

# Изучение сорбции тяжелых металлов в присутствии конкурирующих ионов на трех ИОНООБМЕННЫХ СМОЛАХ И ВОЛОКНИСТОМ ИОНООБМЕННОМ МАТЕРИАЛЕ **В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Исследовано конкурентное связывание ионов  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  на ионообменных смолах (карбоксильной D113, иминодиацетатных D463 и TP207) и на хелатном волокнистом ионообменном материале Аквален-2. Получены ряды селективности для исследуемых материалов. Рассчитаны конкурентные константы связывания и константы скорости адсорбции. Установлено, что Аквален-2 имеет наилучшую кинетику сорбции и сродство к ионам  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cd}^{2+}$  по сравнению с традиционными ионообменными материалами. Материал TP207 показал высокое сродство к ионам  $\text{Cu}^{2+}$ .**

## Введение

**П**роблема очистки питьевой воды и промышленных стоков от тяжелых металлов – одна из важнейших проблем современного общества [1, 2]. В настоящее время существует большое количество коммерчески доступных ионообменных материалов [1, 3]. Природа этих сорбентов различна – от классических ионообменных смол [4-6] или сорбционных волокон [7-9] до природных или искусственных минералов, обладающих ионообменными свойствами [10, 11]. Существует множество классификаций ионообменных материалов. Исходя из природы функциональных групп, катионообменные материалы можно разделить на четыре основных типа:

- 1) сильнокислотные с сульфо- или фосфатными группами [1, 3, 5];
- 2) слабокислотные с карбоксильными группами [6, 12, 13];

- 3) комплексообразующие, содержащие два типа групп (кислотные и азотсодержащие, например, иминодиацетатные) [14-16];
- 4) специфические сорбенты, например, золы и различные биологические объекты, содержащие белковые и полисахаридные остатки [17-19].

Тяжелые металлы – одни из самых опасных загрязнителей окружающей среды, поэтому максимально полное их удаление из воды является важной задачей водоочистки [2]. Классический способ применения ионообменных смол – ионный обмен с периодической регенерацией ионообменной емкости материала для его повторного использования. Однако многочисленные варианты использования ионообменных материалов допускают лишь однократное применение, например, в пищевой промышленности или в бытовой водоочистке [1, 13]. Кроме того, часто существует необходимость полного удаления ионов тяжелых металлов без изменения начального солесодержания, уровень которого обычно значительно превышает содержание подлежащих удалению ионов. [20]. Это возможно лишь в том случае, если используется ионообменный материал с высоким сродством к удаляемому тяжелому металлу. Помимо этого, время контакта воды с ионообменным материалом в условиях применения в проточных устройствах для водоочистки очень мало, что накладывает жесткие ограничения на кинетику сорбции [21].

### Обозначения

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – константы в изотермах сорбции Фрейндлиха и Редлиха-Петерсона;

**Д.В. Байгозин\***,  
химик-исследователь,  
ООО «Аквафор»

**Ю.А. Ситникова**,  
химик-исследователь,  
ООО «Аквафор»

**А.Г. Митилинеос**,  
заместитель  
начальника  
химического отдела,  
ООО «Аквафор»

\* Адрес для корреспонденции: [denis.baygozin@aquaphor.ru](mailto:denis.baygozin@aquaphor.ru)

$\eta$  – константа модифицированной изотермы сорбции Лэнгмюра.

$c_{0,i}$  – начальная концентрация иона тяжелого металла (i) (мг-экв/л);

$c_{eq,i}$  – равновесная концентрация иона тяжелого металла (i) (мг-экв/л);

$c_{eq,j}$  – равновесная концентрация иона тяжелого металла в конкурентных условиях (мг-экв/л);

$k_1$  – константа скорости прямой реакции ( $c^{-1}$ );

$k_{-1}$  – константа скорости обратной реакции ( $c^{-1}$ );

$K_{(F, EL, L, R, i)}$  – равновесная константа сорбции тяжелого металла (i) (в изотерме Фрейндлиха (F), в расширенной изотерме Лэнгмюра (EL), в изотерме Лэнгмюра (L), в изотерме Редлиха-Петерсона (R)) (л/мг-экв);

$K_j$  – равновесная константа сорбции в конкурентных условиях (л/мг-экв);

$x_{eq,i}$  – количество ионов тяжелого металла (i), адсорбированное единицей массы ионообменного материала в равновесных условиях (мг-экв/г);

$x_{max,i}$  – максимальное количество ионов тяжелого металла (i), адсорбированное единицей массы в конкурентных условиях (мг-экв/г);  $x_{\infty}$  – общее количество ионов тяжелого металла, адсорбированное единицей массы сорбента при насыщении (мг-экв/г).

