

## Co<sup>2+</sup> jonų sorbcija amorfinės ir kristalinės struktūros ceolitinu sorbentu

J. Donėlienė, D. Vaičiukynienė, A. Kantautas

Kauno technologijos universitetas,  
Radvilėnų pl. 19, LT-50254 Kaunas, Lietuva  
El. paštas: [jolanta.doneliene@ktu.lt](mailto:jolanta.doneliene@ktu.lt)

Gauta 2010 m. balandžio 27 d.; priimta spaudai 2010 m. gegužės 13 d.

Darbe tirta Co<sup>2+</sup> jonų sorbcija skirtingų agregatinių būsenų sorbentais: aliumosilikatiniais geliais ir kristaliniu NaX ceolitu. Šie NaX ceolitai buvo susintetinti sumaišant pradinis natrio silikato ir natrio aluminato vandeninius tirpalus tokiomis proporcijomis, kad gauto mišinio moliniai santykiai būtų Na<sub>2</sub>O / SiO<sub>2</sub> = 1,2; SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10; H<sub>2</sub>O / Na<sub>2</sub>O = 23. Aliumosilikatinis gelis susidarė iš karto sumaišius minėtus tirpalus. Po 72 h gelio sendinimo kambario temperatūroje susiformavo sendintas aliumosilikatinis gelis – amorfinis NaX ceolitas. Nuolat maišomą jo suspensiją palaikius 95 °C temperatūroje 3 h gautas kristalinis NaX. Nesendinti aliumosilikatiniai geliai be sendinimo ir po 72 h sendinimo bei NaX ceolitas buvo užpilti 117 mg/l Co<sup>2+</sup> koncentracijos CoSO<sub>4</sub> tirpalu ir izoterminėmis sąlygomis 23 °C temperatūroje tirta Co<sup>2+</sup> jonų sorbcijos kinetika. Nustatyta, kad šioje temperatūroje aliumosilikatinių gelių sorbcinė geba yra 22,09 mg/g, o kristalinio NaX ceolito – 22,37 mg/g. Tirtomis sąlygomis intensyviausiai sorbcija vyksta pirmąsias 3 minutes.

### Įvadas

Aplinkos tarša sunkiaisiais metalais skatina naujų technologijų, kurios būtų pritaikomos sunkiesiems metalams šalinti, kūrimąsi. Sunkiaisiais metalais užterštų dirvožemių Lietuvoje yra nemažai [1], taigi jų nuklenksminimas aktualus. Kai kurie metalai gali užteršti aplinką, pakenkti žmogaus sveikatai.

Pagrindiniai teršiantys metalai: Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Co ir Zn [1]. Kadmis yra labai toksiškas ir lakus. Antropogeniniai veiksmai: šalinamos pramoninės atliekos, trąšų pramonė ir į aplinką patenkantys nutekamieji vandenys sukėlė kadmio susikaupimą ekosistemoje [2]. Nikelis plačiai naudojamas antikoroziniam metalinių konstrukcijų paviršiumi dengti, plieno ir spalvotųjų metalų lydiniuose, baterijų gamyboje [3], kasykloms drenuoti. Nikelio junginių yra dažų, rašalo ir porceliano emalio sudėtyje [4]. Geležies junginių sukeliama tarša yra daugelio pramonės šakų – dangų, automobilių gamybos, aeronautikos ir plieno pramonės – veiklos pasekmė [5]. Taršą chromo junginiais sukelia taip pat daug veiklų, pavyzdžiui, tekstilės dažymas, cheminių medžiagų ir pigmentų gamyba, medienos antiseptikai, odų rauginimo pramonė, galvaninių paviršių apdorojimas [6]. <sup>60</sup>Co yra vienas skystųjų radioaktyviųjų atliekų, kurios susidaro branduolinėje pramonėje, komponentų [7].

Metalų jonus, kurių koncentracijos nedidelės, iš vandeninių tirpalų pašalinti yra sunku. Sunkiųjų metalų šalinimo iš pramoninių nutekamųjų vandenų tradiciniai metodai yra koaguliacija, nusodinimas, jonų mainai, cementsavimas, elektrokoaguliacija, atvirkštinis osmosas [8]. Šie metodai ne tik yra brangūs, bet ir turi keletą trūkumų, pavyzdžiui, neviseiškas metalų pašalinimas, didelės energijos ir reagentų sąnaudos, dideli susikaupiančių kenksmingų nuosėdų kiekiai [9]. Todėl vienas galimų situacijos sprendimo būdų yra adsorbicija. Šiuo metu žinoma ir priinama nemažai pigių adsorbentų, kuriais galima šalinti

sunkiuosius metalus. Šiems adsorbentams priskiriama daug medžiagų [10–14], tarp jų ir ceolitai.

