻¹)¹. Cyklus selenu v prostředí je umožněn jak biogeochemickými procesy jako je zvětrávání, interakce voda-horninové prostředí či mikrobiologická aktivita, tak antropogenní činností zahrnující spalování fosilních paliv,

metalurgický průmysl, výrobu skla, používání pesticidů, fosfátových hnojiv a vypouštění splaškových kalů^{1,6,7}.

Stabilita a výskyt různých forem selenu v prostředí jsou závislé na Eh-pH podmínkách a teplotě prostředí. Velkou roli hraje také přítomnost soutěžících iontů, struktura a mineralogie půdy či mikrobiologická aktivita¹. Selen se akumuluje zejména v půdách, odkud se uvolňuje a znečišťuje povrchové a podzemní vody. V kontaminovaných oblastech se selen vyskytuje především ve dvou oxidačních stavech – Se^{IV} a Se^{VI}. Data mapující výskyt selenu ve vodách nejsou v celosvětovém měřítku zcela dostupná. Zvýšené koncentrace zaznamenané zejména ve vodách Severní Ameriky (např. Colorado, < 1 až 400 µg l⁻¹; jezero Michigan ~ 10 µg l⁻¹), Austrálie (jezero Macquaire, ~ 5 µg l⁻¹), Pákistánu (podzemní vody – Punjab, ~ 60 µg l⁻¹), Argentiny (podzemní vody – Chaco Pampean, < 2 až 40 µg l⁻¹) i evropských zemí (podzemní vody – Slovensko, 0,5 až 45 µg l⁻¹) výrazně překračují přípustnou koncentraci selenu v pitné vodě stanovenou WHO (10 µg l⁻¹)¹.

V přirozených systémech se oxoanionty selenu selektivně adsorbují na hydratované oxidy nebo oxidy hydroxidy Fe, popř. Al či Mn, se kterými vytvářejí stabilní komplexy na povrchu pevné fáze⁸. Komerčně vyráběné sorbenty na bázi oxidů hydroxidů Fe jsou velice efektivní, ale drahé, a tedy nevhodné pro silně znečištěné nebo průběžně kontaminované systémy. Aluminosilikáty (např. kaoliny) jsou vyhledávané a zajímavé adsorbenty především pro snadnou dostupnost, široké možnosti využití a nízkou pořizovací cenu^{8,9}.

Průběh adsorpce aniontů je dán způsobem jejich vazby na povrch sorbentu. Anion se váže na povrch pevné fáze buď nespecificky prostřednictvím elektrostatických sil mezi pevným povrchem a hydratovanou vrstvou obalující iont (tzv. vnější komplex), nebo specificky, kdy se iont spojuje přímo s pevným povrchem v aktivních polohách (tzv. vnitřní komplex). S tím souvisí důležitá charakteristika každého sorpčního materiálu – pH bodu nulového náboje (pH_{ZPC}, zero point of charge), tedy pH suspenze kontaminantu a pevné fáze, při němž je náboj povrchu sorbentu nulový. Pokud se sorbent vyskytuje ve vodném prostředí s nižším pH než je pH_{ZPC}, jeho povrch je protonizován a přijímá anionty. V opačném případě je sorbent nabit záporně a přijímá kationty. Je třeba zdůraznit, že kaoliny mají nízké hodnoty pH_{ZPC} (2 až 4), a proto se jejich povrchy chovají jako katexy^{10–12}. Jednoduchou povrchovou modifikací kaolinů roztoky iontů Fe, Al a Mn lze hodnoty pH_{ZPC} zvýšit (6–10) a získat sorbenty nových povrchových vlastností; kaolin funguje jako nosič a povrchová vrstva hydratovaných oxidických fází kovů vytváří aktivní sorpční místa anexové povahy^{13–16}.

