



УДК 54-414:547.1'128+547.466.33

Взаимное влияние ионов переходных металлов на физико-химические параметры их сорбции на хелатообразующих сорбентах

Неудачина Л.К., Баранова Н.В., Старцев В.А.

ФГАОУ ВПО Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Пестов А.В.

Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург

Поступила в редакцию 17.01.2011 г.

Аннотация

Изучена сорбция ионов меди (II), никеля (II), кобальта (II) и цинка (II) из индивидуальных растворов и при их совместном присутствии на N-(2-карбоксиэтил)аминополистироле (сорбент 1) и N-(2-карбоксиэтил)полиаллилаmine (сорбент 2). Установлено существенное взаимное влияние этих ионов на их коэффициенты распределения на обоих сорбентах. Определены условные константы устойчивости поверхностных комплексов и обменная емкость по изученным ионам. Высказаны предположения о возможных причинах взаимного влияния ионов при сорбции.

Ключевые слова: хелатообразующие сорбенты, ионы переходных металлов, N-(2-карбоксиэтил)аминополистирол, N-(2-карбоксиэтил)аминополиаллиламин, коэффициенты распределения, сорбционная емкость, константы устойчивости комплексов, взаимное влияние.

Sorption of copper ions(II), nickel(II), cobalt(II) and zinc(II) from individual solutions and in their joint presence at the N-(2-carboxyethyl)aminopolystyren (sorbent 1) and N-(2-carboxyethyl)polyallylamine (sorbent 2). Established a significant mutual influence of these ions on their distribution coefficients for both sorbents. Determined conditional stability constants of surface complexes and the exchange capacity of the ions studied. Assumptions about the possible causes of the mutual influence of ions during sorption.

Keywords: Chelating sorbents, transition metal ions, N-(2-carboxyethyl)aminopolystyren, N-(2-carboxyethyl)aminopolyallylamine, distribution coefficients, sorption capacity, stability constants of the complexes, the mutual influence

Введение

Сорбционно-спектроскопические методы применяются для анализа достаточно сложных по составу объектов [1], в том числе природных вод, содержащих многие ионы металлов. Основная масса публикаций по изучению физико-химических свойств сорбентов, а также условий количественного извлечения ионов металлов относится к индивидуальным растворам [2,3,4,5], а затем

эти результаты переносятся на поведение ионов в более сложных системах. Так называемая конкурентная сорбция ионов металлов из сложных растворов начинает обсуждаться в научных публикациях только в последние годы [6]. Это связано с появлением возможности использовать атомно-абсорбционную спектроскопию для контроля за содержанием ионов в сорбционных растворах. Наиболее многочисленными являются работы по изучению сорбции в двойных системах, таких как никель-кадмий, медь-кадмий, свинец-кадмий, свинец-медь [7], кадмий-кальций, свинец-кальций, свинец-кадмий, ртуть-кадмий, ртуть-кальций, ртуть-свинец [8]. Каким образом поведут себя эти ионы в более сложных смесях авторами не обсуждается. Появились первые данные по сравнению сорбции из индивидуальных растворов, двойных и тройных смесей [9,10,11]. Литературные данные по сорбции ионов переходных металлов из четверных или более сложных смесей нами не обнаружены.

Данная работа посвящена изучению взаимного влияния ионов меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) на их сорбцию на новых аминополикарбоксильных хелатообразующих сорбентах с иминодипропионатными группами.

Эксперимент

Хелатообразующие сорбенты N-(2-карбоксиэтил)аминополистирол (сорбент 1) на основе линейного полистирола и N-(2-карбоксиэтил)полиаллиламин (сорбент 2) на основе полиаллиламина получали методом полимераналогичных превращений и идентифицировали согласно [12,13]. Структуры продуктов представлены на схеме 1, степень функционализации аминогруппами составила 0.7 и 1 соответственно. Степень карбоксиэтилирования аминогрупп (СКЭ) в обоих случаях равна 2.