## Материалы и методы исследования

В работе использованы следующие материалы: хелатное ионообменное волокно Аквален-2 (ООО «Кеметсорб», Ивановская обл., Россия), слабокислотная карбоксильная ионообменная смола D113, иминодиацетатная ионообменная смола D463 (Taiyuan LTI Corp., Китай), иминодиацетат-

ная ионообменная смола Lewatit TP207 (Lanxess Corp., Германия).

Аквален-2 относится к классу полиамфолитов на основе модифицированного полиакрилонитрила [22]. Он получен сочетанием методов мягкого щелочного гидролиза и термоокислительной деструкции полиакрилонитрильного волокна в присутствии алкилгидразинов и содержит карбоксильные и азотсодержащие ионообменные группы  $R=NH$ ,  $R-N=R'$  [23, 24]. Соотношение кислотных и основных групп было измерено по методу [25] в комбинации с [26] и составляет ~10:1 (табл. 1).

D113 – макропористая ионообменная смола на основе сшитого дивинилбензолом (ДВБ) полиакрилата (степень сшивки 5 %) с карбоксильными группами. D463 и TP207 представляет собой макропористую хелатную смолу на основе сополимера полистирола и дивинилбензола (6 и 7 % ДВБ, соответственно) с иминодиацетатными группами.

Для проведения экспериментов выбраны смешанные ионные формы материалов, получаемые при промывке хлоридом натрия в дистиллированной воде и, впоследствии, дистиллированной водой (см. ниже).

Физические и химические свойства исследуемых ионообменных материалов представлены в табл. 1.

Для приготовления растворов использовались реактивы качества не ниже ч.д.а. и бидистиллированная вода. Необходимый pH  $4,00 \pm 0,25$  получали добавлением 1 н. раствора азотной кислоты. Данный диапазон величины pH раствора был выбран вследствие того, что при  $pH < 4$  затруднен ионный обмен слабокислотных катионитов, а при более высоких значениях pH появляется вероятность седиментации основных солей тяжелых металлов.

Таблица 1

Физические и химические свойства материалов

Материал	Аквален-2	D113	D463	TP207
Функциональные группы	карбоксильные и азотсодержащие (рис. 1)	карбоксильные	иминодиацетатные	иминодиацетатные
Матрица	полиакрилонитрил	полиакрилат-дивинилбензол	стирол-дивинилбензол	стирол-дивинилбензол
Структура	гелевая	макропористая	макропористая	макропористая
Ионная форма	$Na^+ / H^+$	$H^+ / Na^+$	$Na^+ / H^+$	$Na^+ / H^+$
Форма	волокнистая	сферические гранулы	сферические гранулы	сферические гранулы
Размер частицы	$d = 0,02$ мм, $l = 3-4$ мм	$d = 0,2-0,7$ мм	$d = 0,3-0,5$ мм	$d = 0,3-0,5$ мм
Обменная емкость ( $H^+ / OH^-$ )	2,4 мг-экв/г (0,23 мг-экв/г по $H^+$ и 2,2 мг-экв/г по $OH^-$ )	11,8 мг-экв/г	7,11 мг-экв/г	3,06 мг-экв/г
Рабочий диапазон pH	3-12	0-14	1-12	0-14

### Оборудование

Для измерения концентраций ионов металлов применялся атомно-абсорбционный спектрометр Shimadzu®. Измерения pH проводились с использованием pH-метра Metrohm®. Для отделения образцов от раствора использовались нейлоновые фильтры Supelco® 13 мм x 0,45 мкм.

### Методика работы

Перед проведением эксперимента иминодиацетатные смолы (D463 и TP207) промывали раствором хлорида натрия (10 г/л), а затем дистиллированной водой до нейтральной величины pH смыва.