Cílem této práce byla příprava nových sorbentů povrchovou úpravou kaolinu ionty Fe a Al, proměření sorpčních řad oxoaniontů Se^{IV} (SeO₃²⁻) z modelových vodných

systémů, zjištění jejich zpětné vyluhovatelnosti a charakterizace pevné fáze po úpravě povrchu a adsorpci.

Experimentální část

Použitý jílový materiál a jeho povrchová úprava

Výchozím materiálem pro povrchovou úpravu a adsorpci oxoaniontů Se^{IV} byl sedlecký kaolin Ia (Sedlecký kaolin a. s., Božičany) – ozn. SK. Kaolin Sedlec byl zvolen pro svou vysokou čistotu a tedy snadnější charakterizaci změn, ke kterým dochází během adsorpcce. Jeho základní složkou je kaolinit, minoritními fázemi křemen a muskovit (obr. 1). Pro zvýšení schopnosti poutat anionty byl povrch jílu sycen ionty Fe nebo Al. Úprava ionty Fe je založena na třepání jílu s 0,6M Fe^{2+} (původní pH roztoku ~ 2 , poměr pevná fáze/roztok 1:50) po 24 h (cit. ^{13,14}). Úprava ionty Al byla prováděna pomalým alkalickým srážením 0,6M Al^{3+} do pH ~ 6 za přítomnosti kaolinu (poměr pevná fáze/roztok 1:15) a následným třepáním do druhého dne ^{15,16}. Po 24 h byly suspenze na vzduchu zfiltrány, promyty, sušeny při 40 °C/1 h, homogenizovány a síťovány (< 0,35 mm). Nově připravené sorbenty byly označeny jako SK_{Fe} , SK_{Al} .

Adsorpce oxoaniontů Se

K proměření adsorpční izotermy byl použit modelový roztok Se ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) o koncentracích 10–1500 mg l^{-1} a pH 5–5,5. Adsorpční testy byly prováděny na původním a povrchově modifikovaném jílu. 0,1 g sorbentu byl třepán s 50 ml roztoku Se^{IV} v uzavřeném vsádkovém reaktoru po dobu 24 h. Potom byly vzorky zfiltrány a ve filtrátu byla stanovena zbytkové koncentrace Se metodou AAS. Ze změřených dat byly spočteny účinnosti sorpce, experimen-

tální a teoretické sorpční kapacity sorbentů dle rovnic (1), (2) a (3) (cit. ^{17–20}):

$$\varepsilon = 100 - 100 \cdot \frac{c_e}{c_0} \quad (1)$$

$$q_e = \frac{(c_0 - c_e) \cdot V}{m} \quad (2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q} + \frac{1}{Q \cdot K} \cdot \frac{1}{c_e} \quad (3)$$

kde je ε (%) účinnost sorpce; q_e (mg g^{-1}) experimentální sorpční kapacita; c_0 (mg l^{-1}) počáteční koncentrace roztoku Se; c_e (mg l^{-1}) rovnovážná koncentrace Se v roztoku; V (l) objem roztoku; m (g) navážka sorbentu; Q (mg g^{-1}) teoretická sorpční kapacita; K (l mg^{-1}) konstanta adsorpčního děje.

Také byl zkoumán vliv pH na účinnost adsorpcce při výchozí koncentraci Se 40 mg l^{-1} a rozmezí pH 2–9.

