

Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, Македонија
Факултет за природни и технички науки

University „Goce Delcev“, Stip, Macedonia
Faculty of Natural and Technical Sciences

UDC: 622:55:574:658

ISSN: 185-6966

Природни ресурси и технологии
Natural resources and technology



ПРИРОДНИ РЕСУРСИ И ТЕХНОЛОГИИ
NATURAL RESOURCES AND TECHNOLOGY

За издавачот:

Проф. д-р Благој Голомеов

Издавачки совет

Проф. д-р Саша Митрев
Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Зоран Десподов
Доц. д-р Дејан Мираковски
Проф. д-р Кимет Фетаху
Проф. д-р Ѓорѓи Радулов

Editorial board

Prof. Saša Mitrev, Ph.D
Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Ass. Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D
Prof. Kimet Fetahu, Ph.D
Prof. Gorgi Radulov, Ph.D

Редакциски одбор

Проф. д-р Благој Голомеов
Проф. д-р Борис Крстев
Проф. д-р Мирјана Голомеова
Проф. д-р Зоран Панов
Проф. д-р Зоран Десподов
Доц. д-р Дејан Мираковски

Editorial staff

Prof. Blagoj Golomeov, Ph.D
Prof. Boris Krstev, Ph.D
Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D
Prof. Zoran Panov, Ph.D
Prof. Zoran Despodov, Ph.D
Ass. Prof. Dejan Mirakovski, Ph.D

Главен и одговорен уредник

Проф. д-р Мирјана Голомеова

Managing & Editor in chief

Prof. Mirjana Golomeova, Ph.D

Јазично уредување

Даница Гаврилоска-Атанасовска
(македонски јазик)

Language editor

Danica Gavrilovska-Atanasovska
(macedonian language)

Техничко уредување

Славе Димитров
Благој Михов

Technical editor

Slave Dimitrov
Blagoj Mihov

Печати

Печатница „2-ри Август“ - Штип

Printing

„2-ri Avgust“ - Stip

Редакција и администрација

Универзитет „Гоце Делчев“ - Штип
Факултет за природни и технички науки
ул. „Гоце Делчев“ 89, Штип
Р. Македонија

Address of the editorial office

Goce Delcev University - Stip
Faculty of Natural and Technical Sciences
Goce Delcev 89, Stip
R. Macedonia

СОДРЖИНА

Зоран ДЕСПОДОВ Технологија за товарење и транспорт на материјалот при брза изработка на тунели	5
Зоран ПАНОВ, Сашо ЈОВЧЕВСКИ, Благојче МИТРЕВСКИ, Делчо КАРАКАШЕВ Избор на технолошки систем за експлоатација на јаглен во наоѓалиштето „Брод – Гнеотино“ – Битола.....	15
Dejan MIRAKOVSKI, Zoran DESPODOV, Goran POP ANDONOV, Stojance MIJALKOVSKI, Nikola MEHANDZISKI Application of monte carlo simulation for risk evaluation in mineral investment projects.....	25
Афродита ЗЕНДЕЛСКА, Благој ГОЛОМЕОВ, Борис КРСТЕВ, Александар КРСТЕВ Примена на електрофлотацијата за искористување на фини и ултрафини честички	33
Николинка ДОНЕВА, Марија ХАЦИ НИКОЛОВА Современи технологии за изработка на подземни хоризонтални рударски објекти.....	41
Сашко ИВАНОВ Анализа на ефикасноста на единичен PDC секач во средини со цврсти карпи.....	49
Alexandar KRSTEV, Boris KRSTEV, Blagoj GOLOMEOV, Mirjana GOLOMEOVA Application of mathematical methods for hydrocyclones with lagrange multipliers	59
Alexandar KRSTEV, Boris KRSTEV, Blagoj GOLOMEOV, Mirjana GOLOMEOVA Computer programmes for mineral processing presentation	67
Виолета СТОЈАНОВА, Гоше ПЕТРОВ, Блажо БОЕВ, Виолета СТЕФАНОВА Дијатомејска флора од наоѓалиштето Вешје во близина на Неготино - Р. Македонија	83
Виолета СТЕФАНОВА, Виолета СТОЈАНОВА Применети методи на истражување на појави и наоѓалишта на злато во Р. Македонија	93