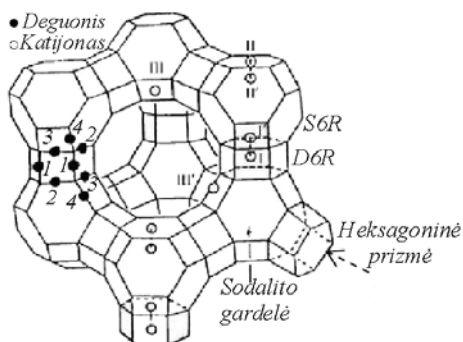
Ceolitai turi didelę gebą sorbuoti divalenčius sorbatus. Erdemas ir kiti teigia, kad gamtiniai ceolitai turi didelį potencialą sorbuoti Co<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup> jonus ir gali būti naudojami kaip alternatyva aktyvuotoms anglims [15]. Kiti mokslininkai ceolitą A naudoja kaip jonų mainų medžiagą, kuri taip pat turi didelį potencialą vario, kadmio, nikelio sorbcijai [16, 17].

Ceolitų sorbcinę gebą lemia kristalinė gardelė, turinti silikatinį karkasą, sudarytą iš tarpusavyje sujungtų SiO<sub>4</sub> ir AlO<sub>4</sub> tetraedrų. Ceolituose (Si + Al) / O santykis turi būti lygus 1/2. Ceolitų struktūroje neigiamas krūvis susidaro tetraedriniame karkase Si<sup>4+</sup> jonus pakeitus Al<sup>3+</sup> jonais. Katijonai išsidėsto ceolitinėse tuštumose, prie elektoriškai nesubalansuotų tetraedrų. Ceolitų struktūroje yra didelės laisvos erdvės, į kurias gali patekti dideli katijonai, tokie kaip natrias, kalis, baris, kalcis, ir netgi palyginus didelės molekules bei jų grupės (vanduo, amoniakas, karbonato, nitrato jonai) [18].

Ceolitas NaX (cheminė formulė Na<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>Si<sub>2,4</sub>O<sub>8,8</sub>·6,7H<sub>2</sub>O) yra mikroporinga kristalinė medžiaga – sintetinė gamtinio mineralo aliumosilikato fožazito forma. Jo struktūrinis fragmentas susideda iš 8 sodalito gardelių ir 16 heksagoninių prizmių. Gardelėje susidarančios ertmės skersmuo yra 1,3 nm, kuris prieinamas per 0,74 nm skersmens 12-žiedžius langus, aplink gardelę išsidėstančius tetraedrų. Šioje struktūroje yra daug Na<sup>+</sup> katijonų, kurie gali būti pakeisti sunkiųjų metalų katijonais. Jie užima šešias papildomas kristalografines sritis struktūroje (SI, SI', SII, SII', SIII, SIII') (1 pav.) [19].

M. J. Zamzow su bendraautoriais [20] nustatė, kad klinoptilolitas iš vandeninių tirpalų geriausiai sorbuoja Pb<sup>2+</sup> jonus. Co<sup>2+</sup> jonai yra maždaug sorbcinės eilės viduryje:

Pb > Cd > Cs > Cu(II) > Co(II) > Cr(III) > Zn > Ni(II) > Hg(II).



1 pav. Fožazito struktūra, kurioje aiškiai nurodytos keturios deguonies atomų buvimo vietos ir galimos katijonų pozicijos [19]

Buvo išnagrinėtas kobalto šalinimas ceolitais ir moliais [7, 21–25]. Garcia-Sosa ir M. Solache-Rios [26], palyginę gautus savo tyrimo rezultatus su kitų mokslininkų duomenimis [21, 22] pagal gebėjimą sorbuoti  $\text{Cd}^{2+}$  ir  $\text{Co}^{2+}$ , gavo šitokią seką: ceolitas X > ceolitas Y > erionitas.

Hsiao-Lan Chang ir Wei-Heng Shih tyrė  $\text{Co}^{2+}$  jonų adsorbciją A ir X ceolitais, susintetintais iš anglies pelelių. Nustatyta, kad susintetinto X ceolito sorbcinis imlumas lygus 83,1 % komercinio X ceolito imlumui (3,54 mg-ekv/g) [22, 27].

Pagal Lietuvos higienos normas žaliajame vandenyje kobalto ir jo junginių koncentracija turi būti ne didesnė kaip 0,1 mg/l [28].