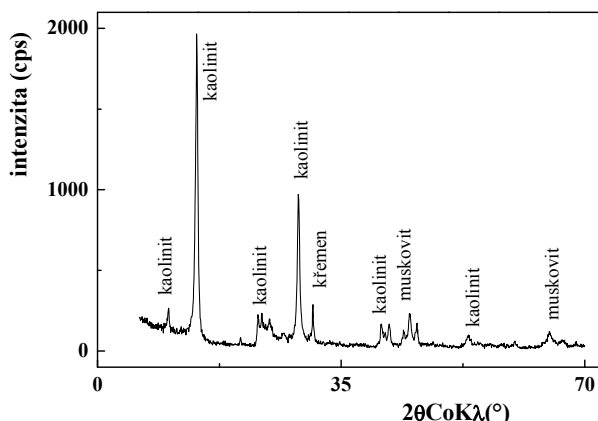
Vyluhovací testy

K posouzení stability sorbentu vysyceného oxoanionty Se sloužil vyluhovací test, který byl proveden dle vyhlášky Ministerstva životního prostředí²¹. Nejprve byl proveden adsorpční experiment na sorbentech SK_{Fe} a SK_{Al} při počáteční koncentraci 10 mg l^{-1} . Vysušený vzorek po sorpci Se^{IV} byl třepán v destilované vodě v poměru 1:10, po 24 h byl zfiltrován a ve výluhu byla stanovena koncentrace Se, podle které byl použitý adsorbent zařazen do příslušné třídy vyluhovatelnosti.

Analytické metody

Pro charakterizaci původního, upraveného a adsorbovaného kaolinu byly použity tyto metody:

- 1) RTG difrakční analýza na přístroji XRD 3000P v Bragg-Brentanově fokusující geometrii s goniometrem, grafitovým monochromátorem a proporčním detektorem (CoK_α záření: $\lambda = 1,79 \text{ \AA}$, $U = 35 \text{ kV}$, $I = 35 \text{ mA}$). Data byla naměřena v úhlovém rozsahu 6 až 70° (2θ) s krokem měření 0,05° (2θ). Vyhodnocení dat bylo provedeno programem HighScore Plus.
- 2) RTG fluorescenční analýza pevných podílů s použitím sekvenčního vlnově-disperzního rentgenového spektrometru ARL 9400 XP vybaveného RTG lampou s Rh anodou typu 4GN. Všechny intenzity spektrálních čar prvků byly měřeny ve vakuu programem WinXRF. Získané intenzity byly zpracovány programem Uniquant 4 bez standardu.
- 3) IČ spektrometrie na FTIR spektrometru Nicolet 6700 vybaveným DTGS detektorem měřícím v rozsahu 7500 až 350 cm^{-1} a nástavcem pro reflexní měření ATR.
- 4) Měření specifického povrchu (BET), standardních



Obr. 1. Difraktogram použitého sedleckého kaolinu (SK)

izoterem a distribuce velikosti pórů analyzátozem Micromeritics' ASAP 2020 (Accelerated Surface Area and Porosimetry) s využitím techniky sorpce N_2 .

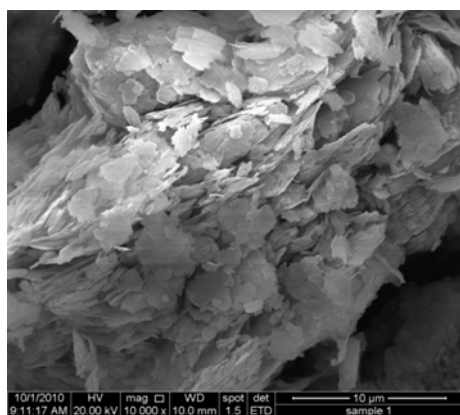
- 5) Mikroskopické pozorování změn na rastrovacím elektronovém mikroskopu Quanta 450 s režimem vysokého vakua, napětím 20 kV a velikostí spotu 1,5; při pracovní vzdálenosti 10 mm a zvětšení 10 000.
- 6) Stanovení pH_{ZPC} potenciometrickou titrací za použití 0,1 M-NaCl jako elektrolytu, 0,1 M-NaOH jako titrantu a 1 M-HCl pro počáteční úpravu pH (cit.²²).
- 7) Měření koncentrace selenu atomovým absorpčním spektrometrem Spectr AA-880 s plamenovou technikou atomizace firmy Varian (VGA 77).