Дељо КАРАКАШЕВ, Тена ШИЈАКОВА-ИВАНОВА, Зоран ПАНОВ, Елизабета КАРАКАШЕВА, Томе ДАНЕВСКИ Архитектонско-градежен и технички камен во Р. Македонија.....	103
Dobriela ROGOZAREVA Review of the hidrothermal alterations in cu deposit ilovitza-eastern macedonia	113
Радмила КАРАНАКОВА-СТЕФАНОВСКА, Благица ДОНЕВА, Стојанче МИЈАЛКОВСКИ Влијанието на површинската експлоатација врз животната средина	123
Марија ХАЦИ-НИКОЛОВА, Николинка ДОНЕВА Енергетската ефикасност во функција на унапредување на квалитетот на животната средина	131
Афродита ЗЕНДЕЛСКА, Мирјана ГОЛОМЕОВА, Благој ГОЛОМЕОВ, Александар КРСТЕВ Примена на зеолитите за прочистување на отпадни води со помош на јонска размена и апсорпција	141
Мирјана ГОЛОМЕОВА, Афродита ЗЕНДЕЛСКА, Борис КРСТЕВ, Александар КРСТЕВ Гравитацииска сепарација за третман на отпадна вода загадена со масла	151
Тена ШИЈАКОВА-ИВАНОВА, Весна ЗАЈКОВА-ПАНЕВА, Гордана КАМЧЕВА, Дељо КАРАКАШЕВ Содржината на калциум и магнезиум во водите за пиење и нивното влијание на кардиоваскуларните заболувања	157
Дејан МИРАКОВСКИ, Марија ХАЦИ-НИКОЛОВА, Николинка ДОНЕВА Управување на цврст комунален отпад	167
Николче РУНЧЕВ, Борис КРСТЕВ, Благој ГОЛОМЕОВ Лидери и менаџери - лидерство, моќ и промени	175
Николче РУНЧЕВ, Борис КРСТЕВ, Мирјана ГОЛОМЕОВА Корпоративно управување наспроти корпоративен менаџмент.....	187
Emilija RISTOVA, Zoran PANOV An approach of systems analysis of crm and improving customer satisfaction trough the management of perception of waiting	199
Николче РУНЧЕВ, Зоран ДЕСПОДОВ, Борис КРСТЕВ Глобализацијата и движењето на финансискиот капитал	207

UDC: 574.63

Стручен труд

**ПРИМЕНА НА ЗЕОЛИТИТЕ ЗА ПРОЧИСТУВАЊЕ НА
ОТПАДНИ ВОДИ СО ПОМОШ НА ЈОНСКА РАЗМЕНА И
АПСОРПЦИЈА****Афродита Зенделска¹, Мирјана Голомеова*, Благој Голомеов*,
Александар Крстев******Апстракт**

Зеолитите се алумосиликатни минерали кои заради порозната структура често се користат како комерцијални апсорбенти. Во овој труд е опишана примената на зеолитите при прочистувањето на отпадните води. Посебно се опишани процесот на јонска размена и процесот на апсорпција кои се користат за отстранување на одредени состојки, како што се и тешките метали од отпадната вода.

Клучни зборови: *зеолити, тешки метали, отпадна вода, јонска размена, апсорпција.*

**APPLICATIONS OF ZEOLITES FOR WASTEWATER TREATMENT
WITH ION EXCHANGE AND ADSORPTION****Afrodita Zendelska¹, Mirjana Golomeova*, Blagoj Golomeov*,
Aleksandar Krstev******Abstract**

Zeolites are aluminosilicate minerals that due to the porous structure is often used as a commercial absorbent. This paper described the application of zeolites for purification of waste waters. Specifically described the process of ion exchange and adsorption processes used for removal of certain ingredients, such as heavy metals from waste water.