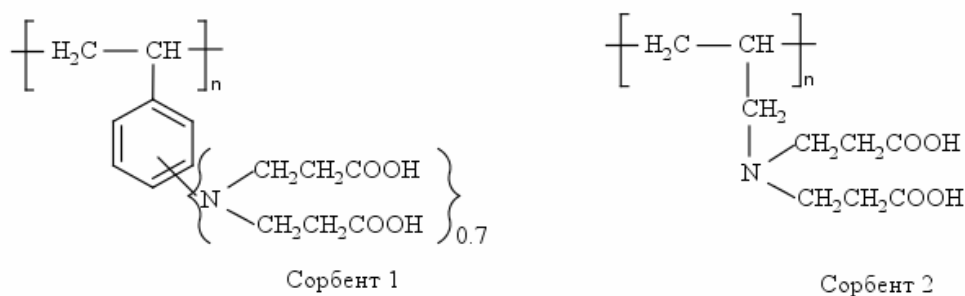


Схема 1

В работе использовали реактивы квалификации не хуже «ч.д.а.». Растворы хлорида меди(II), хлорида никеля(II) и хлорида кобальта(II) с концентрацией 0.1 моль/дм³ готовили растворением навесок CuCl₂·2H₂O, NiCl₂·6H₂O и CoCl₂·6H₂O в дистиллированной воде. Точную концентрацию приготовленных растворов устанавливали комплексонометрически. Раствор хлорида цинка(II) готовили из металлического цинка (99.99%) по известной методике [14]. Растворы с меньшей концентрацией готовили разбавлением исходных растворов.

Изучение зависимости сорбции ионов переходных металлов от pH раствора проводили в статических условиях методом ограниченного объема при периодическом перемешивании в течение 24 часов в интервале pH 3.0 – 9.0 из

аммиачно-ацетатных буферных растворов, используя индивидуальные растворы ионов меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка и растворы, в которых ионы переходных металлов присутствовали одновременно в эквимолярных количествах. Исходная концентрация ионов переходных металлов в растворе составляла $5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³.

Изотермы сорбции получены в статических условиях при периодическом перемешивании в течение 24 часов при рН 6.0 - 7.0 (аммиачно - ацетатный буферный раствор) из индивидуальных растворов ионов переходных металлов с концентрацией от $1 \cdot 10^{-4}$ до $2.5 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³.

Концентрацию ионов переходных металлов в растворе над сорбентом определяли атомно - абсорбционным методом в пламени ацетилен - воздух на спектрометре SOLAAR M6 «Thermo Electron Corporation». Количество сорбированного иона металла устанавливали по разности концентраций определяемого иона в растворе над сорбентом до и после сорбции. Значение рН растворов контролировали с помощью иономера И-130.М, оснащенного стеклянным (ЭСЛ-43-07) и насыщенным хлорсеребряным (ЭВЛ-1М3.1) электродами.

Обсуждение результатов

Влияние кислотности среды. Для предотвращения выпадения осадков гидроксидов ионов переходных металлов при рН больше 5.5 и создания необходимого значения рН использовали аммиачно – ацетатные буферные растворы с рН 3.5 – 7.5. Максимум сорбции ионов переходных металлов из индивидуальных растворов наблюдается в интервале рН 6.0 – 8.0 (рис. 1а, 2а). При этом для обоих сорбентов степень извлечения ионов меди(II) составляет 90-95% , ионов кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) 50-70%.

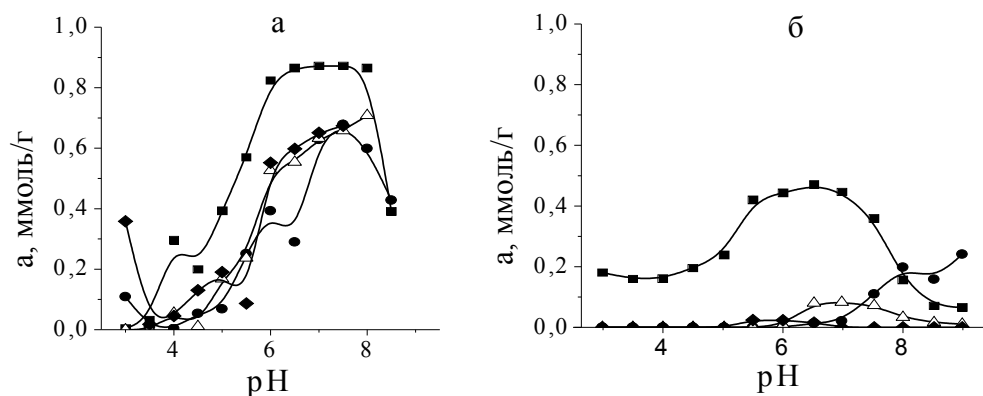


Рис. 1. Зависимость концентрации ионов меди(II), кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) на сорбенте 1 от рН для индивидуальных растворов (а) и при совместном присутствии (б): аммиачно-ацетатные буферные растворы
 ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