Výsledky a diskuse

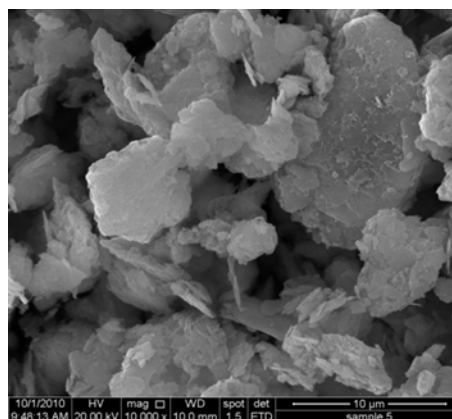
Úpravy kaolinů ionty Fe/Al vedou ke stabilizaci hydratovaných fází těchto kovů na povrchu a ke zlepšení filtrovatelnosti sorbentu. Během úprav se na povrchu pevné fáze vytvoří vrstva amorfních nebo slabě krystalických hydratovaných částic oxidů/hydroxidů kovů v reaktivní iontově-výměnné formě a stabilním oxidačním stupni (Fe^{III}/Al^{III}). Kaolin tedy funguje jako nosič aktivní adsorpční vrstvy pro vazbu aniontů¹⁴. Při následné adsorpci se většina míst blokuje navázaným aniontem, zatímco ostatní místa mají tendenci přecházet do stabilnější krystalické formy¹².

Morfologie částic před a po úpravě je patrná ze snímků pořízených elektronovým mikroskopem. Ve vzorku původního SK jsou zřetelné šupinky kaolinitu (obr. 2), zatímco po úpravě ionty Fe se šupinky „zaoblují“ vytvořením vrstvy hydratovaných kationtů Fe^{3+} (obr. 3).

Měření specifického povrchu prokázalo, že povrchovými úpravami kaolinu dojde k jeho zvětšení, a to v případě SK_{Fe} jen mírnému (ze 17,5 na 19,4 $m^2 g^{-1}$), v případě SK_{Al} až dvojnásobnému (na 35,0 $m^2 g^{-1}$). Tento rozdíl je dán různým charakterem částic vázaných k povrchu původního kaolinu; ionty Fe^{3+} se vážou v hydratované formě jako jednotlivé částice ze sytícího roztoku, zatímco ionty



Obr. 2. Kaolin SK před úpravou

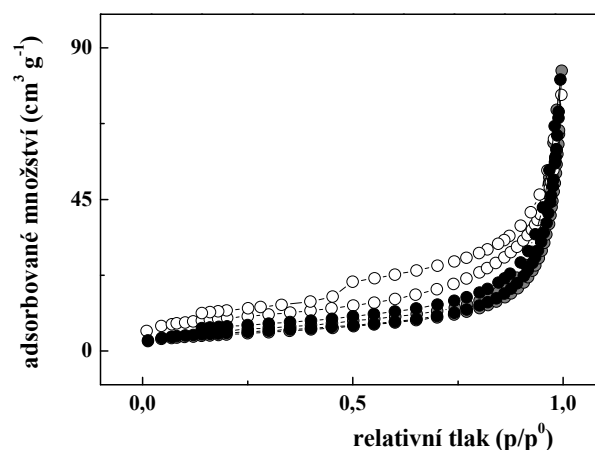


Obr. 3. Kaolin po úpravě ionty Fe (SK_{Fe})

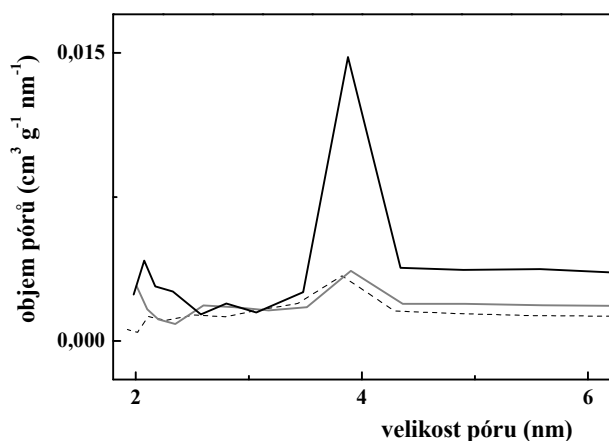
Al^{3+} vytvářejí v důsledku pomalého alkalického srážení větší agregáty $AlOOH$.