Literatūroje pasigendama duomenų, kaip ceolitų sorbcinė geba priklauso nuo ceolitinio sorbento agregatinės būsenos. Šiame darbe tirtos aliumosilikatinių gelių ir kristalinio NaX ceolito sorbcinės savybės.

## Naudotos medžiagos ir tyrimų metodika

NaX ceolito sintezei naudotas natrio silikato tirpalo, gauto amorfinį  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (savitasis paviršius  $S_{\text{pav.}} = 1301 \text{ m}^2/\text{kg}$ ; kaitmenys – 19,0 %) ištirpinus NaOH tirpale, ir natrio aluminato tirpalo, gauto  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (vyraujanti atmaina – gibsitais;  $S_{\text{pav.}} = 104,9 \text{ m}^2/\text{kg}$ ) ištirpinus NaOH tirpale, mišinys. Šie kambario temperatūros tirpalai buvo sumaišyti tokiomis proporcijomis, kad mišinio pradinių medžiagų moliniai santykiai būtų:  $\text{Na}_2\text{O} / \text{SiO}_2 = 1,2$ ;  $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 = 10$ ;  $\text{H}_2\text{O} / \text{Na}_2\text{O} = 23$  (pasirinkta pagal

literatūros duomenis [29]). Aliumosilikatinis gelis susidarė iš karto sumaišius tirpalus (toliau tekste I sorbentas). Gelio senėjimo įtakai sorbcinėms savybėms nustatyti gautas aliumosilikatinis gelis sendintas kambario temperatūroje 72 h (II sorbentas). Kristalinio ceolito sintezė atlikta 3 h nuolat maišant 24 h sendintą aliumosilikatinį gelį 95 °C temperatūroje (III sorbentas). Kietoji fazė nuo skystosios atskirta filtruojant. Ji praplauta distiliuotu vandeniu ir išdžiovinta 50 ± 5 °C temperatūroje.

Adsorbcijai naudotas 117 mg/l  $\text{Co}^{2+}$  koncentracijos  $\text{CoSO}_4$  tirpalas. Tyrimai atlikti imant 100 ml tirpalo ir 0,5 g ceolitinio sorbento. Po 3, 6, 9, 12, 15, 30 ir 60 min analizuoti adsorbcijos mėginiai. Kobalto jonų koncentracija tirpale nustatyta kiekybinės atominės absorbcinės spektroskopijos metodu.

Atominė absorbcinė spektroskopija atlikta *Spectr AA-20 plus* prietaisu: bangos ilgis 240,7 nm, optimalus darbo diapazonas 0,05 µg/ml.

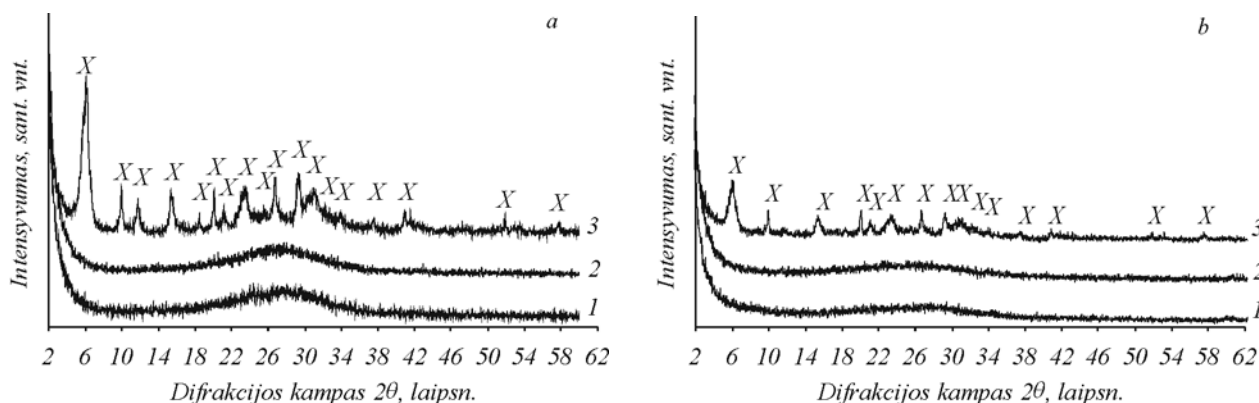
Rentgenodifrakcinė analizė atlikta difraktometru *DRON-6*. Naudota:  $\text{CuK}_\alpha$  spinduliuotė, Ni filtras, detektoriaus judėjimo žingsnis – 0,02°, anodinė įtampa  $U_a = 30 \text{ kV}$ , srovės stiprumas  $I = 20 \text{ mA}$ . Difrakcinės kreivės buvo užrašytos 2–60°  $2\theta$  kampų intervale, naudojant plokščią galinį grafito monochromatorių ( $d = 0,355 \text{ nm}$ ) ir matuojant intensyvumą žingsnyje  $\tau = 1 \text{ s}$ .