Общий вид зависимостей сорбируемости ионов переходных металлов при совместном присутствии от рН водной фазы для обоих сорбентов свидетельствует о значительном взаимном влиянии ионов металлов (рис. 1б и 2 б).

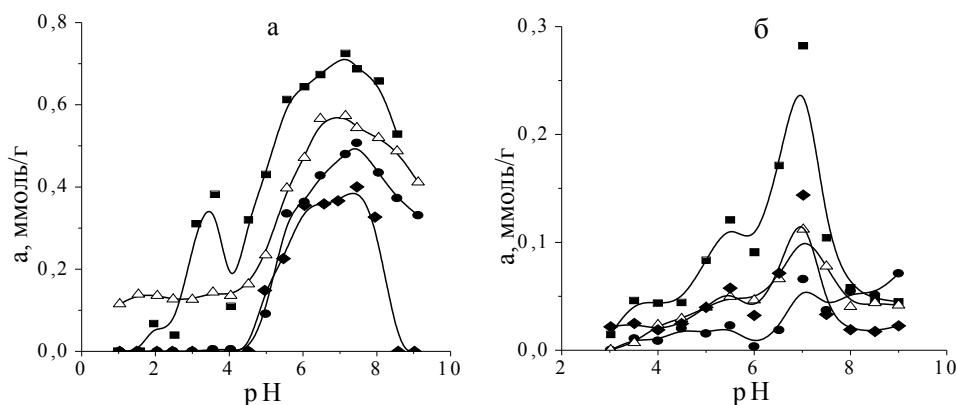


Рис. 2. Зависимость концентрации ионов меди(II), кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) на сорбенте 2 от рН для индивидуальных растворов (а) и при совместном присутствии (б): аммиачно-ацетатные буферные растворы
 ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

В области рН 4.0 - 6.0 при сорбции из индивидуальных растворов сорбент 1 является групповым по отношению к ионам меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) (рис. 1а). В случае совместного присутствия этих четырех ионов в растворе в интервале рН 3.0 – 5,0 сорбент 1 извлекает только ионы меди(II), заметной сорбции ионов никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) не происходит (рис. 1б). При совместном присутствии в растворе ионов переходных металлов произошло смещение максимума сорбции у цинка(II) в более кислую область (рН 5.5 – 6.0) и у кобальта(II) в более щелочную область (рН 8.0 – 9.0). Максимум сорбции ионов меди(II) наблюдается при рН 6.5 и степень извлечения составляет 50%, степень извлечения кобальта(II), никеля(II) и цинка(II) не превышает 10%. Для сорбента 2 (рис. 2) положение максимума сорбции ионов переходных металлов по сравнению с индивидуальными растворами не изменяется. Степень извлечения ионов меди(II) составляет 35%, а никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) порядка 10-15% от введенного количества, что меньше, чем для сорбции из индивидуальных растворов. Область максимальной сорбции несколько сужается.

Коэффициенты распределения ионов меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка(II). В литературе отсутствуют данные по коэффициентам распределения для растворов, содержащих несколько ионов переходных металлов. Рассчитанные в данной работе коэффициенты распределения для четырех ионов как в индивидуальных растворах, так и при совместном присутствии при нескольких значениях рН водной фазы приведены в табл. 1.

Самые высокие значения коэффициентов распределения получены для ионов меди(II) из индивидуальных растворов в интервале рН 6.5 – 8.0 на сорбенте 1. Они на 3 – 4 порядка выше, чем соответствующие коэффициенты распределения для остальных ионов переходных металлов для обоих сорбентов. Полученные нами значения коэффициентов распределения выше приводимых в литературе для сорбента пол-ДЭТАТА с функциональными группами диэтилентриаминотетрауксусной кислоты, и сопоставимы со значениями коэффициентов распределения для широко известных сорбентов с функциональными группами иминодиуксусной кислоты [13].