Původní a nově připravené sorbenty byly mezopórní. Z obr. 4 je patrné, že úpravy nevedly k výrazné změně distribuce velikosti pórů s výjimkou sorbentu SK_{Al} , kde došlo k nárůstu objemu póru o velikosti 3,9 nm (obr. 5).

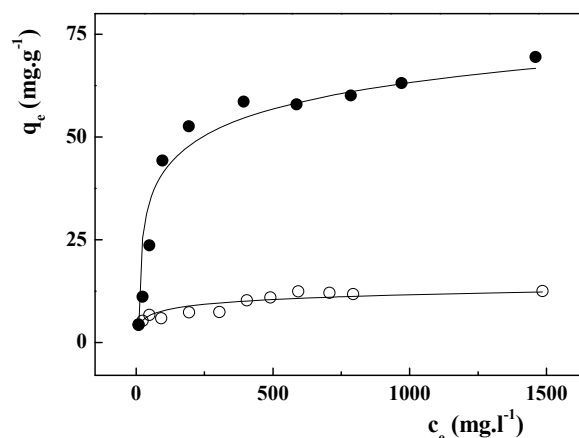
Účinnost sorpce oxoaniontů Se na neupraveném kaolinu a jeho experimentální sorpční kapacita byly velmi nízké (maximálně 0,5 %, resp. 0,1 $mg g^{-1}$). Povrchovou úpravou došlo k významnému navýšení sorpčních kapacit (4–69 $mg g^{-1}$) za dosažení až 97% účinnosti sorpce. Tuto změnu lze primárně vysvětlit zvýšením hodnot pH_{ZPC} , ke kterému dochází povrchovou úpravou původního kaolinu. Hodnoty pH_{ZPC} pro SK_{Al} , resp. SK_{Fe} (4,5 a 7) získané po-



Obr. 4. Adsorpční izoterma N_2 měřená na kaolinech SK, SK_{Al} , SK_{Fe} ; SK – kaolin; SK_{Al} – kaolin povrchově upravený ionty Al; SK_{Fe} – kaolin povrchově upravený ionty Fe, ● SK, ○ SK_{Al} , ● SK_{Fe}



Obr. 5. Distribuce velikosti pórů kaolinů SK, SK_{Al}, SK_{Fe}; SK – kaolin; SK_{Al} – kaolin povrchově upravený ionty Al; SK_{Fe} – kaolin povrchově upravený ionty Fe; - - - SK, — SK_{Al}, — SK_{Fe}



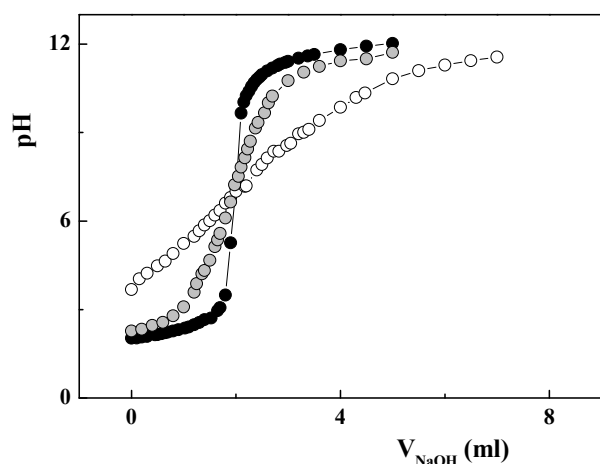
Obr. 7. Závislost experimentální sorpční kapacity kaolinů SK_{Al} a SK_{Fe} na rovnovážné koncentraci Se^{IV} v roztoku; SK_{Al} – kaolin povrchově upravený ionty Al; SK_{Fe} – kaolin povrchově upravený ionty Fe; ● SK_{Al}, ○ SK_{Fe}

tenciometrickým titračním měřením (obr. 6) odpovídají anionaktivní sorpci ve vodném prostředí o pH ≈ 5.