Key words: *zeolites, heavy metals, waste water, ion exchange, adsorption.*

1) Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Факултет за природни и технички науки, Штип, Р. Македонија

* Факултет за информатика, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Р. Македонија
Faculty of Natural & Technical Sciences, University “Goce Delchev” Stip, R. Macedonia

** Faculty of Informatics, UGD – Shtip, R. Macedonia

Вовед

Зеолитите се микропорести, алуминосиликатни минерали кои често се користат како комерцијални апсорбенти. Терминот зеолит доаѓа од грчките зборови: ζέω (zeō), што значи „врие“ и λίθος (lithos), што значи „камен“.

Идентификувани се 175 уникатни зеолитни форми, а познати се над 40 кои се формираат природно. Зеолитите имаат порозна структура која може да се смести во широк спектар на катјони, како Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и други. Овие позитивни јони се во лабава врска и лесно може да се разменат за други кога ќе дојдат во контакт. Некои од почестите зеолити се аналким, чабазит, клиноптилолит $(\text{Na},\text{K})\text{AlSi}_5\text{O}_{12}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, хојландит, натролит $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, филипзит и стилбит.

Природни зеолити се формираат таму каде што вулканските карпи и слоевите пепел реагираат со алкалните подземни води. Зеолитите кои се формираат природно, ретко се чисти и се контаминирани во различен степен од други минерали, метали, кварц или други зеолити. Поради оваа причина, истите се исклучени од многу важни комерцијални апликации каде еднообразноста и чистотата се од суштинско значење.

Зеолитите се алуминосиликатни членови на семејството на микропорести цврсти материи познати како „молекуларни сита“. Терминот *молекуларно сито* особено се однесува на својствата на овие материјали, т.е. способноста за селективно сортирање на молекули. Ова се должи на постојаноста на порестата структура во молекуларни димензии. Максималната големина на молекуларните или јонски видови кои можат да влезат во порите на зеолитот е контролирана од димензиите на каналите. Конвенционално тие се дефинирани со големината на прстенот на отворот. Овие прстени не се секогаш совршено симетрични, а тоа се должи на различните ефекти, вклучувајќи ги и тензиите предизвикани од страна на поврзувањето меѓу единиците кои се потребни за производство на целокупната структура или за координација на некои од атомите на кислород од прстените на катјоните во рамките на структурата. Затоа, порите на многу зеолити не се цилиндрични.

Големата употреба на зеолитите произлегува од нивните посебни својства:

- може да делуваат со вода и да се изврши апсорпција или да се реализира јонска размена;
- може селективно да ги апсорбираат јоните кои се вклопуваат во шуплините во нивните структури (молекуларни сита);
- може да се одржат во големи молекули и да помогнат при раскинувањето во помали парчиња (каталитичко пукање).

Примената на зеолитите е голема при прочистување на отпадните води од тешки метали, како резултат на својствата на зеолитите за јонска размена и апсорпција.

Покрај тоа, зеолитите се користат како омекнувачи на водата. Се користат и за отстранување на радиоактивниот стронциум-90 (Sr^{90}) и цезиум-137 (Cs^{137}) од радиоактивен отпаден раствор со поминување преку природен зеолит, клиноптилолит. Исто така, се користат и за пречистување на радиоактивен отпад. Покрај тоа, клиноптилолитот се користи за чистење на амониумни јони (NH_4^+) од канализациони и земјоделски отпадни води.

Сулфур диоксидот (SO_2) е загадувач кој се создава при согорувањето на високосулфурен јаглен. Тој е една од главните причини за киселите дождови. Природните зеолити сè уште се најефикасни филтри за апсорпција на сулфур диоксидот од отпадните гасови. За подобрување на квалитетот на воздухот, зеолитите може да се користат за чистење на гасовите од електроцентралите, кои горат високосулфурен јаглен.

Во индустријата најчесто се користат синтетички зеолити со голема чистота, кои имаат поголеми шуплини од природните зеолити. Овие поголеми шуплини овозможуваат синтетичките зеолити да можат да апсорбираат молекули, какви што природните зеолити не можат. Некои зеолити се користат како молекуларни сита за отстранување на вода и азотни нечистотии од природниот гас. Поради нивната способност да делуваат со органски молекули, зеолитите се важни во рафинирањето и прочистувањето на природниот гас и нафтените хемикалии.