При конкурентной сорбции из растворов, содержащих все четыре изучаемых иона, на обоих сорбентах происходит снижение значений коэффициентов

распределения в среднем на 2-3 порядка. При этом значения коэффициентов распределения остаются достаточно высокими только для ионов меди(II) независимо от сорбента.

Таблица 1. Коэффициенты распределения для сорбентов 1 и 2

| рН | Индивидуальные растворы, см ³ /г | | | | Растворы при совместном присутствии, см ³ /г | | | |
|-----------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| | D _{Cu} | D _{Ni} | D _{Co} | D _{Zn} | D _{Cu} | D _{Ni} | D _{Co} | D _{Zn} |
| Сорбент 1 | | | | | | | | |
| 4.00 | 8.6·10 ² | 2.7·10 ² | 6 | 93 | 3.6·10 ² | 0 | 0 | 0 |
| 5.00 | 1.4·10 ³ | 4.2·10 ³ | 1.3·10 ² | 4.8·10 ² | 5.8·10 ² | 0 | 0 | 0 |
| 6.00 | 2.7·10 ⁴ | 1.1·10 ³ | 1.1·10 ³ | 3.1·10 ³ | 1.5·10 ³ | 13 | 0 | 52 |
| 6.50 | 1.8·10 ⁵ | 2.6·10 ³ | 7.0·10 ² | 3.9·10 ³ | 1.6·10 ³ | 1.5·10 ² | 32 | 34 |
| 7.00 | 1.3·10 ⁶ | 4.3·10 ³ | 3.0·10 ³ | 5.4·10 ³ | 1.5·10 ³ | 1.6·10 ² | 49 | 0 |
| 7.50 | 1.3·10 ⁶ | 2.5·10 ³ | 3.8·10 ³ | 6.3·10 ³ | 1.0·10 ³ | 1.4·10 ² | 3.0·10 ² | 0 |
| 8.00 | 1.8·10 ⁵ | 4.1·10 ² | 2.6·10 ³ | - | 3.3·10 ² | 61 | 6.7·10 ² | 0 |
| Сорбент 2 | | | | | | | | |
| 4.00 | 2.6·10 ² | 3.0·10 ² | 9 | 0 | 95 | 46 | 20 | 40 |
| 5.00 | 1.9·10 ³ | 6.0·10 ² | 2.0·10 ² | 3.4·10 ² | 2.0·10 ² | 80 | 36 | 86 |
| 6.00 | 6.3·10 ³ | 1.8·10 ³ | 1.2·10 ³ | 1.2·10 ³ | 2.0·10 ² | 97 | 8 | 69 |
| 6.50 | 8.1·10 ³ | 3.0·10 ³ | 1.6·10 ³ | 1.2·10 ³ | 4.5·10 ² | 1.4·10 ² | 45 | 1.6·10 ² |
| 7.00 | 1.4·10 ⁴ | 3.0·10 ³ | 2.0·10 ³ | 1.2·10 ³ | 9.0·10 ² | 2.5·10 ² | 1.7·10 ² | 3.6·10 ² |
| 7.50 | 9.3·10 ³ | 2.6·10 ³ | 2.3·10 ³ | 1.4·10 ³ | 2.4·10 ² | 1.6·10 ² | 90 | 75 |
| 8.00 | 7.6·10 ³ | 2.3·10 ³ | 1.6·10 ³ | 1.0·10 ³ | 1.3·10 ² | 82 | 1.4·10 ² | 43 |

Коэффициенты распределения на сорбенте 1 (рН 6.5) уменьшаются в ряду Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II) для индивидуальных растворов. Для конкурентной сорбции на сорбенте 1 наблюдается следующий ряд: Cu(II)>Ni(II)>Co(II)≈Zn(II), показывающий, что только ионы меди(II) сохраняют высокое относительное сродство к сорбенту, но в значительной степени подавляют сорбцию остальных ионов. На сорбенте 2 для индивидуальных растворов Cu(II)>Ni(II)>Co(II)>Zn(II), а при конкурентной сорбции Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II). Интересен тот факт, что ионы Ni(II) и Co(II) не меняют своего относительного расположения в этих рядах, но существенно изменяется положение ионов Zn(II).