Dalelių pasiskirstymas ir savitasis paviršius nustatytas *Malvern* firmos prietaisu *Mastersizer 2000*. Raudonai šviesai išgauti naudotas helio–neono lazeris, mėlynai – kietos būsenos šviesos šaltinis. Matavimo principas – Mie sklaida.

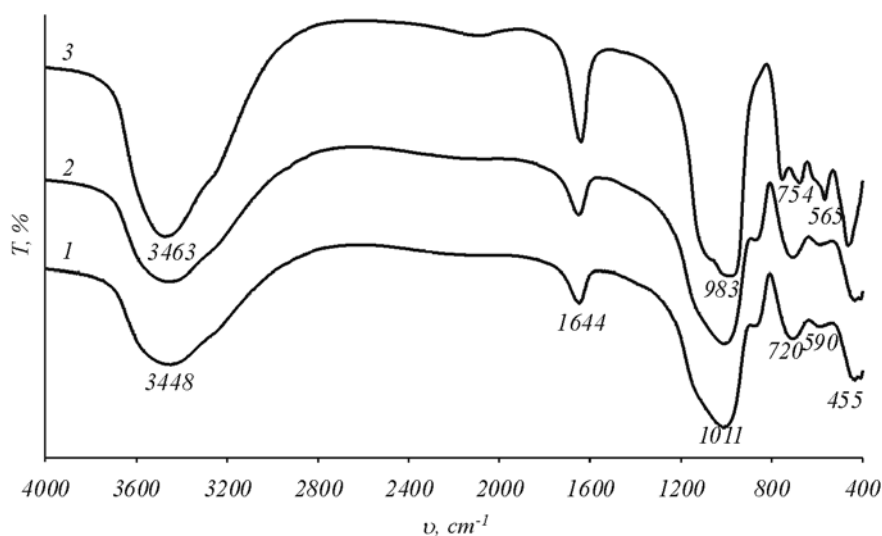
Suspensijos pH matuotas elektroniniu pH-metru 673 M.

## Rezultatai ir jų aptarimas

Atlikus susintetintų sorbentų rentgenografinę analizę nustatyta, kad I ir II sorbentai yra amorfinės būsenos (2 pav., a, 1 ir 2 kr.). Tačiau IR spektrai patvirtino, kad juose jau vyrauja NaX ceolitui būdingi cheminiai atomų ryšiai (3 pav.), nes I ir II sorbentai turi sintetiniam NaX ceolitui būdingas sugėrimo juostas: 983–1012  $\text{cm}^{-1}$  srityje asimetriniai valentiniai, 717–756; 564–590; 450–465  $\text{cm}^{-1}$  srityse simetriniai valentiniai, 450–465  $\text{cm}^{-1}$  srityje Si(Al)–O deformaciniai svyravimai.