### Статические сорбционные эксперименты

Исследование адсорбции ионов тяжелых металлов на ионообменных материалах проводили в закрытых полипропиленовых конических колбах объемом 250 мл. 1,00 г сорбента (в пересчете на сухой вес), заливали 100 мл раствора исследуемого иона (5 ммоль/л) или смеси, содержащей равное количество ионов каждого металла (0,1, 1, 10, 50 и 100 мг-экв/л), при pH  $4.00 \pm 0.25$  и перемешивали на перемешивающем устройстве (180 об/мин) при 25 °С в течение суток. Затем раствор отфильтровывали с помощью мембранного фильтра. Концентрацию ионов металлов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  в полученном фильтрате измеряли методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

### Кинетические сорбционные эксперименты

Кинетические эксперименты проводили в аналогичных условиях с начальной концентрацией ионов 10 мг-экв/л. Через определенные интервалы времени отбирали аликвоты, фильтровали с помощью мембранных фильтров и определяли содержание ионов  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  в полученном фильтрате методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

## Результаты и их обсуждение

### Изотермы сорбции в условиях конкуренции

Существует множество различных моделей математического описания адсорбции ионов тяжелых металлов на ионообменных материалах. Для расчета равновесных параметров адсорбции используются эмпирические уравнения изотерм сорбции. В случае однокомпонентных систем применяют изотермы Лэнгмюра, Фрейндлиха и Редлиха-Петерсона [13, 27, 28]. В случае конкурентной адсорбции применяются модифици-

рованное уравнение изотермы Лэнгмюра, расширенное уравнение изотермы Лэнгмюра и расширенное уравнение изотермы Фрейндлиха.

Показано [29], что расширенное уравнение изотермы Лэнгмюра хорошо коррелирует с экспериментальными данными в случае конкурентной адсорбции тяжелых металлов, поэтому в своей работе для расчетов параметров адсорбции мы использовали уравнение (1):

$$x_{eq,i} = \frac{x_{\infty} K_{EL,i} c_{eq,i}}{1 + \sum_{j=1}^N K_{EL,j} c_{eq,j}} \quad (1)$$

В случае конкуренции ионов пяти тяжелых металлов это уравнение превращается в уравнение (2):

$$x_{eq,i} = \frac{x_{\infty} \cdot K_i \cdot c_{eq,i}}{1 + \sum_{j=1}^5 K_j \cdot c_{eq,j}} \quad (2)$$

Изотермы адсорбции ионов тяжелых металлов в конкурентных условиях представлены на *рис. 1*.

При низких начальных концентрациях все ионообменные материалы связывают ионы тяжелых металлов практически одинаково хорошо (более 99 %). Однако при насыщении сорбента происходит вытеснение ионов металлов с наименьшим сродством к данному ионообменному материалу. Таким образом, в случае Аквалена-2, D113 и D463 ионы  $Pb^{2+}$  вытесняют ионы  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , а в случае TP207 ионы  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  вытесняют ионы  $Ni^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ .

С использованием уравнения (2) были рассчитаны относительные константы конкурентной адсорбции. Результаты представлены в *табл. 2*.

Используя эти константы можно построить ряды селективности ионов тяжелых металлов для каждого ионообменного материала:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$  для Аквалена-2;  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+}$  для D113 и D463;  $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$  для TP207.

Таким образом, наиболее эффективным сорбентом для удаления ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  является Аквален-2, для удаления ионов  $Cu^{2+}$  и  $Ni^{2+}$  - TP207, а для удаления ионов  $Zn^{2+}$  - D463. Все изученные ионообменные материалы имеют наибольшее сродство к ионам  $Pb^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ .

Различие в селективности ионообменных материалов объясняется различной приро-

**Таблица 2**

Конкуренентные константы адсорбции ионов металлов

Ионит\K <sub>i</sub>	K <sub>Cu</sub> (л/мг- экв)	K <sub>Pb</sub> (л/мг- экв)	K <sub>Cd</sub> (л/мг- экв)	K <sub>Ni</sub> (л/мг- экв)	K <sub>Zn</sub> (л/мг- экв)
Аквален-2	1,90	8,05	0,76	0,10	0,31
D113	1,18	5,60	0,11	0,10	0,59
D463	0,95	3,42	0,35	0,06	0,66
TP207	6,77	3,68	0,50	0,25	0,03

дой ионообменных и хелатных групп, а также различием ионных радиусов гидратированных ионов металлов. Ионообменная смола D113 содержит только карбоксильные группы, тогда как другие ионообменные материалы содержат также азотсодержащие комплексообразующие группы [14, 24].

**Кинетика конкурентной сорбции**

а) Сравнение скоростей связывания ионов тяжелых металлов

Были установлены временные зависимости отношения величин адсорбции ионов тяжелых металлов к полной сорбционной емкости (x/x<sub>max</sub>). Результаты представлены на рис. 2, 3.

Анализ зависимостей указывает на то, что начальные скорости адсорбции каждого из ионов не зависят от полной емкости материала

ла по данному иону и приблизительно одинаковы. Ионы с низкой константой связывания (Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) динамически вытесняются ионами (Pb<sup>2+</sup> или Cu<sup>2+</sup>) с более высоким сродством к данному ионообменному материалу.

б) Сравнение кинетики адсорбции на ионообменных материалах

Для сравнения скоростей адсорбции ионов тяжелых металлов ионообменными материалами были установлены временные зависимости величины суммарной адсорбции ионов (x<sub>sum</sub>) (рис. 4).

Исходя из линейной формы уравнения кинетики адсорбции (3) [30] можно рассчитать суммарные константы адсорбции ионов тяжелых металлов на ионообменных материалах:

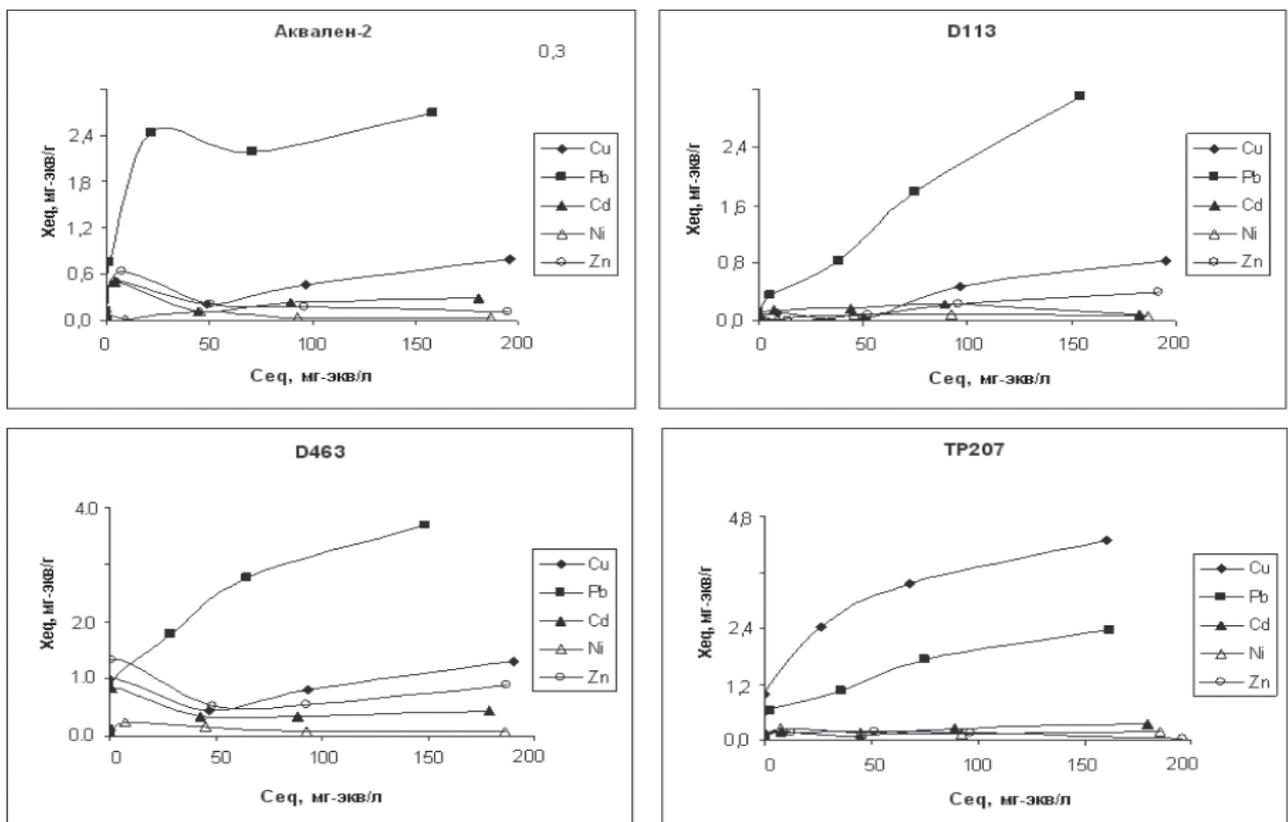
$$\ln(1 - \frac{x}{x_{eq}}) = -(k_1 + k_{-1})t \quad (3)$$

Результаты представлены в табл. 3.