Јонска размена

Јонската размена е една од најчесто користените методи за отстранување на металите од водите. Освен зеолитите, за размена на металите се користат слаби и силни анјони и катјони, како и бактериска и растителна биомаса.

Јонската размена спаѓа во хемиски метод за пречистување на отпадните води. Јонската размена е процес во кој даден вид јони од нерастворлив материјал се поместуваат од различни видови јони во растворот. Најширока распространета употреба на овој процес е во омекнувањето на водата за домаќинството, отстранување на азот, тешки метали и целосно растворени цврсти материји.

Процесот на јонска размена може да се изврши во серија или континуирано. Во сериски процес, смолата се поттикнува со вода за да реагира во реакторот и се добива комплетна реакција. Употребената смола се отстранува со таложење и подоцна се регенерира за повторна

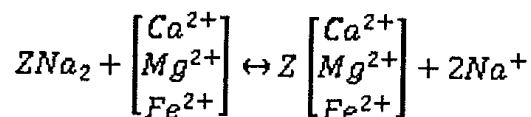
употреба. Во континуиран процес, променливиот материјал е поставен како постелка или како колони, и водата реагира поминувајќи низ нив. При континуираната јонска размена протоколот, обично, е во вид на колони. Отпадната вода влегува озгора од колоната под притисок, поминува надолу низ смолната постелка и излегува низ долниот дел. Кога капацитетот на смолата е исцрпен, колоната се измива за да се отстранат зафатените цврсти материи и потоа се регенерира.

Природни материјали кои се користат за јонска размена се зеолитите. Се користат за омекнување на водата и за отстранување на амониумски јони. Зеолитите коишто се користат за омекнување на водата се комплексни алумосиликати со натриум како мобилен јон. При отстранување на амониумските јони се користи природен зеолит, клиноптиолит. Направени се синтетички алумосиликати, но најчесто синтетички материјали за јонска размена се смолите или карболните полимери. Постојат пет вида на синтетички смоли за јонска размена и тоа: силно кисели катјони, слабо кисели катјони, силно базни анјони и слабо базни анјони и смоли за селектирање на тешките метали.

Важни својства на смолите за јонска размена се: капацитет на размена, големина на честичките и стабилност. Капацитетот на размена на смолите е дефиниран како количина на јони што може да се разменат. Капацитетот на размена на смолите е искажан како eq/l или eq/kg (meq/l или meq/g). Големината на честичките на смолата е важна за хидраликата на колоните за јонска размена и кинетиката на јонската размена. Главно, односот на размената е обратно пропорционален од површината и дијаметарот на честичката. Стабилноста на смолата е важна за подолготрајна способност на смолата. Хемиската деградација и структурната промена во смолата предизвикани од физички напрегања се важен фактор што може да биде временска граница за користењето на смолата.

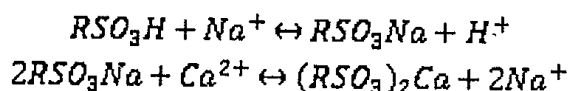
Типични реакции на јонска размена за природни и синтетички материјали се дадени подолу.

За природен зеолит (Z):

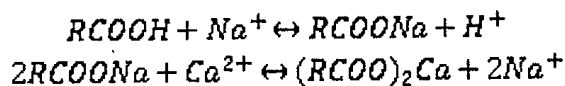


За синтетички зеолит (R):

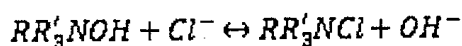
- силно кисела катјонска размена



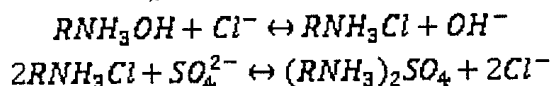
- слабо кисела катјонска размена



- силно базна катјонска размена



- слабо базна катјонска размена

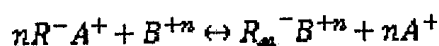


Капацитетот на размена варира со видот и концентрацијата на обновувачот што се користи за обновување на смолата. Капацитетот на размена на синтетичките смоли е во границите од 2 до 10 eq/kg смола; разменливите катјони на зеолитот имаат капацитет на размена од 0,05 до 0,1 eq/kg. Капацитетот на размена се мери со поставување на смолата во позната количина. Катјонската смола треба да се третира со силна киселина за да се заземат сите променливи места од смолата во H^+ форма или да се третира со силен NaCl раствор за да се заземат сите променливи места во Na^+ форма. Раствор со позната концентрација на променливи јони (како на пример Ca^{2+}) може да се додава сè додека размената не е комплетна за да може да се измери капацитетот на размена. Во кисел случај, смолата се титрира со силна база.