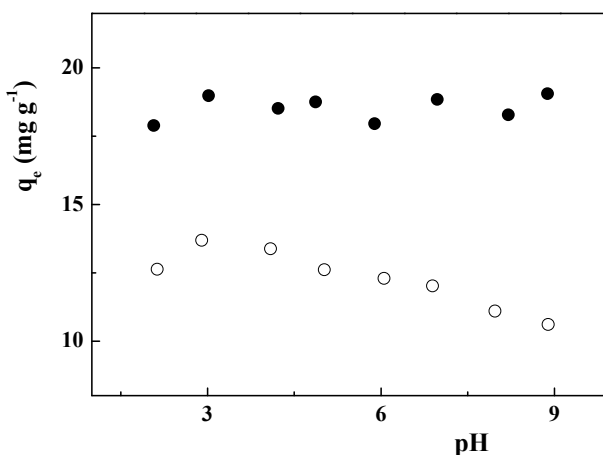
Závislost experimentální sorpční kapacity q_e sorbentů SK_{Al} a SK_{Fe} na rovnovážné koncentraci Se v roztoku je znázorněna na obr. 7, z těchto dat byla podle Langmuirova modelu spočtena teoretická sorpční kapacita Q . Porovnáním teoretických sorpčních kapacit bylo zjištěno, že povrchová úprava ionty Al byla mnohem efektivnější než ionty Fe. Při použití SK_{Al} bylo dosaženo vysoké teoretické sorpční kapacity Q – 74,2 mg g⁻¹, zatímco v případě SK_{Fe} pouze 10,1 mg g⁻¹. Příčinu lze hledat v odlišném množství navázaného kovu (Al/Fe) na povrch kaolinu během úpravy (SK_{Al} obsahoval 68 mg g⁻¹ Al, zatímco SK_{Fe} 19,5 mg g⁻¹

Fe), a také v rozdílné velikosti specifického povrchu (viz výše).

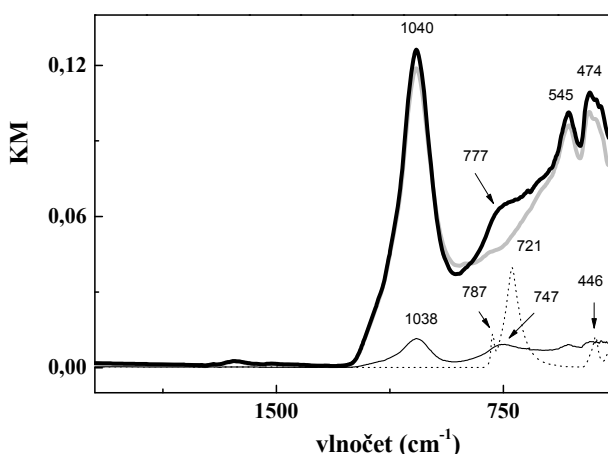
Adsorpčními testy prováděnými za různých počátečních hodnot pH roztoku Se^{IV} bylo prokázáno, že velikost q_e závisí na pH nevýrazně (obr. 8), s rostoucím pH experimentální sorpční kapacita mírně klesá až do pH 9 (pro SK_{Fe}) nebo se téměř nemění (pro SK_{Al}). Vysvětlení lze zřejmě hledat ve schopnosti Se^{IV} se vázat prostřednictvím dvojího typu komplexů na povrch pevné fáze. Adsorpce Se^{IV} na SK_{Al} probíhá specificky za tvorby stabilních vnitřních komplexů, účinnost adsorpce Se^{IV} na SK_{Fe} je značně snížena vznikem méně stabilních vnějších komplexů a určitým podílem nespecificky probíhající sorpce oxoani-