Обменная емкость сорбентов. Для определения емкости сорбентов по ионам переходных металлов нами были использованы изотермы сорбции из индивидуальных растворов (рис. 3 и 4).

Они наилучшим образом описываются эмпирическим уравнением Ленгмюра-Фрейндлиха [15]. Значения коэффициентов корреляции выше 0,97. Это говорит о том, что сорбент имеет конечную емкость для сорбата, но присутствует некоторая физическая неоднородность поверхности, связанная с разной электронной и пространственной доступностью функциональных групп N-замещенной иминодипропионовой кислоты. Обменная емкость определена как параметр α_L в уравнении Ленгмюра. Для сорбента 1 она уменьшается в ряду Cu(II)(1.73)>Ni(II)(1.36)>Co(II)(1.22)>Zn(II)(0.96), а для сорбента 2 – Cu(II)(3.30)>Zn(II)(1.33)>Ni(II)(1.22)>Co(II)(0.79). В скобках приведены значения обменной емкости сорбентов (ммоль/г).

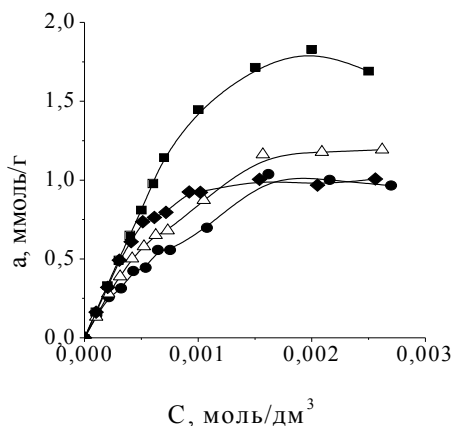


Рис. 3 Изотермы сорбции ионов переходных металлов сорбентом 1 (рН=6,50): ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

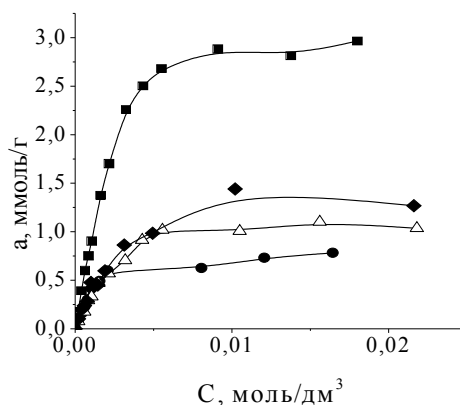


Рис. 4 Изотермы сорбции ионов переходных металлов сорбентом 2 (рН=7,0): ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

Если оценивать максимальное доступное количество обменных центров в структуре сорбентов по величине обменной емкости для ионов меди(II), то для сорбента 1 оно составляет 1.73 ммоль/г и для сорбента 2 – 3.42 ммоль/г. Однако при конкурентной сорбции четырех изученных ионов суммарное количество сорбированных ионов для сорбента 1 составляет 0.55 ммоль/г, а для сорбента 2 – 0.60 ммоль/г (рис. 1б и 2б). Несмотря на наличие свободных сорбционных центров, полного извлечения всех ионов переходных металлов не происходит, хотя занято не более 30% способных к взаимодействию с сорбатом функциональных групп.

Прочность поверхностных комплексов. Константы устойчивости комплексов ионов переходных металлов с функциональными группами сорбентов 1 и 2 определены методом потенциометрического титрования отдельных навесок и рассчитаны по методу Бьеррума–Грегора [16]. Это условные константы, они не являются постоянными величинами и зависят от рН раствора (рис. 5,6).