Капацитетот на размена за смоли често се искажува со грами $CaCO_3$ наспрема кубен метар смола (g/m^3) или грам еквиваленти наспрема кубен метар ($g \text{ eq}/m^3$). Претворањето помеѓу овие две единици е извршено користејќи ги следниве искази:

$$\frac{1 \text{ eq}}{m^3} = \frac{(1 \text{ eq}) \left(\frac{50 g CaCO_3}{\text{eq}} \right)}{m^3} = \frac{50 g CaCO_3}{m^3}$$

Процесот на јонска размена хемиски може да се претстави со следнава равенка, при што А е катјонска разменлива смола и В е растворот:

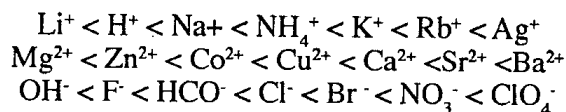


каде R^- е анјонска група прикачена за јоно изменувачката смола; А и В се катјони во растворот. Основната форма на рамнотежата се искажува со следнава реакција:

$$\frac{[A^+]_S^n [R^-_n B^{+n}]_R}{[R^- A^+]_R^n [B^{+n}]_S} = K_{A^+ \rightarrow B^{+n}}$$

каде $K_{A^+ \rightarrow B^{+n}}$ е коефициент на селективност
 $[A^+]_S$ е концентрација на А во растворот
 $[R^- A^+]_R$ е концентрација на А во јоно изменувачката смола.

Коефициентот на селективност зависи примарно од природата и валенцијата на јонот, видот на смолата и претставува заситеност и концентрација на јони во отпадната вода и важи за тесни граници на рН. Коефициентите на селективност за катјонска и анјонска смола се дадени во таб.1 и таб.2. За синтетички катјонски и анјонски смоли, карактеристични се сериите:



Во пракса, коефициентот на селективност се пресметува со мерење во лабораторија и важи само за условите под кои е вршено мерењето. На помала концентрација, вредноста на коефициентот на селективност за размена на моновалентни јони од двовалентни јони, главно, е поголем отколку за размена на моновалентни јони од моновалентни јони. Овој факт, во многу случаи, го ограничува користењето на синтетички смоли за отстранување на некои супстанции од водата, како што се амонијакот во форма на амониумов јон.

Процесот на јонска размена зависи од рН вредноста. рН вредноста на растворот битно влијае на присутните метали и интеракцијата помеѓу разменливите јони и смолата. Најмногу метали подобро се поврзуваат на повисока рН вредност.

Апсорпција

За отстранување на одредени состојки од отпадната вода, како што се тешките метали, се користи и апсорпцијата. Материјали кои се користат како добри апсорбенти се: зеолит во гранули или прав, активен јаглен

во гранули или прав, синтетички полимери и апсорбенти базирани на силикати.

Апсорпција е процес на акумулација на супстанции кои се во раствор врз погодна површина. Апсорбат е супстанца која се отстранува од течната фаза врз некоја површина. Апсорбент е цврста, течна или гасна фаза во која апсорбатот се акумулира. Процесот на апсорпција се случува во четири чекори: (1) транспорт низ растворот, (2) филм дифузен транспорт, (3) транспорт низ порите и (4) апсорпција (или сорпција). Првиот чекор вклучува движење на органските материи за да настане апсорбирање во граничните слоеви од фиксниот филм на течноста околу апсорбентот. Филм дифузниот транспорт вклучува дифузен транспорт на органски материи низ неподвижен течен слој, со што навлезува во порите на апсорбентот. Транспортот низ порите вклучува транспорт на материјалот за апсорбирање низ порите со комбинација на молекуларна дифузија низ течни пори и/или со дифузија само на површината на апсорбентот. Апсорпцијата вклучува прикачување на материјалот за апсорбирање за апсорбентот на можните апсорпциони места. Апсорпцијата може да се случи надворешно од површината на апсорбентот и во макропорите, мезопорите, микропорите и субмикропорите, но површината на макро- и мезопорите е мала во споредба со површината на микропорите и субмикропорите и количината на апсорбиран материјал овде обично е занемарлива. Мезопорните материјали имаат пори со дијаметар помеѓу 2 и 50 nm. Микропорестите материјали имаат пори со дијаметар помал од 2 nm и макропорестите материјали се со пори со дијаметар поголем од 50 nm.

Главни карактеристики на цврстиот апсорбент се: исклучително големи површини во однос на волуменот и привилегиран афинитет за одредени состојки во течната фаза.

Количината на апсорбатот која може да биде заземана од апсорбентот е функција од две карактеристики и тоа: концентрација на апсорбат и температура. Главно, количината на апсорбируваниот материјал е пресметана како функција од концентрацијата на константна температура и добиената функција се нарекува апсорпциона изотерма. Апсорпционата изотерма се користи за дефинирање на масата на апсорбируваниот материјал наспрема единица маса на апсорбирачки материјал. Општопозната апсорпциона изотерма е *Freundlich Isotherm*. Извлечено од емпириски заклучок, *Freundlich Isotherm* е дефинирана како:

$$q_s = \frac{x}{m} = K_f C_s^{1/n}$$

каде:

q_s - масата на апсорбираниот материјал (x) наспрема единица маса на апсорбент (m) во рамнотежа

K_f - Freundlich capacity factor (mg апсорбат / g апсорбент)(L вода/mg апсорбат)^{1/n}

C_e - рамнотежна концентрација на апсорбатот во течната фаза по апсорпцијата, mg/L

1/n - Freundlich параметар на интензитет.

Друга позната апсорпциона изотерма е *Langmuir Isotherm*. Изведено од рационален заклучок *Langmuir Isotherm* се дефинира како:

$$\frac{x}{m} = \frac{abC_e}{1 + bC_e}$$

каде:

$\frac{x}{m}$ - масата на апсорбираниот материјал наспрема единица маса на апсорбент, mg апсорбат/ g апсорбент

a, b - емпириски константи

C_e - рамнотежна концентрација на апсорбатот во растворот по апсорпцијата, mg/L.f

Заклучок

Примената на зеолитите при прочистувањето на отпадната вода е многу голема поради нивната порозна структура. Оваа особина овозможува да ги апсорбираат сите тешки метали во нив или да ги заменат јоните на тешките метали со помош на јонска размена. Значи, прочистувањето на отпадната вода со помош на зеолити може да биде по пат на јонска размена или по пат на апсорпција.

Јонската размена спаѓа во хемиските методи за пречистување на отпадните води, при што даден вид јони од нерастворливиот материјал се заменуваат од различни видови јони во растворот. Најшироката распространета употреба на овој процес е во омекнувањето на водата за домаќинствата, отстранувањето на азотот, тешките метали и целосно растворените цврсти материи.

Апсорпција е процес на акумулација на супстанции кои се во растворот, врз погодна површина. Апсорпцијата претставува прикачување на материјалот кој треба да се отстрани од отпадната вода за апсорбентот на можните апсорпциони места. Апсорпцијата може да се случи надворешно на површината на апсорбентот, како и во макропорите, мезопорите, микропорите и субмикропорите. Површината на макро и мезопорите

е мала во споредба со површината на микропорите и субмикропорите. Количината на апсорбиран материјал овде обично е занемарлива.

Во индустријата најчесто се користат синтетички зеолити со голема чистота, кои имаат поголеми шуплини од природните зеолити. Овие поголеми шуплини овозможуваат синтетичките зеолити да можат да апсорбираат молекули кои природните зеолити не можат.

Литература

- Bernd G. Lottermoser (2007), *Mine Wastes, Characterization, Treatment, Environmental Impacts*, second Edition, Springer
- E. Erdem, N. Karapinar, R. Donat (2004), The removal of heavy metal cations by natural zeolites, *Journal of Colloid and Interface Science* 280, pp. 309-314, Elsevier
- George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H. David Stensel (2004), *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*, Fourth Edition, McGraw-Hill
- Kazemian Hossein, Mallah Mohammad Hassan (2006), Elimination of Cd^{2+} and Mn^{2+} from Wastewater Using Natural Clinoptilolite and Synthetic Zeolite P, Iran. *J. Chem. Chem. Eng.* Vol. 25, No. 4
- Kelly B. Payne, Tarek M. Abdel-Fattah (2004), Adsorption of Divalent Lead Ions by Zeolites and Activated Carbon: Effects of pH, Temperature and Ionic Strength, *Journal of environmental science and health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, Vol. A39, No. 9, pp. 2275-2291
- M. Panayotova, V. Panayotov, Ts. Mitrov (2001), Kinetics and thermodynamics of uptake of zinc and lead ions by natural and modified zeolite, *New Developments in Mineral processing, Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Congress, Istanbul 11-13 September 2001*, part 11, pp. 617-622
- M. Panayotova (2000), Kinetics of heavy metal ions removal from wastewater by natural zeolite in the presence of calcium and magnesium ions, *Journal of environmental protection and Ecology I*, No. 3, pp. 350-355
- M. Panayotova (2000), Kinetics and thermodynamics of copper, cadmium and lead removal by natural and modified zeolite, *Journal of environmental protection and Ecology I*, No. 3, pp. 356-360
- Surinder Singh, Lokesh Kumar Verma, S. S. Sambhi, S. K. Sharma (2008), Adsorption Behaviour of Ni (II) from Water onto Zeolite X: Kinetics and Equilibrium Studies, *Proceeding of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008, WCECS 2008, 22-24 October 2008, San Francisco, USA*

Ulla Wingenfelder, Bernd Nowack, Gerhard Furrer, Rainer Schulin (2005), Adsorption of Pb and Cd by amine-modified zeolite, Water Research 39, pp. 3287-3297

Valeria Kovatcheva-Ninova, Nina Nikolova, Martin Marinov (2002), Investigation the adsorption properties of the natural adsorbents zeolite and bentonite towards copper ions, Annual of the University of Mining and Geology “St. “Ivan Rilski”, Vol. 44-45, part II, Mining and Mineral Processing, Sofija, 2002, pp. 93-97

Табела 1 – Скала на приближна селективност за катјони на 8 процентни смоли за силно кисела јонска размена

Table 1 - Approximate selectivity scale for cations on 8 percent cross-linked strong-acid ion-exchange resins

Катјон Cation	Селективност Selectivity	Катјон Cation	Селективност Selectivity
Li ⁺	1.0	Co ²⁺	3.7
H ⁺	1.3	Cu ²⁺	3.8
Na ⁺	2.0	Cd ²⁺	3.9
NH ₄ ⁺	2.6	Be ²⁺	4.0
K ⁺	2.9	Mn ²⁺	4.1
Rb ⁺	3.2	Ni ²⁺	3.9
Cs ⁺	3.3	Ca ²⁺	5.2
Ag ⁺	8.5	Sr ²⁺	6.5
Mg ²⁺	3.3	Pb ²⁺	9.9
Zn ²⁺	3.5	Ba ²⁺	11.5

Табела 2 – Скала на приближна селективност за анјони на смоли за силна базна јонска размена

Table 2 - Approximate selectivity scale for anions on strong-base ion-exchange resins

Анјон Anion	Селективност Selectivity	Анјон Anion	Селективност Selectivity
HPO ₄ ²⁻	0.01	BrO ₃ ⁻	1.0
CO ₃ ²⁻	0.03	Cl ⁻	1.0
OH ⁻ (type I)	0.06	CN ⁻	1.3
F ⁻	0.1	NO ₂ ⁻	1.3
SO ₄ ²⁻	0.15	HSO ₄ ⁻	1.6
CH ₃ COO ⁻	0.2	Br ⁻	3.0
HCO ₃ ⁻	0.4	NO ₃ ⁻	3.0-4.0
OH ⁻ (type II)	0.5-0.65	I ⁻	18.0