Obr. 6. Potenciometrické titrační měření – stanovení pH_{ZPC} SK_{Fe} při navázkách 0,4 a 1,4 g s použitím 0,1 M-NaCl jako elektrolytu; SK_{Fe} – kaolin povrchově upravený ionty Fe; ● slepý roztok – 0,1 M-NaCl, ○ SK_{Fe} – 1,4 g, ● SK_{Fe} – 0,4 g



Obr. 8. Závislost experimentální sorpční kapacity kaolinů SK_{Al} a SK_{Fe} na pH roztoku Se^{IV}; SK_{Al} – kaolin povrchově upravený ionty Al; SK_{Fe} – kaolin povrchově upravený ionty Fe; ● SK_{Al}, ○ SK_{Fe}



Obr. 9. ATR spektra kaolinů SK, SK_{Al} a po sorpci Se^{IV}; — A – kaolin upravený ionty Al pro sorpci Se^{IV}; — B – kaolin upravený ionty Al; — C – odečet křivek A a B; ····· D – standard Se^{IV}

ontu na pevnou fázi. Tuto teorii potvrzují i vyluhovací testy, které prokázaly zpětné loužení oxoaniontů Se^{IV} navázané na SK_{Fe} z 0,3 %, zatímco vyluhovatelnost Se^{IV} z SK_{Al} díky formování stabilnějších komplexů byla o řád nižší (0,01 %). Oba kaoliny SK_{Al}, SK_{Fe} splňují bezpečně kritéria třídy vyluhovatelnosti (III třída – 0,7 mg l⁻¹ Se ve výluhu, resp. IIa třída – 0,1 mg l⁻¹ Se ve výluhu).

Přítomnost oxoaniontů Se^{IV} na povrchu byla potvrzena spektroskopii ATR v oblasti 4000 až 400 cm⁻¹. Na obr. 9 jsou znázorněna spektra původního kaolinu SK_{Al} (B), kaolinu SK_{Al} po sorpci Se^{IV} (A), diferenční spektrum A-B (C) a spektrum standardu Se^{IV} (D). Ve spektru A a C je zřejmá přítomnost oxoaniontu Se^{IV}, kterému odpovídají charakteristické pásy 777 cm⁻¹ a 747 cm⁻¹. Tyto pásy se překrývají s pásy standardu Se^{IV}.

Závěr

Povrchovou úpravou sedleckého kaolinu ionty Fe/Al byly připraveny účinné sorbenty SK_{Al} a SK_{Fe} toxických oxoaniontů Se^{IV}. Úpravou došlo k vytvoření amorfních nebo slabě krystalických hydratovaných částic oxidů/hydroxidů kovů ve stabilních oxidačních stupních (Fe^{III}/Al^{III}), což vedlo k navýšení specifického povrchu (BET) a pH bodu nulového náboje (pH_{ZPC}) a ke zlepšení schopnosti sorbentu vázat adsorbáty aniontového charakteru. Účinnosti sorpcí Se^{IV} na těchto materiálech byly vysoké (až 97 %). Dosažená teoretická adsorpční kapacita kaolinu upraveného ionty Al byla až sedmkrát vyšší než ionty Fe (74 resp. 10 mg g⁻¹). Se^{IV} se na povrch upraveného kaolinu váže převážně stabilními vnitřními komplexy, proto množství Se ve výluhu bylo velmi nízké (< 0,7 mg l⁻¹ splňující IIa – III třídy vyluhovatelnosti). Přítomnost Se na povrchu

nového sorbentu byla potvrzena IČ spektroskopii.

Tento výzkum byl financován z účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum MŠMT (Rozhodnutí č. 21/2011).

LITERATURA

- Plant J. A., Kinniburgh D. G., Smedley P. L., Fordyce F. M., Klinck B. A., v knize: *Treatise on geochemistry* (Lollar B. S., Holland H. D., Turekian K. K., ed.), kap. 9.02, Elsevier, Amsterdam 2005.
- Krejčová S.: *Diplomová práce*. VŠCHT Praha, Praha 2008.
- Jordan N., Foerstendorf H., Weiss S., Heim K., Schild D., Brendler V.: *Geochim. Cosmochim. Acta* 75, 1519 (2011).
- Liu R., Frost R. L., Martens W. N.: *Water Res.* 43, 1323 (2009).
- Peak D.: *J. Colloid Interface Sci.* 303, 337 (2006).
- Combs G. F., Gray W. P.: *Pharmacol. Ther.* 79, 179 (1998).
- Alexander D. E. (ed.): *Selenium Assessment in Aquatic Ecosystems*. Amherst, Springer 2002.
- Doušová B., Fuitová L., Grygar T., Machovič L., Koloušek D., Herzogová L., Lhotka M.: *J. Hazard. Mater.* 165, 134 (2009).
- Doušová B., Lhotka M., Machovič V., Grygar T., Herzogová L.: *Appl. Clay Sci.* 54, 166 (2011).
- Kosmulski M.: *J. Colloid Interface Sci.* 253, 77 (2002).
- Pitter P.: *Hydrochemie*, kap 3.5.2. Vydavatelství VŠCHT, Praha 1999.
- Sposito G., Skipper N. T., Sutton R., Park S., Soper A. K., Greathouse J. A.: *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 96, 3358 (1999).
- Bonnin D.: U.S. Patent No. 6042731 (2000).
- Doušová B., Grygar T., Martaus A., Fuitová L., Koloušek D., Machovič J.: *J. Colloid Interface Sci.* 302, 424 (2006).
- Kuan W. H., Lo S. L., Wang M. K., Lin Ch. F.: *Water Res.* 32, 915 (1998).
- Herzogová L.: *Diplomová práce*. VŠCHT Praha, Praha 2007.
- Randall S. R., Sherman D. M., Ragnarsdottir K. V.: *Geochim. Cosmochim. Acta* 65, 1015 (2001).
- Lin Z., Puls R., W.: *Adv. Environ. Res.* 7, 825 (2003).
- Elizade-González M. P., Mattusch J., Einicke W. D., Wennrich R.: *J. Environ. Monit.* 3, 22 (2001).
- Kolasinski K. W., v knize: *Surface Science*, kap. 4. Wiley, Chichester 2002.
- Vyhláška ministerstva zdravotnictví ČR č. 502 o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. Sbírka zákonů 2004.
- Fiol N., Villaescusa I.: *Environ. Chem. Lett.* 7, 79 (2009).

L. Herzogová^a, B. Doušová^a, M. Lhotka^b, V. Machovič^{c,d}, J. Schweigstillová^d, and D. Koloušek^a
(^a Department of Solid State Chemistry, ^b Department of Inorganic Chemistry, ^c Laboratory of Molecular Spectroscopy, Institute of Chemical Technology, Prague, ^d Institute of Rock Structure and Mechanics, Academy of Sciences of the Czech Republic): **Adsorption of Toxic Selenium Oxoanions on Surface-Modified Kaolins**

Se is a trace element and an important micronutrient. At higher concentrations it may become a serious threat for the environment and human health. Se occurs in nature in organic or inorganic compounds (SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-}). The toxic compounds can be removed from water by adsorption on aluminosilicates (kaolins, bentonites, zeolites). The aim of this work was the preparation of new low-cost sorbents based on kaolins and determination of their stability. The adsorbents were prepared by treatment of kaolin with Fe^{2+} or Al^{3+} solution yielding mesoporous amorphous Fe^{III} or Al^{III} oxides/hydroxides. The obtained materials were selective adsorbents of Se^{IV} in water. The batch sorption was performed with 10–1500 mg l^{-1} aqueous Se solutions and evaluated using a Langmuir model. The removal of Se using the Al-treated kaolin was more effective than its Fe analog.