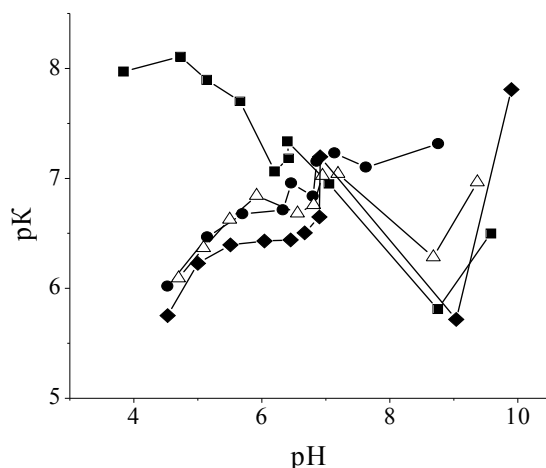


Рис. 5 Зависимость $\lg K_{уст}$ от рН водного раствора (сорбент 1, $\mu=0.8$): ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

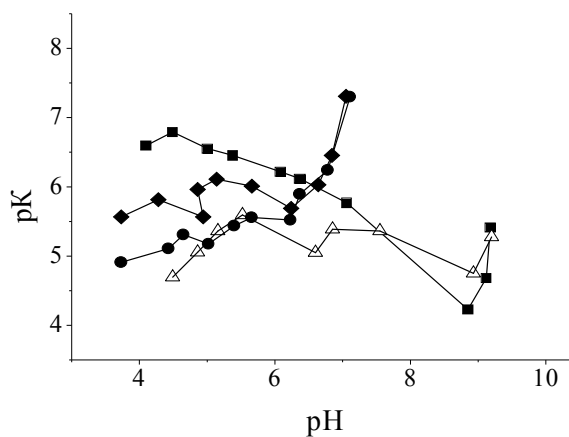


Рис. 6 Зависимость $\lg K_{уст}$ от рН водного раствора (сорбент 2, $\mu=0.8$): ■ - медь(II); ● – кобальт(II); Δ - никель(II); ◆ – цинк(II)

В литературе [16,17] в качестве возможной причины такого явления рассматривается влияние полимерной матрицы. Хелатообразующие сорбенты представляют собой полиэлектролиты, поэтому их функциональные группы находятся во всех промежуточных степенях ионизации, начиная от недиссоциированных и кончая полностью ионизированными. Кроме того, специфика полимерных сорбентов связана с большими энергетическими затратами при комплексообразовании из-за меньшей доступности функциональных групп по сравнению с мономерными лигандами, находящимися в растворе [17]. Следует также отметить, что полученные константы устойчивости являются приближенными величинами, так как нельзя учесть все факторы, оказывающие влияние на процесс комплексообразования в гетерогенной среде и позволяют дать только качественную характеристику процесса комплексообразования с полилигандами.

Условные константы устойчивости комплексов ионов меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) в сравнении с константами устойчивости комплексов низкомолекулярных лигандов – структурных аналогов звена сорбентов приведены в табл. 2.

Таблица 2. $\lg K_{уст}$ ионов переходных металлов с сорбентами (средние значения для интервала pH 4.0 – 7.0) и низкомолекулярными лигандами

| Лиганд | Cu(II) | Ni(II) | Co(II) | Zn(II) | Литература |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| Сорбент I | 7.53 | 6.68 | 6.45 | 6.76 | Данная работа |
| Сорбент II | 6.36 | 5.24 | 5.29 | 5.82 | Данная работа |
| Иминодипропионовая кислота | 9.50 | 6.18 | 4.95 | 4.95 | [18] |
| N,N-ди(2-карбоксиэтил)-анилин | 5.58 | - | - | - | [19] |

Принципиальным отличием химической природы матриц исследованных сорбентов является ароматическая природа сорбента 1 и алифатическая – сорбента 2. Это обстоятельство должно существенно сказываться на основности атома азота в функциональной группе иминодипропионовой кислоты, а значит, на устойчивости образующихся комплексов. На мономерных аналогах эта зависимость хорошо просматривается. Однако для сорбентов наблюдается обратное соотношение констант. Можно выделить, по крайней мере, две причины этого явления. Во-первых, сорбент 2 как более сильное основание лучше протонируется, и ион водорода оказывает существенное конкурентное влияние на сорбцию ионов металлов. На значительное влияние полимерной матрицы на свойства функциональных групп сорбента указывает то, что константа ионизации бетаинового протона аминогруппы для обоих сорбентов, определенная нами ранее, имеет одинаковое значение: $pK_a=7.07\pm 0.04$ [13]. Во-вторых, сорбент 1 обладает некоторой неоднородностью распределения функциональных групп, связанной с особенностями его синтеза (степень его функционализации аминогруппами составляет 0,7 вместо 1). Это отмечалось и при обсуждении формы изотерм (подчинение эмпирическому уравнению Ленгмюра-Фрейндлиха).