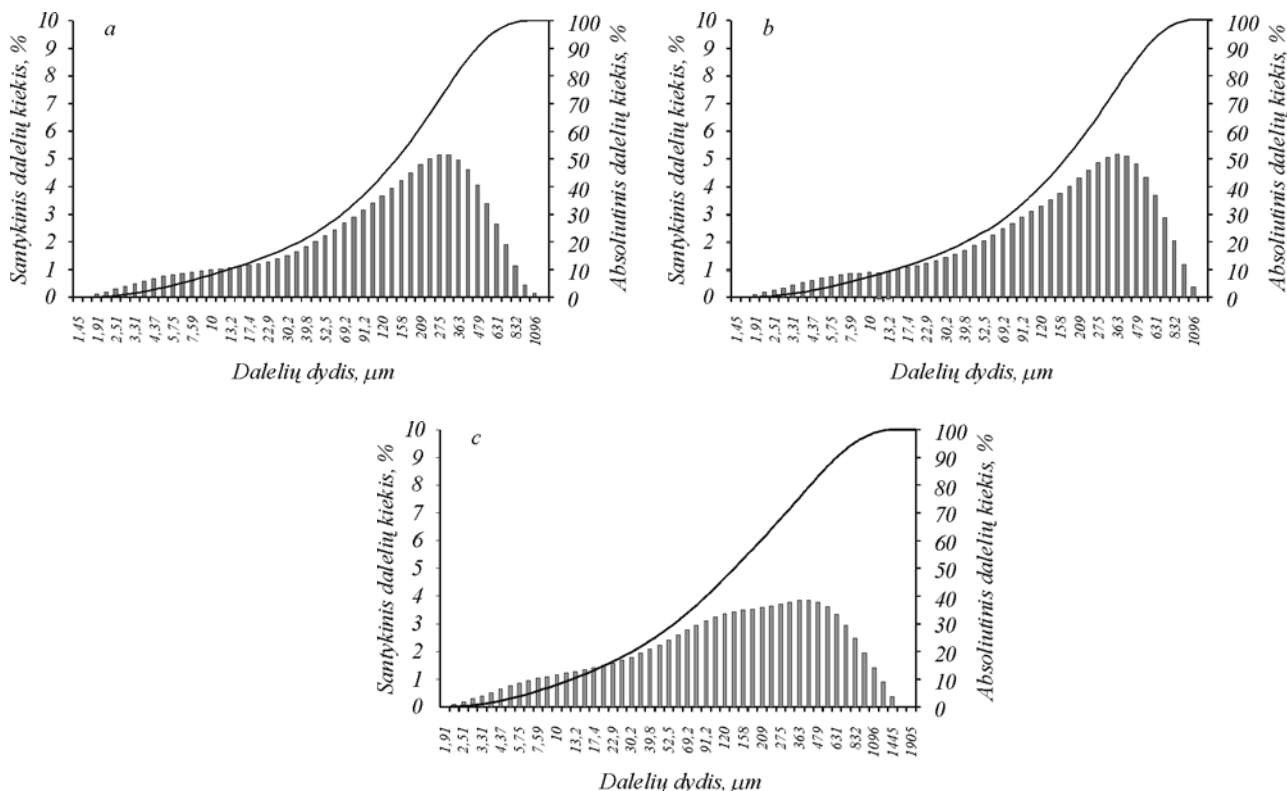
2 pav. 1, 2 ir 3 – atitinkamai I, II ir III sorbentų rentgenogramos prieš sorbciją (a) ir po jos (b). Žymenys: X – ceolitas NaX



3 pav. 1, 2 ir 3 – atitinkamai I, II ir III sorbentų IR kreivės

Gauti granulimetrinio tyrimo rezultatai parodė, kad susidariusio produkto dalelių dydis priklauso nuo ceolito agregatinės būsenos. Sorbentų dalelių granulimetrinis pasiskirstymo pobūdis yra panašus (4 pav.): I sorbento susidariusių dalelių skersmuo buvo 239,88–363,08 μm, II

sorbento – 316,23–416,87 μm, III sorbento – 316,23–549,54 μm. Pagal analizės rezultatus sorbentų savitieji paviršiai mažėja: I sorbento savitasis paviršius  $S_1 = 0,177 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ , II sorbento –  $S_2 = 0,172 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  ir III sorbento –  $S_3 = 0,163 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ .



4 pav. a, b ir c – atitinkamai I, II ir III sorbentų santykinio ir absoliutaus dalelių kiekio priklausomybė nuo dalelių dydžio

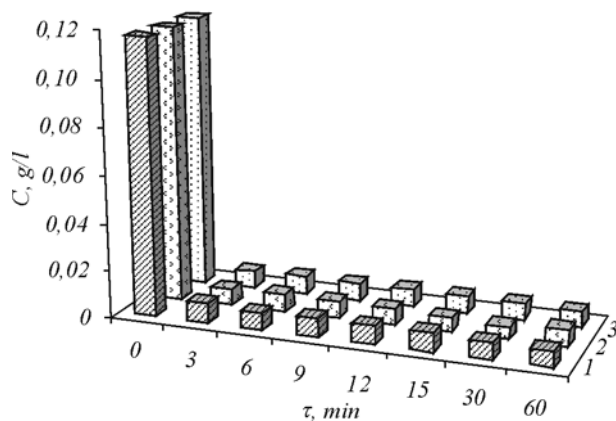
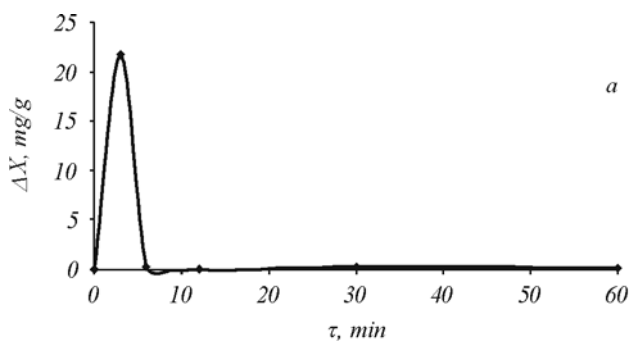
Ankstesni mokslininkų atlikti tyrimai patvirtino, kad gamtinis NaX ceolitas gerai sorbuoja iš tirpalų  $\text{Co}^{2+}$  jonus [27, 30].