**Таблица 3**

Суммарные константы адсорбции на материалах

	$\beta = k+k'$
Аквален-2	4,76·10 <sup>-03</sup>
D113	1,32·10 <sup>-03</sup>
D463	1,27·10 <sup>-03</sup>
TP207	1,40·10 <sup>-03</sup>



**Рис. 1.** Конкуренентные изотермы адсорбции.

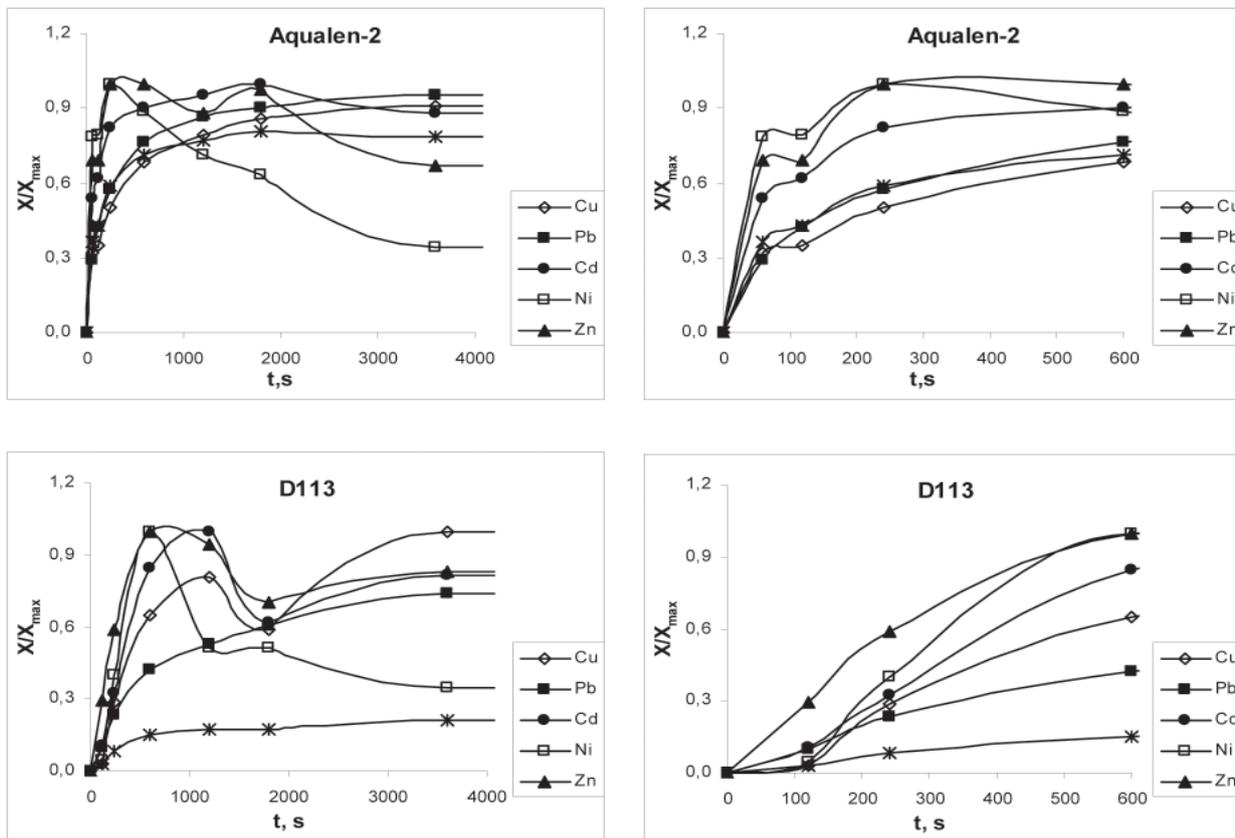


Рис. 2. Временная зависимость отношения величины адсорбции ионов к полной сорбционной емкости ( $x/x_{\max}$ ).

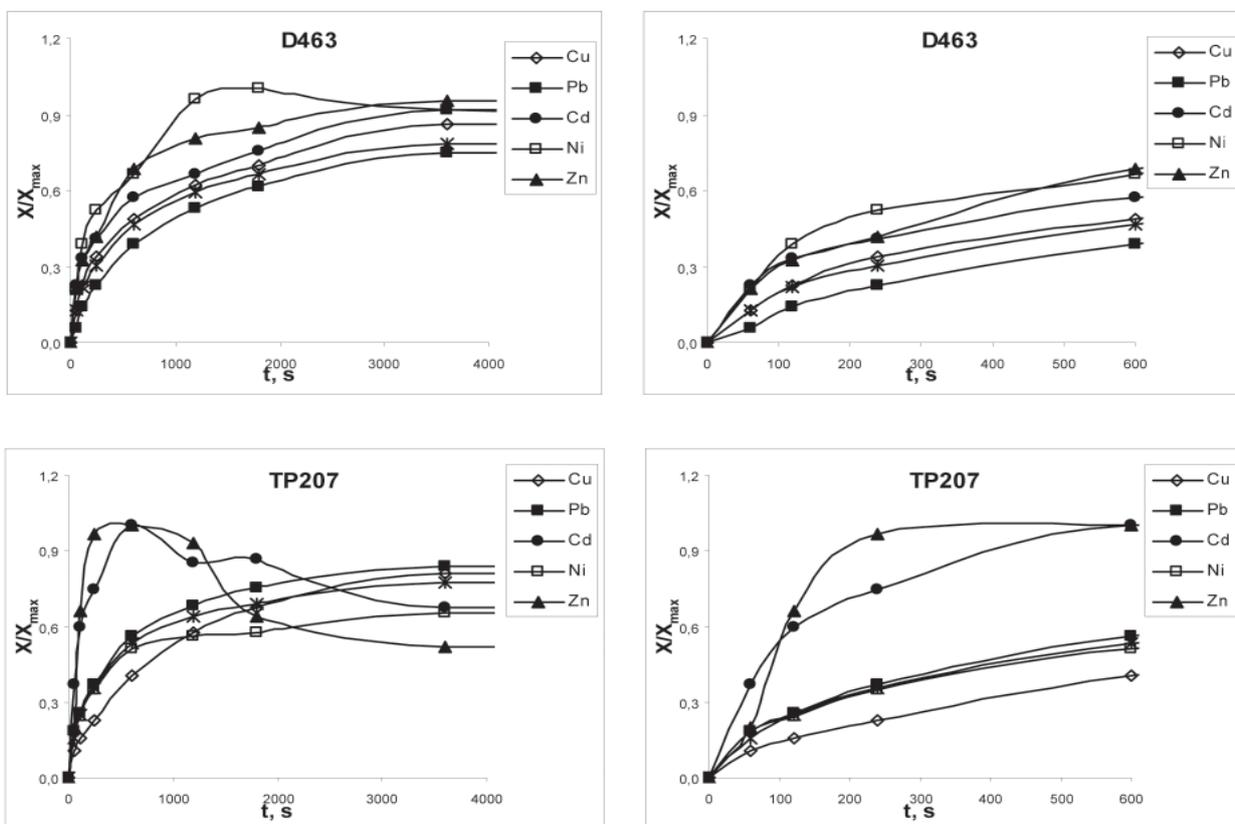


Рис. 3. Временная зависимость отношения величины адсорбции ионов к полной сорбционной емкости ( $x/x_{\max}$ ).

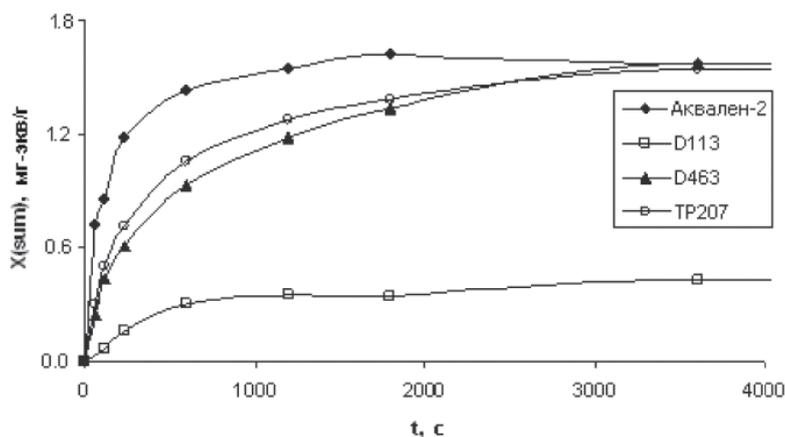


Рис. 4. Временная зависимость суммарной адсорбции ионов.

Аквален-2 продемонстрировал максимальную скорость адсорбции в течение всего эксперимента. Для достижения 90 % удаления металлов материалом потребовалось около 10 мин, в то время как для остальных сорбентов требовалось 60 мин и более. Это можно объяснить различием в площади сорбирующей поверхности гранул ионитов. Удельная поверхность Аквалена-2 превышает аналогичную для классических смол даже несмотря на наличие у последних развитой сети пор; кроме того, в случае Аквалена-2 возможна диффузия через толщу материала.

## Заключение

Аквален-2 продемонстрировал наибольшую эффективность при удалении ионов свинца и кадмия, а хелатная смола TP207 – при удалении ионов меди при pH 4. Среди исследованных материалов Аквален-2 показывает наибольшую скорость сорбции ионов тяжелых металлов. Независимо от начальных скоростей адсорбции ионы с низким сродством к иониту ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) замещаются в процессе эксперимента на ионы металлов, имеющих большие константы связывания с данным материалом ( $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$ ). Полученные результаты указывают на перспективность применения ионообменного материала TP207 для удаления ионов меди, а Аквалена-2 - для удаления свинца и кадмия при промышленной водоочистке. Хорошая кинетика связывания свидетельствует о возможности использования Аквалена-2 в компактных водоочистителях.

## Литература

1. Vaaramaa K. Removal of metals and anions from drinking water by ion exchange Vaaramaa K.; Lehto J. // *Desalination*. 2003, V. 155, P. 157-170.

- World Health Organization, «ACTION IS NEEDED ON CHEMICALS OF MAJOR PUBLIC HEALTH CONCERN» 2010/ p. 1-5
- Dabrowski A. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / Dabrowski A.; Hubicki Z.; Podkoscielny P.; Robens E. // *Chemosphere*. 2004, V. 56, P. 91-105.
- Pehlivan E. Ion-exchange of  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Ni}^{2+}$  ions from aqueous solution by Lewatit CNP 80 / Pehlivan E.; Altun T // *J. Hazard. Mater.* 2007, V. 140, P. 299-307.
- Juang R.S. Removal of metal ions from the complexed solutions in fixed bed using a strong -acid ion exchange resin / Juang R.S., Lin S.H.; Wang T.Yu. // *Chemosphere*. 2003, V. 53, P. 1221-1228.
- Ivanov V.A.; Gorshkov V.I.; Timofeevskaya V.D., Drozdova N.V. Influence of temperature on ion-exchange equilibrium accompanied by complex formation in resins / Ivanov V.A.; Gorshkov V.I.; Timofeevskaya V.D., Drozdova N.V. // *React. Func. Polym.* 1998, V. 38, P. 205-218.
- Liu R.X. Synthesis and characterization of poly (acrylamino-phosphonic-carboxylhydrazide) chelating fibre / Liu R.X., Zhang B.W., Tang H.X. // *React. Func. Polym.* 1999, V. 39, P. 71-81.
- Zhang B.W. Synthesis of carboxyl group containing hydrazine modified polyacrylonitrile fibres and application for the removal of heavy metals / Zhang B.W., Fischer K., Bieniek D., Kettrup A. // *React. Polym.* 1994, V. 24, P. 49-55.
- Shunckevich A.A. Acid-base properties of ion exchangers. III. Anion exchangers on the basis of polyacrylonitrile fiber / Shunckevich A.A.; Akulich Z.I.; Mediak G.V.; Soldatov V.S. // *React. Func. Polym.* 2005, V. 63, P. 27-34.
- Jha V.K. Sorption properties of activated carbon-zeolite composite prepared from coal fly ash for  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  / Jha V.K., Matsuda M., Miyake M. // *J. Hazard. Mater.* 2008, V. 160, P. 148-153.
- Lopes C.B. Uptake of  $\text{Hg}^{2+}$  from aqueous solutions by microporous titano- and zirconosilicates / Lopes C.B., Coimbra J., Otero M., Pereira E., Duarte A.C., Lin Z., Rocha J // *Quim. Nova*. 2008, V. 31 (№ 2), P. 321-328.
- Song L Z. Characterization of Cu(II) ion adsorption behavior of the polyacrylic acid-polyvinylidene fluoride blended polymer / Song L., Wang J., Zheng Q., Zhang Z. // *Tsinghua Sci. Technol.* 2008, V. 13 ( № 2), P. 249-256.
- Zagorodni A.A. Ion exchange materials. Properties and applications, Elsevier, Stockholm, 2007, 477 p.
- Gode F. A comparative study of two chelating ion-exchange resins for the removal of chromium(III) from aqueous solution / Gode F;

Pehlivan E. // J. Hazard. Mater. 2003, V. B100, P. 231-243.

15. Gode F. Removal of chromium(III) from aqueous solutions using Lewatit S 100: The effect of pH, time, metal concentration and temperature / Gode F.; Pehlivan E. // J. Hazard. Mater. 2006, V. B136, P. 330-337.

16. Lin L.-C. Ion-exchange equilibria of Cu(II) and Zn(II) from aqueous solutions with Chelex 100 and Amberlite IRC 748 resins / Lin L.-C., Juang R.-S. // Chem. Ing. J. 2005, V. 112, P. 211-218.

17. Hammami A Effect of presents of lead on the biosorption of copper, cadmium and zinc by activated sludge / Hammami A., Ballester A., Blazquez M.L., Gonzalez F., Munoz J. // Hydro-met. 2002, V. 67, P. 109-116.

18. Bayramoglu G. Construction a hybrid biosorbent using Scenedesmus quadricauda and Ca-alginate for biosorption of Cu(II), Zn(II) and Ni(II): Kinetics and equilibrium studies / Bayramoglu G., Arica M.Y. // Biores. Technol. 2009, V. 100, P. 186-193.

19. Covelo E.F. Competitive sorption and desorption of heavy metal ions by individual soil components / Covelo E.F., Vega F.A., Andrade M.L. // J. Hazard. Mater. 2007, V. 140, P. 308-315.

20. Inglezakis V.J. The effect of competitive cations and anions on ion exchange of heavy metals / Inglezakis V.J., Zorpas A.A., Loizidou M.D., Grogopoulou H.P. // Sep. Purif. Technol. 2005, V. 46, P. 202-207.

21. Rengaraj S. Kinetics of removal of chromium from water and electronic process wastewater by ion exchange resins: 1200H, 1500H and IRN97H / Rengaraj S.; Joo C.K.; Kim Y.; Yi J. // J. Hazard. Mater. 2003, V. B102, P. 257-275.

22. Soldatov V.S. Chemically active textile materials as efficient means for water purification / V.S. Soldatov, A.A. Shunkevich, I.S.

**Ключевые слова:**

аквален-2,  
тяжелые металлы,  
селективность

Elinson, Jurgen Johann, Helmut Iraushek // Desalination 1999, V. 124, P. 181-192.

23. Ermakov I.V. Alkaline hydrolysis of polyacrlonitrile, 1 Structure of the reaction products / Ermakov I.V., Rebrov A.I., Litmanovich A.D., Plate N.A // Macromol. Chem. Phys. 2000, V. 201, P. 1415-1418.

24. Андреева И.Ю. Применение волокнистых сорбентов для очистки вод от ионов тяжелых металлов / Андреева И.Ю., Минько И.Л., Казакевич Ю.Е. // ЖПХ 1991, № 6, С. 1276-1280.

25. Soldatov V.S. Potentiometric titration of ion exchangers // React. Func. Polym 1998, V. 38, P. 73-112.

26. Полянский Н.Г. Методы исследования ионитов / Полянский Н.Г., Горбунов Г.В., Полянская Н.Л. М.: Химия. 1976, 208 с.

27. Vega F.A., Covelo E.F., Andrade M.L. Competitive sorption and desorption of heavy metals in mine soils: Influence of mine soil characteristics / Vega F.A., Covelo E.F., Andrade M.L. // J. Coll. Int. Sci. 2006, V. 298, P. 582-592.

28. Rengaraj S. Batch adsorptive removal of copper ions in aqueous solutions by ion exchange resins: 1200H and IRN97H. Korean / Rengaraj S., Kim Y., Joo C.K., Choi K., Yi J. // J. Chem. Eng. 2004, V. 21 (№ 1), P. 187-194.

29. Srivastava V.C. Competitive adsorption of cadmium(II) and nickel(II) metal ions from aqueous solution onto rice husk ash. / Srivastava V.C., Mall I.D., Mishra I.M. // Chem. Ing. Process. 2009, V. 48, P. 370-379.

30. Fan T. Biosorption of cadmium(II), zinc(II) and lead(II) by Penicillium simplicissimum: Isotherms, kinetics and thermodynamics / Fan T., Liu Y., Feng B., Zeng G., Yang C., Zhou M., Zhou H., Tan Z., Wang X // J. Hazard. Mater. 2008, V. 160, P. 655-661.



D.V. Baygozin, Yu.A. Sitnikova, A.G. Mitilineos

## STUDY OF HEAVY METAL SORPTION IN THE PRESENCE OF COMPETING IONS ON THE THREE ION-EXCHANGE RESINS AND ION-EXCHANGE FIBROUS MATERIAL

The competitive binding of ions  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  on the ion-exchange resins: carboxyl D113, D463 iminodiacetic D463 and TP207, and chelate ion-exchange fibrous material Akvalit-2 has been investigated. Selec-

tivity rows were obtained for examined samples. Competitive binding constants as well as rate constant of adsorption were calculated. Akvalit-2 was established to have the best sorption kinetics and affinity to  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Cd}^{2+}$

ions in comparison with conventional ion-exchange materials. Material TP207 showed a high affinity to  $\text{Cu}^{2+}$  ions.

**Key words:** Akvalit-2, heavy metals, selectivity