Заключение

Сравнительное изучение сорбции ионов меди(II), никеля(II), кобальта(II) и цинка(II) из индивидуальных растворов и при совместном присутствии выявило

существенное взаимное влияние этих ионов на физико-химические параметры сорбции на хелатных сорбентах с функциональными иминопропионатными группами (табл. 3).

Таблица 3. Последовательности изменения физико-химических параметров сорбции ионов переходных металлов

| № п/п | Контролируемый параметр | Сорбент 1 | Сорбент 2 |
|-------|---|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Коэффициент распределения (индивидуальные растворы) | Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II) | Cu(II)>Ni(II)>Co(II)>Zn(II) |
| | Коэффициент распределения (конкурентная сорбция) | Cu(II)>Ni(II)>Co(II)≈Zn(II) | Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II) |
| 2 | Обменная емкость | Cu(II)>Ni(II)>Co(II)>Zn(II) | Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II) |
| 3 | $\lg K_{уст}$ поверхностных комплексов | Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)>Co(II) | Cu(II)>Zn(II)>Ni(II)≈Co(II) |

Для сорбента 1 порядок изменения коэффициентов распределения при конкурентной сорбции совпадает с порядком изменения величины емкости сорбента по отдельным ионам металлов. Константы устойчивости образующихся комплексов изменяются в другой последовательности, следовательно, для сорбента 1 главным является наличие свободных реакционных центров на поверхности. При конкурентной сорбции медь, обладающая наиболее высокой константой устойчивости поверхностного комплекса, блокирует сорбцию остальных ионов в области pH 3,0-5,0. В случае сорбента 2 наблюдается одинаковая последовательность изменения коэффициентов распределения в конкурентных условиях, величин обменной емкости по отдельным ионам и констант устойчивости поверхностных комплексов. Синергетический эффект этих факторов приводит к тому, что сорбент 2 не селективен ни к одному из изученных ионов, но может быть использован для их группового извлечения.

Список литературы

1. Золотов Ю.А., Цизин Г.И., Дмитриенко С.Г., Моросанова Е.И.. Сорбционное концентрирование микрокомпонентов из растворов. Применение в неорганическом анализе. М.: Наука. 2007. 320 с.
2. Wang C-C., Chen C-Y., Chang C-Y. Synthesis of chelating resins with iminodiacetic acid and its wastewater treatment application // J. Appl. Polym. Sci. 2002. V. 84. N 7. P. 1353–1362.
3. Nouredine C., Lekhmici A., Mubarak M.S. Sorption properties of the iminodiacetate ion exchange resin, Amberlite IRC-718, toward divalent metal ions // J. Appl. Polym. Sci. 2008. V. 107. N 2. P. 1316–1319.
4. Rengan R. Chelating resins: Sorption characteristics in chloride media // J. Radioanal. Nucl. Chem. 1997. V. 219. N 2. P. 211–215.