Nustatyta, kad sorbcija intensyviai vyksta proceso pradžioje, nes tirti sorbentai per pirmąsias 3 min iš tirpalo pašalina didžiąją dalį  $\text{Co}^{2+}$  kationų ir vėliau per likusią

sorbcijos laiką  $\text{Co}^{2+}$  katijonų koncentracija jau beveik nekito (5 pav. ir 6 pav., a). Pažymėtina, kad sorbentų sorbcinė geba mažai priklauso nuo naudotos sorbento agregatinės būsenos. Todėl, būtų tikslinga naudoti pigesnius sorbentus, kurių sintezei reikia mažiau energetinių išteklių.

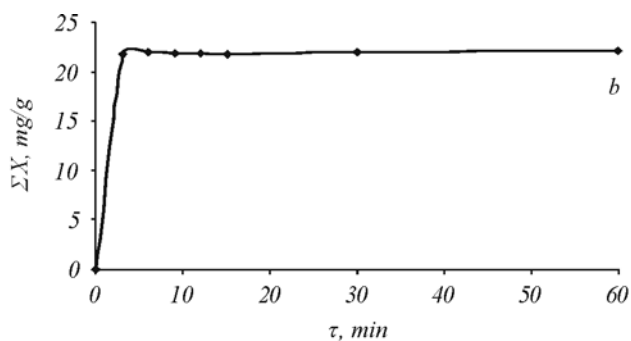
Nustatyta, kad po sorbcijos kristalino NaX ceolito smailių intensyvumas sumažėja ir kai kurios smailės išnyksta (0,753; 0,479; 0,380 nm) (2 pav., b, 3 kr.), nes ceolitas palaipsniui amorfizuojasi. Aliumosilikatinių gelių kreivės išlieka amorfino pobūdžio be papildomų naujų junginių smailių.

Lyginant tarpusavyje kristalinių ir amorfinių ceolitinių sorbentų sorbcijos tyrimų rezultatus, galima teigti, kad beveik tiek pat kobalto katijonų sorbuoja: nesendintas ir 72 h sendintas aliumosilikatinis gelis – 22,09 mg/g bei kristalinis NaX ceolitas, susintetintas iš 24 h sendinto aliumosilikatinio gelio, kristalinto 95 °C temperatūroje 3 h – 22,37 mg/g (6 pav., b). I ir III sorbentų  $\text{Co}^{2+}$  adsorbcijos kreivės analogiškos.



5 pav. I, 2 ir 3 – atitinkamai I, II ir III sorbentų  $\text{Co}^{2+}$  jonų adsorbcijos dinamika

6 pav. II sorbento  $\text{Co}^{2+}$  jonų adsorbcijos diferencinė (a) ir integralinė (b) kinetinės kreivės, esant pradinei 117 mg/l  $\text{Co}^{2+}$  jonų koncentracijai tirpale ir 23 °C temperatūrai



Sorbcijos eigai didelę įtaką turi adsorbtyvo pH [27]. Tirtų prieš sorbcijos procesą tirpalų pH, esant 117 mg/l pradinei  $\text{Co}^{2+}$  jonų koncentracijai, buvo 6,4, o sorbcijos metu padidėjo iki 6,99, esant I sorbentui; iki 6,79 – III sorbentui. Nežymus pH padidėjimas sietinas su natrio jonų išsiplovimu iš sorbento, tačiau jis didelės įtakos sorbcijos eigai neturėjo.

Šiek tiek daugiau skiriasi maksimalūs sorbciniai imlumai kobalto atžvilgiu. Didžiausias yra kristalino NaX ceolito – 3,32 mg-ekv/g, o amorfinių gelių mažesni: nesendinto gelio – 2,76 mg-ekv/g ir 72 h sendinto gelio sorbcinis imlumas – 3,26 mg-ekv/g.

## Išvados

1. Nesendinto aliumosilikatinio gelio pusiausvirinė sorbcinė geba, esant 23 °C temperatūrai ir 117 mg/l pradinei  $\text{Co}^{2+}$  jonų koncentracijai, yra 22,09 mg/g. Sendinto 72 h aliumosilikatinio gelio mainų geba  $\text{Co}^{2+}$  jonams siekia 22,09 mg/g, o kristalino NaX ceolito – 22,37 mg/g. Taigi galima teigti, kad tirti aliumosilikatiniai geliai ir kristalinis NaX ceolitas turi artimą pusiausvirinę sorbcinę gebą.

2. Nustatyta, kad naudojant tirtus ceolitinius sorbentus  $\text{Co}^{2+}$  jonų koncentracija tirpale per pirmąsias 3 min nuo proceso pradžios sumažėja nuo 117 mg/l iki 5,16–8,42 mg/l ir toliau kinta nežymiai.
3. Tirtų gelių (I ir II sorbentai) sorbcinė geba yra artima kristalino NaX ceolito (III sorbentas) sorbcinei gebai. Didžiausias maksimalus sorbcinis imlumas kobalto atžvilgiu yra III sorbento – 3,32 mg-ekv/g, o amorfinių gelių atitinkamai: nesendinto – 2,76 mg-ekv/g ir 72 h sendinto – 3,26 mg-ekv/g. Palyginus su komercinio NaX ceolito imlumu (3,54 mg-ekv/g) tai sudaro atitinkamai 77,97 % I sorbentui; 92,09 % II sorbentui ir 93,79 % III sorbentui.
4. Tirtu sintetinio NaX ceolito sorbcinė geba mažai priklauso nuo jo agregatinės būsenos. Todėl būtų tikslinga sorbentu naudoti 72 h sendintą amorfinį NaX ceolitą, kurio sintezei reikia mažiau energetinių išteklių.

## Literatūra

1. Vengris T., Binkienė R., Dieninis V. Dirvožemio valymas nuo vario jonų elektrolizės būdu // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 2000. Nr. 1 (11). P. 14–22.

2. **Aşçi Y., Nurbas M., Açıkel Y. S.** Sorption of Cd(II) onto kaolin as a soil component and desorption of Cd(II) from kaolin using rhamnolipid biosurfactant // *J. Hazard. Mater.* 2007. Vol. 139. P. 50–56.
3. **Sari A., Tuzen M., Uluozlu O. D., Soyak M.** Biosorption of Pb (II) and Ni (II) from aqueous solution by lichen (*Cladonia furcata*) biomass // *Biochem. Eng. J.* 2007. Vol. 37. P. 151–158.
4. **Hanif M. A., Nadeem R., Bhatti H. N., Ahmad N. R., Ansari T. M.** Ni (II) biosorption by *Cassia fistula* (Golden Shower) biomass. // *J. Hazard. Mater.* 2007. Vol. 139. P. 345–355.
5. **Yeddou N., Bensmaili A.** Equilibrium and kinetic modelling of iron adsorption by eggshells in a batch system: effect of temperature // *Desalination.* 2007. Vol. 206. P. 127–134.
6. **Agrawal A., Kumar V., Pandey B. D.** Remediation options for the treatment of electroplating and leather tanning effluent containing chromium – a review // *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review.* 2006. Vol. 27. P. 99–130.
7. **Carrera L. M., Gomez S., Bosch P., Bulbulian S.** // *Zeolites.* 1993. Vol. 13. P. 622.
8. **Ahluwalia S. S., Goyal D.** Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater // *Bioresour. Technol.* 2007. Vol. 98. P. 2243–2257.
9. **Krishnani K. K., Meng X., Christodoulatos C., Boddue V. M.** Biosorption mechanism of nine different heavy metals onto biomatrix from rice husk // *J. Hazard. Mater.* 2008. Vol. 153. P. 1222–1234.
10. **Bailey S. E., Olin T. J., Bricka R. M., Adrian D. D.** A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals // *Water Research.* 1999. Vol. 33. P. 2469–2479.
11. **Crini G.** Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review // *Biores. Tech.* 2006. Vol. 97, N 9. P. 1061–1085.
12. **Cochrane E. L., Lu S., Gibb S. W., Villaescusa I.** A comparison of low-cost biosorbents and commercial sorbents for the removal of copper from aqueous media // *J. Haz. Mat.* 2006. Vol. 137, N 1. P. 198–206.
13. **Li X. G., Hao F., Huang M. R.** Natural sorbents for mercury-ion removal. // *Prog. Chem.* 2008. Vol. 20, N 2. P. 233–238.
14. **Štefušová K., Václavíková M., Gallios G. P., Jakabský Š., Kozáková I., Ivanovičová L., Gešperová D.** Sorption of arsenic on synthetic akaganeite // *Proc. 11th Conf. Environment and Mineral Processing, Part II, Ostrava (CZE), 2007.* P. 71–74.
15. **Erdem E., Karapinar N., Donat R.** // The removal of heavy metal cations by natural zeolites // *J. Colloid. Interface Sci.* 2004. Vol. 280. P. 309–314.
16. **Biškup B., Subotić B.** Kinetic analysis of the exchange processes between sodium ions from zeolite A and cadmium, copper and nickel ions from solutions // *Separation and Purification Technology.* 2004. Vol. 37. P. 17–31.
17. **Traidaraitė A., Balandis A., Urbelytė J.** Kubinio ir tetragoninio analcimo panaudojimas jonų mainų reakcijose // *Cheminė technologija.* 2008. Nr. 2 (48). P. 42–47.
18. **Lee S. H., Moon G. K., Choi S. G., Kim H. S.** Molecular-Dynamics Simulation Studies of Zeolite-A. 3. Structure and Dynamics of Na<sup>+</sup> Ions and Water Molecules in a Rigid Zeolite-A // *J. Phys. Chem.* 1994. Vol. 98, N 6. P. 1561–1569.
19. **Schenkel R.** Sorption of small polar molecules on micro- and mesoporous zeolitic materials (dissertation). München, 2004. P. 14–15. [http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=971839387&dok\\_var=d1&dok\\_ext=pdf&filename=971839387.pdf](http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=971839387&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=971839387.pdf); 2010.04.07
20. **Zamzow M. J., Eichbaum B. R., Sandgren K. R., Shanks D. E.** Removal of Heavy Metals and Other Cations from Wastewater Using Zeolites // *Separation Science and Technology.* 1990. Vol. 25. P. 1555–1569.
21. **Nava I., Garcia-Sosa I., Solache-Rios M.** // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1995. Vol. 191, N 1. P. 83–87.
22. **Areilano F., Garcia-Sosa I., Solache-Rios M.** // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1995. Vol. 199. P. 107.
23. **Bosch P., Garcia I., Solache-Rios M., Bulbulian S.** // *Separation Science and Technology.* 1995. Vol. 30. P. 3399.
24. **Solache-Rios M., Garcia I., Martinez-Miranda V., Bosch P., Bulbulian S.** // *J. Radioanal. Nud. Chem.* 1995. Vol. 191. P. 87.
25. **Garcia I., Solache-Rios M., Bosch P., Bulbulian S.** // *J. Phys. Chem.* 1993. Vol. 97. P. 1249.
26. **Garcia-Sosa I., Solache-Rios M.** // Sorption of cobalt and cadmium by Mexican erionite. 1997. Vol. 218, N 1. P. 77–80.
27. **Chang H. S., Shih W. H.** // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2000. Vol. 39. P. 4185–4191.
28. Dėl Lietuvos higienos normos HN 48:2001 „Žmogaus vartojamo žalio vandens kokybės higieniniai reikalavimai“ patvirtinimo [http://sena.sam.lt/lt/main/teisine\\_informacija/higienos\\_normos?id=24461](http://sena.sam.lt/lt/main/teisine_informacija/higienos_normos?id=24461); 2010-04-13
29. **Брек Д.** Цеолитовые молекулярные сита. Москва, 1976. С. 741.
30. **Lima E. J., Bosch P., Lara V. H., Bulbulian S.** Fractal dimension and cobalt leaching in CoX and CoA zeolites // *Chem. Mater.* 2004. Vol. 16(11). P. 2255–2258.

J. Donėlienė, D. Vaičiukynienė, A. Kantautas

## Co<sup>2+</sup> ION SORPTION BY AMORPHOUS AND CRYSTALLINE ZEOLITE SORBENT

### S u m m a r y

Co<sup>2+</sup> ion sorption by sorbents of different physical state – aluminosilicate gels and crystalline NaX zeolite – was studied. These NaX zeolites were synthesized by mixing the initial sodium silicate and sodium aluminate aqueous solutions in the proportions so as to ensure the following molar ratios of this mixture: Na<sub>2</sub>O / SiO<sub>2</sub> = 1.2; SiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 10; H<sub>2</sub>O / Na<sub>2</sub>O = 23. Aluminosilicate gel was formed immediately after mixing the above-mentioned solutions. After 72 h of aging at room temperature, the gel was formed in aged aluminosilicate gel – amorphous NaX zeolite. By stirring the slurry for 3 h, crystalline NaX zeolite was obtained at 95 °C. At 23 °C, Co<sup>2+</sup> ion sorption kinetics was studied by filling up aluminosilicate gels without aging and after 72 h of aging, and NaX zeolite with of Co<sup>2+</sup> concentration 117 mg/l in CoSO<sub>4</sub> solution. At this temperature, the aluminosilicate gel sorption capacity was 22.09 mg/g and of crystalline zeolite NaX 22.37 mg/g. In the study conditions, sorption was most intensive during the first 3 minutes.