5. Chen C.-Y., Chen S.-Y. Adsorption properties of a chelating resin containing hydroxy group and iminodiacetate acid for copper ions // *J. Appl. Polym. Sci.* 2004. V. 94. N 5. P. 2123–2130.
6. Самонин В.В., Никонова В.Ю., Подвизников М.Л. Селективность модифицированных фуллеренами активных углей по отношению к смесям катионов цветных металлов в водных растворах // *Журн. физ. химии.* 2008. Т. 82. № 8. С. 1547–1551.
7. Papini M.P., Saurini T., Bianchi A., Majone M., Beccari M. Modeling the Completitive Adsorption of Pb, Cu, Cd and Ni onto a Natural Heterogeneous Sorbent Material (Italian “Red Soil”) // *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 2004. V.43. № 17. P. 5032-5041.
8. Xiao B., Thomas K.M. Completitive Adsorption of Aqueous Metal Ions on an Oxidized Nanoporous Activated Carbon // *Langmuir.*2004. V.20. № 11. P. 4566-4578.
9. Srivastava V.C., Mall I.D., Mishra I.M. Antagonistic competitive equilibrium modeling for the adsorption of ternary metal ion mixtures from aqueous solution onto bagasse fly ash // *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 2008. V. 47. № 9. P. 3129-3137.
10. Ping Xin Sheng, Yen-Peng Ting, and J. Paul Chen. Biosorption of Heavy Metal Ions (Pb, Cu, and Cd) from Aqueous Solutions by the Marine Alga *Sargassum* sp. in Single- and Multiple-Metal Systems // *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 2007. V. 46. № 8. P. 2438–2444.
11. Balasubramanian R., Perumal S.V., Vijayaraghavan K. Equilibrium isotherm studies for the multicomponent adsorption of lead, zinc, and cadmium onto Indonesian Peat // *Industrial and Engineering Chemistry Research.* 2009. V. 48. № 4. P. 2093-2099.
12. Неудачина Л.К., Ятлук Ю.Г., Баранова Н.В., Пестов А.В., Вшивков А.А., Плеханова А.Ю., Зорина М.В. Синтез и физико-химические свойства хелатных сорбентов с функциональными группами N-арил-3-аминопропионовых кислот // *Известия Академии наук. Серия химическая.* 2006. № 5. С. 800-806.
13. Неудачина Л.К., Пестов А.В., Баранова Н.В., Старцев В.А. Новые хелатные сорбенты: свойства и применение для сорбционно-спектроскопического определения ионов переходных металлов // *Аналитика и контроль.* 2011. Т.15. № 2. С. 238-250.
14. ГОСТ 10398-76. Реактивы и особо чистые вещества. Комплексонометрический метод определения содержания основного вещества. М.: ФГУП Стандартинформ, 2008. 18 с.
15. Maurice S.O., Yoshihiro K., Ochieng A., Eileen C. B., Hitoki M. Adsorbtion equilibrium modelling and solution chemistry dependence of fluoride removal from water by trivalent – cation – exchanged zeolite F-9 // *J. Coll. and Interface Science.* 2004. V. 279. N 2. P. 341-350.
16. Chen Chuh-Yean, Chen Chuh-Yung Stability constants of water-soluble and latex types of chelating polymers containing iminodiacetic acid with some transition-metal ions // *European Polymer Journal.* 2003. V. 39. N 5.P. 991–1000.
17. Ling P., Liu F., Li L., Jing X., Yin B., Chen K., Li A. Adsorption of divalent metal ions onto IDA-chelating resin: simulation of physicochemical structures and elucidation of interaction mechanisms // *Talanta.* 2010. V. 81. N 1-2. P. 424-432.
18. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов. М.: Химия, 1988. 544 с.
19. Скорик Ю.А., Неудачина Л.К., Вшивков А.А. Корреляционный анализ кислотно-основных и комплексообразующих свойств N,N-ди(2-карбоксиэтил)анилинов // *Журн. общей химии.* 1999. Т. 69. № 2. С. 296-301.

Неудачина Людмила Константиновна – к.х.н., профессор, зав. кафедрой аналитической химии департамента «Химический факультет» Института естественных наук ФГАОУ ВПО Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Пестов Александр Викторович – к.х.н., и.о. заведующего лаборатории органических материалов Института органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург

Баранова Наталья Викторовна – аспирант кафедры аналитической химии департамента «Химический факультет» Института естественных наук ФГАОУ ВПО Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Старцев Василий Александрович – магистр 2 года обучения кафедры аналитической химии химического факультета Института естественных наук ФГАОУ ВПО Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

Neudachina Ludmila K. – Cand. Chem. Sci., the professor managing chair of analytical chemistry of department “chemical faculty” of Institute of natural sciences of the Ural federal university of a name of the first President of Russia of B.N.Yeltsin, Yekaterinburg, e-mail: Ludmila.Neudachina@usu.ru

Pestov Alexander V. – Cand. Chem. Sci., the senior research assistant of laboratory of organic materials of Institute of organic synthesis of I.Ja. Postovsky of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg

Baranova Natalya V. – the post-graduate student of chair of analytical chemistry of department “chemical faculty” of Institute of natural sciences of the Ural federal university of a name of the first President of Russia B.N.Yeltsin, Ekaterinburg

Starcev Vasily A. – the master 2 years of training of chair of analytical chemistry of chemical faculty of Institute of natural sciences of the Ural federal university of a name of the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg