

УДК 546.73 + 546.56 + 546.47: 542.913

Фиксация ионов ^{137}Cs в модельном водном растворе комбинированными ферроцианидами меди, цинка и кобальта

В.А. Шумилин

Введение

На основании проведенных ранее исследований [1] было установлено, что наибольшей скоростью ионного обмена по отношению к ионам радиоактивного цезия обладают образцы препаратов смешанных калий – цинк – медных ферроцианидов с дробной химической структурой $\text{K}_2\text{Cu}_{1.5}\text{Zn}_{1.5}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ и их модификации при введении кобальта. Согласно литературным данным [2-4], препараты изучаемых переходных металлов $\text{K}_2\text{Э}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ образуют твердые растворы, типа $\text{K}_2\text{Э}[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{Э}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Представляло непосредственный интерес установить, какая из химических структур, образующих твердый раствор, определяет общую эффективность ионообменной фиксации ^{137}Cs . В этой связи были разработаны методы синтеза и получены препараты отдельных форм ферроцианидов с химической структурой $\text{K}_2\text{Э}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{Э}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, как в моно – форме относительно атома переходного металла, так и в виде смешанных модификаций меди, цинка и кобальта.

Целью исследований явилось изучение строения и скорости ионного обмена ^{137}Cs из модельного водно – солевого раствора комбинированных форм препаратов типа $\text{Э}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{M}_2\text{Э}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, где M_2 – ионы калия или аммония; Э – ионы меди, цинка и кобальта в отдельности, или в виде совместных композиционных форм.

Материалы и методы

Синтез препаратов на основе комбинированных форм ферроцианидов переходных металлов

Для синтеза препаратов готовились титрованные водные растворы желтой кровяной соли $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией 0,1 М/л, для чего использовали метод перманганатометрии в кислой среде [5], а также растворы (0,05М/л) сульфатов кобальта, меди и цинка, концентрацию которых устанавливали комплексонометрическим титрованием при помощи Трилона-Б в присутствии эриохрома черного-Т или мурексида в слабощелочной буферной среде [6]. Растворы смешивали в необходимых соотношениях, перемешивали в течение 60 минут, выдерживали 24 часа для полного созревания осадков ферроцианидов, после чего центрифугировали (10 мин, 3000 об/мин.), промывали дистиллированной водой, вновь центрифугировали и высушивали в естественных условиях в чашках Петри.

Для синтеза форм $\text{M}_2\text{Э}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, обладающих существенной пептизацией, в качестве высаливающих агентов использовали соответствующие сульфаты калия и аммония. Для приготовления нормальных форм ферроцианидов $\text{Э}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ раствор желтой кровяной соли предварительно пропускали через ионообменную колонку, заполненную катионитом Dowex 50×8 в H^+ – форме, согласно [4].

Препараты нормальных форм ферроцианидов не пептизировали в воде даже после трех промывок при соотношении фаз 1:100. Полученные образцы препаратов тщательно измельчали в агатовой ступке, брали навески по 5 мг на аналитических весах, которые перенесли в полиэтиленовые емкости, объемом 100 мл.

В качестве рабочего раствора использовался водно-солевой раствор, моделирующий среднее содержание ионов калия, аммония, натрия, магния и кальция (в виде хлоридов), а также $\text{pH} = 1,3-1,5$ в желудочном соке человека [7]. Приготовленный раствор имел следующие расчетные концентрации хлоридов (г/л): $\text{KCl} - 0,894$; $\text{NaCl} - 2,925$; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 1,726$; $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 0,438$; $\text{NH}_4\text{Cl} - 0,178$, который метили изотопом ^{137}Cs до необходимых значений удельной активности.

Ионообменная часть

В полиэтиленовые емкости, содержащие навески препаратов, вводили по 50 мл водно-солевого раствора (отношение фаз 1:10000), после чего они встряхивались на роторном шейкере необходимое время. В дальнейшей фазы разделяли методом фильтрования с использованием бумаги "синяя лента". В параллельном эксперименте для сравнения эффективности приводились в контакт с водно-солевым раствором известные препараты: 95% $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 + 5\% \text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (ферроцин) и $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (соль Нигровича).

Измерительная часть и расчет экспериментальных данных

Образцы водно-солевых растворов после контакта с препаратами переносили в сосуды Маринелли и измеряли их активность по ^{137}Cs на аттестованном гамма-спектрометре "Tennelec" (США), с полупроводниковым детектором из сверхчистого германия.

В качестве экспериментального параметра, характеризующего эффективность синтезированных препаратов по связыванию радиоцезия, был использован коэффициент распределения:

$$K_d(^{137}\text{Cs}) = (A_{\text{нач.}} - A_{\text{кон.}}) / A_{\text{кон.}} \cdot V_{\text{р-ра}} / m_{\text{преп.}} \quad (\text{см}^3 / \text{г});$$

где: $A_{\text{нач.}}$ и $A_{\text{кон.}}$ – начальная и конечная (после контакта с препаратом) активность водно-солевого раствора (бк), соответственно;

$V_{\text{р-ра}}$ – объем раствора (см^3); $m_{\text{преп.}}$ – масса активного начала в 5мг навески (г).

Элементный анализ

Навески синтезированных образцов разлагали при нагревании концентрированной серной кислотой, растворяли дистиллированной водой, переносили в мерные колбы, после чего определяли концентраций элементов, входящих в структуру препаратов ферроцианидов методом атомной абсорбционной спектрофотометрии (ААС-3). Определение содержания сульфат-ионов проводили весовым анализом путем осаждения сульфата бария после разрушения препаратов ферроцианидов, введением раствора гидроксида натрия в присутствии перекиси водорода (для окисления железа II). Образовавшиеся гидроксиды железа III и переходных металлов (за исключением цинка) отделяли от раствора путем фильтрования с использованием бумаги "синяя лента".

ИК – спектрофотометрический анализ

ИК – спектрофотометрические исследования структуры препаратов проводили на фотометре ИКС – 29 (ЛОМО). Образцы препаратов были запрессованы в таблетки с бромидом калия.

Синтез модифицированных форм нормальных ферроцианидов

Суспензии нормальных ферроцианидов кобальта и цинка после двукратной промывки дистиллированной водой приводили в контакт в течение 4 часов с растворами сульфатов цинка и кобальта соответственно с различной их концентрацией при постоянном отношении фаз. Содержание ионов металлов в водной фазе варьировалось по отношению к мольному содержанию металла в твердой фазе ферроцианида от 0,125 до 2,0.

Результаты и их обсуждение

Как показали экспериментальные данные (табл.1), препараты нормальных ферроцианидов меди и кобальта обладают близкими значениями коэффициентов распределения ^{137}Cs , которые в 4,5 раза превышают таковые у нормального ферроцианида цинка. Полученные результаты хорошо согласуются с данными [1], где было установлено, что ферроцианид цинка $\text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ (твердый раствор) обладает значительно более низкой эффективностью по ионообменной фиксации радиоцезия.

Таблица 1
Значения коэффициентов распределения ^{137}Cs для различных модификаций препаратов ферроцианидов после статического контакта с водно – солевым раствором

Препарат	K_d (3 мин)	K_d (240 мин)
$\text{Co}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$9,9 \times 10^3$	$1,2 \times 10^5$
$\text{Cu}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$9,0 \times 10^3$	$1,0 \times 10^5$
$\text{Zn}_2 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$2,0 \times 10^3$	$2,1 \times 10^4$
$\text{Co Zn} [\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$2,2 \times 10^3$	-
$0,95 \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 + 0,05\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (Ферроцин)	$4,1 \times 10^3$	$0,8 \times 10^5$
$\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (соль Нигровича)	$1,6 \times 10^3$	$0,7 \times 10^4$
$\text{K}_2\text{Cu}_{1,5}\text{Zn}_{1,5}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	$8,65 \cdot 10^4$	$2,20 \cdot 10^5$

Сложный характер изменения коэффициентов распределения был установлен у модифицированных форм нормальных ферроцианидов цинка и кобальта (рис. 1, 2). На первом этапе при введении атомов кобальта в структуру ферроцианида цинка (рис. 1) величины коэффициентов распределения фактически не изменяются и соответствуют таковым у не модифицированного препарата. При более высоких степенях замещения (цвет препарата изменяется от белого до темно – бирюзового) наблюдается резкий скачок величин коэффициентов распределения до значений, характерных для нормального ферроцианида кобальта. Весьма интересный эффект обнаружен при постепенном замещении атомов кобальта (рис.2). На первой стадии величины K_d уменьшаются почти в 2 раза, после чего идет резкое их возрастания до величин, в 2 раза превышающих таковые у нормального ферроцианида кобальта. Подобный эффект синергизма может быть объяснен с позиции теории дефектных структур, возникающих в кристаллической решетке ферроцианида при внедрении гетероатома. Сравнительные испытания показали, что с одной стороны, скорости ионного обмена у нормальных ферроцианидов выше, чем у препаратов берлинской лазури (табл. 1); с другой стороны, эти величины значительно уступают таковым у препарата $\text{K}_2\text{Cu}_{1,5}\text{Zn}_{1,5}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$, синтезированного и изученного в работе [1]. Полученные результаты позволяют сделать важный вывод о том, что нормальные ферроцианиды изученных металлов, входящие в состав твердых растворов $\text{K}_2\text{M}_2\text{E}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$, не определяют аномально высокие величины скоростей ионного обмена радиоцезия в модельных условиях статического контакта. Это, в свою очередь, означает, что скорость – лимитирующими структурами могут являться смешанные ферроцианиды со строением $\text{M}_2\text{E}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$; где M_2 – ионы калия или аммония; E – ионы меди, цинка и кобальта в отдельности, или в виде совместных композиционных форм.

На данном основании были синтезированы 32 модификации препаратов указанного типа, изучена их структура и ионообменные свойства (табл. 2,3).

Установлено, что формы $\text{M}_2\text{E}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (главным образом – аммонийная) обладают весьма высокой пептизирующей способностью при промывке дистиллированной водой. В этой связи для их выделения и изучения был применен метод высаливания с помощью сульфатов калия и аммония. Воздушно – сухие образцы препаратов в большинстве случаев имели значительно большие массы относительно теоретических, что нельзя было связать с наличи-

ем только одной кристаллизационной воды. Анализы на сульфат – анионы показал высокое присутствие указанных анионов в составе ферроцианидов, структуру которых можно описать формулой: $x \text{M}_2\text{Э}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot y \text{M}_2 \text{SO}_4 \cdot z \text{H}_2\text{O}$.

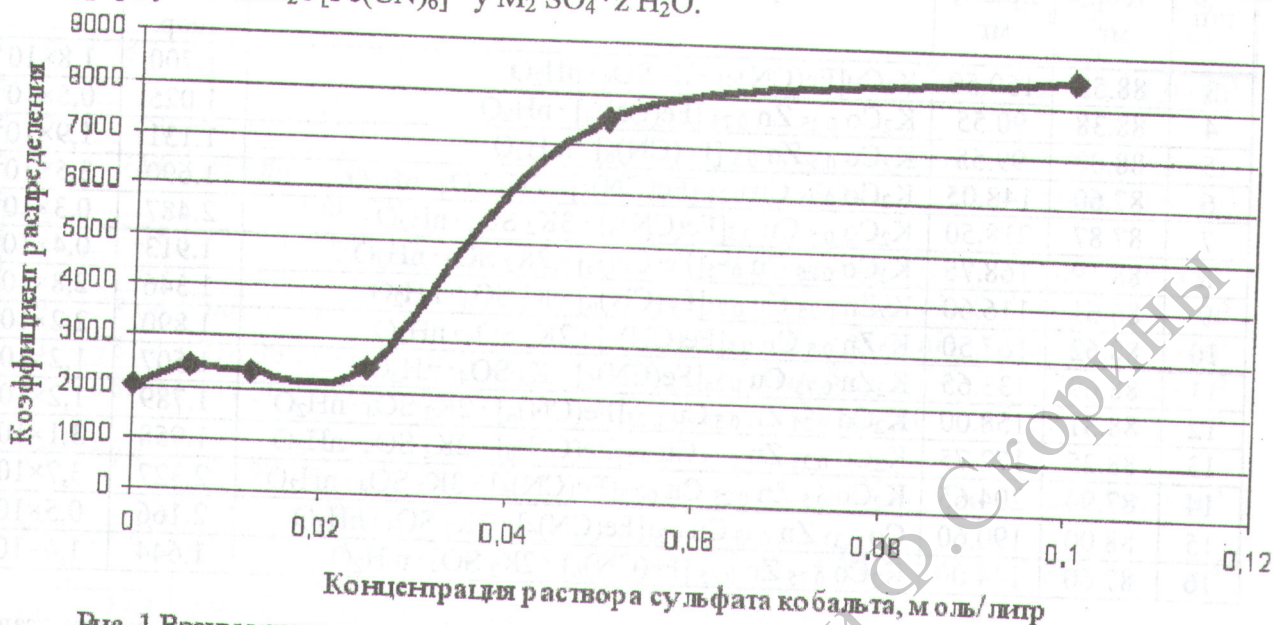


Рис. 1 Взаимосвязь между концентрацией раствора сульфата кобальта (4 мл) при обработке осадка (0,05 ммоль) нормального ферроцианида цинка и коэффициентом распределения радиоцезия из водно - солевого раствора

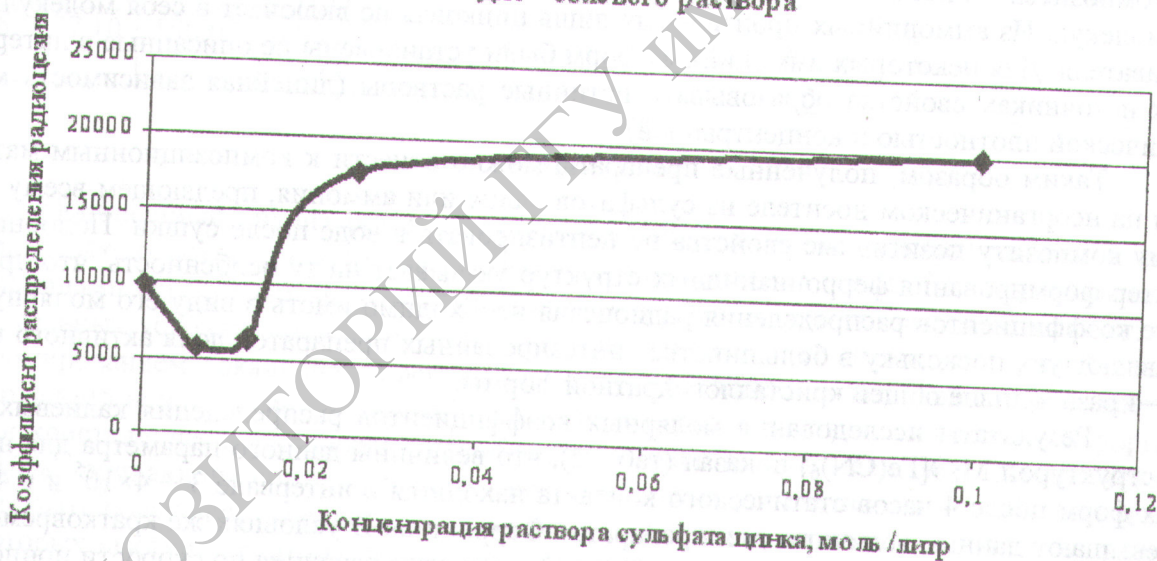


Рис. 2 Взаимосвязь между концентрацией раствора сульфата цинка (4 мл) при обработке осадка (0,05 ммоль) нормального ферроцианида кобальта и коэффициентом распределения радиоцезия из водно - солевого раствора

Структура и величины коэффициентов распределения ионов радиоцезия для калиевых производных препаратов ферроцианидов Таблица 2

№ п/п	М теор, мг	М практ, мг	Предположительная структура	М практ./ М теор.	Kd, 240 мин
1	87.20	89.75	$\text{K}_2\text{Co}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$.	1.029	$2,4 \times 10^5$
2	88.75	93.60	$\text{K}_2\text{Zn}[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot n \text{H}_2\text{O}$	1.055	$0,1 \times 10^4$

№ п/п	М теор, мг	М практ, мг	Предположительная структура	М практ./ М теор.	Kd, 240 мин
3	88.53	150.50	$K_2Cu[Fe(CN)_6] \cdot K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.700	$1,8 \times 10^5$
4	88.38	90.55	$K_2Co_{0.25}Zn_{0.75}[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$	1.025	$0,5 \times 10^5$
5	88.00	99.55	$K_2Co_{0.5}Zn_{0.5}[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$	1.131	$1,9 \times 10^5$
6	87.60	148.05	$K_2Co_{0.75}Cu_{0.25}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.690	$3,5 \times 10^5$
7	87.87	218.50	$K_2Co_{0.5}Cu_{0.5}[Fe(CN)_6] \cdot 3K_2SO_4 \cdot nH_2O$	2.487	$0,3 \times 10^5$
8	88.19	168.75	$K_2Co_{0.25}Cu_{0.75}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.913	$0,4 \times 10^5$
9	86.61	116.60	$K_2Zn_{0.25}Cu_{0.75}[Fe(CN)_6] \cdot K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.346	$2,8 \times 10^5$
10	88.62	167.50	$K_2Zn_{0.5}Cu_{0.5}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.890	$2,2 \times 10^5$
11	88.69	133.65	$K_2Zn_{0.75}Cu_{0.25}[Fe(CN)_6] \cdot K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.507	$1,2 \times 10^5$
12	88.31	158.00	$K_2Co_{0.25}Zn_{0.5}Cu_{0.25}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.789	$1,2 \times 10^5$
13	88.25	172.75	$K_2Co_{0.25}Zn_{0.25}Cu_{0.5}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.958	$3,1 \times 10^5$
14	87.94	204.65	$K_2Co_{0.5}Zn_{0.25}Cu_{0.25}[Fe(CN)_6] \cdot 3K_2SO_4 \cdot nH_2O$	2.327	$3,7 \times 10^5$
15	88.00	190.60	$Co_{0.33}Zn_{0.33}Cu_{0.33}[Fe(CN)_6] \cdot 3K_2SO_4 \cdot nH_2O$	2.166	$0,5 \times 10^5$
16	87.60	144.00	$K_2Co_{0.75}Zn_{0.25}[Fe(CN)_6] \cdot 2K_2SO_4 \cdot nH_2O$	1.644	$1,6 \times 10^5$

Полученные данные показали, в числе калиевых форм ферроцианидов, не кристаллизуются с молекулами сульфата калия только кобальтовые и цинковые производные, а также их композиты. Во всех остальных случаях наблюдается внедрения сульфата калия в структуру молекул. Из аммонийных производных лишь цинковая не включает в себя молекулы высаливателя. Для некоторых аммонийных форм были установлены не описанные в литературных источниках свойства образовывать истинные растворы (линейная зависимость между оптической плотностью и концентрацией).

Таким образом, полученные препараты можно отнести к композиционным материалам на неорганическом носителе из сульфатов калия или аммония, предающем всему сложному композиту позитивные свойства не пептизировать в воде после сушки. Подобный характер формирования ферроцианидных структур указывает на ту особенность, что при расчете коэффициентов распределения радиоцезия необходимо иметь в виду его молярную составляющую, поскольку в большинстве синтезированных препаратов доля активного начала в 2-4 раза меньше общей кристаллогидратной формы.

Результаты исследования молярных коэффициентов распределения калиевых форм со структурой $M_2O[Fe(CN)_6]$ показал (табл. 2), что величины данного параметра для некоторых форм после 4 часов статического контакта находятся в интервале $3 \div 4 \times 10^5$ и в 4-5 раз превышают данные величины для препарата «Ферроцин». В условиях же кратковременного контакта с водно-солевым раствором (3 мин.) указанные различия по скорости ионного обмена достигают 20 раз и более. Установлено, что эффективность блокирования ионов радиоцезия аммонийными формами достоверно ниже, чем калиевыми (табл. 3).

Таблица 3

Структура и величины коэффициентов распределения ионов радиоцезия для аммонийных производных препаратов ферроцианидов

№п /п	М теор, мг	М практ, мг	Предположительная структура	М практ./ М теор.	Kd, 240 мин
1	76.76	219.15	$(NH_4)_2Co[Fe(CN)_6] \cdot 4(NH_4)_2SO_4 \cdot nH_2O$	2.855	$1,1 \times 10^5$
2	78.25	81.00	$(NH_4)_2Zn[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$	1.038	$0,5 \times 10^4$
3	78.00	249.05	$(NH_4)_2Cu[Fe(CN)_6] \cdot 4(NH_4)_2SO_4 \cdot nH_2O$	3.193	$1,5 \times 10^5$

№п /п	М теор, мг	М практ, мг	Предположительная структура	М прак т./ М теор.	Kd, 240 мин
4	78.13	175.75	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.25} \text{Zn}_{0.75} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.249	$1,0 \times 10^5$
5	77.50	220.45	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.5} \text{Zn}_{0.5} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.845	$0,5 \times 10^5$
6	77.06	233.80	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.75} \text{Cu}_{0.25} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.034	$0,5 \times 10^5$
7	77.38	222.75	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.5} \text{Cu}_{0.5} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.879	$0,4 \times 10^5$
8	77.69	342.00	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.25} \text{Cu}_{0.75} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 7(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4.402	$0,8 \times 10^5$
9	78.06	240.65	$(\text{NH}_4)_2 \text{Zn}_{0.25} \text{Cu}_{0.75} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.083	$0,8 \times 10^5$
10	78.13	216.90	$(\text{NH}_4)_2 \text{Zn}_{0.5} \text{Cu}_{0.5} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.776	$0,2 \times 10^5$
11	78.19	141.50	$(\text{NH}_4)_2 \text{Zn}_{0.75} \text{Cu}_{0.25} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.810	$0,7 \times 10^5$
12	77.81	251.80	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.25} \text{Zn}_{0.5} \text{Cu}_{0.25} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 5(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.236	$0,7 \times 10^5$
13	77.81	224.90	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.25} \text{Zn}_{0.25} \text{Cu}_{0.5} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 4(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	2.890	$0,5 \times 10^5$
14	77.44	259.95	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.5} \text{Zn}_{0.25} \text{Cu}_{0.25} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 5(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	3.357	$0,7 \times 10^5$
15	77.51	325.45	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.33} \text{Zn}_{0.33} \text{Cu}_{0.33} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 7(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	4.221	$0,9 \times 10^4$
16	77.10	150.00	$(\text{NH}_4)_2 \text{Co}_{0.75} \text{Zn}_{0.25} [\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	1.94	$0,6 \times 10^5$

Заключение

Обобщенный анализ результатов исследований позволяет сделать основной вывод, который заключается в том, что эффективность блокирования ионов ^{137}Cs изученными феррицианидами переходных металлов в модельных водных системах определяется сочетанием двух главных условий: наличием упорядоченной кубической гранецентрированной решетки и формированием локальных дефектных структур, обладающих высокой селективностью к поглощению ионов радионуклида [8]. Реализация первого условия заключается в формировании кристаллической решетки с преобладанием либо атомов меди, либо атомов кобальта (70–80%), придающих синтезированным препаратам низкую растворимость. Второе условие может быть обеспечено внедрением в решетку гетероатомов в количестве 10–15%, в качестве которых выступают атомы цинка. Так, анализ полученных ИК-спектров поглощения для препарата: $\text{K}_2\text{Cu}_{1.5}\text{Zn}_{1.5}[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ выявил смещение максимумов полосы поглощения нитрильной группы в более коротко-частотную область ($2080 - 2076 \text{ см}^{-1}$) относительно полос поглощения препарата $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ ($2216 - 2081 \text{ см}^{-1}$). Установленный факт может быть объяснен ослаблением π – дативного взаимодействия между атомами азота нитрильной группы и атомами переходных металлов в центрах малых кубов кристаллической гранецентрированной решетки [4]. Подобный эффект указывает на формирование дефектных структур при формировании указанных твердых растворов, определяющих резкий скачок скорости ионного обмена по радиоцезию.

Abstract

The purpose of the research was studying a structure and speed of an ionic exchange of ^{137}Cs from a modeling water-salt solution of the combined forms of preparations of the following type $\text{E}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и $\text{M}_2\text{E}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Литература

1. Шумилин В.А., Пехота Р.В. Синтез и ионообменные свойства комбинированных типов смешанных ферроцианидов переходных металлов // Известия ГГУ им. Ф.Скорины. 2002. – №4 (13). – С. 104–111.
2. Пушкарев В.В., Скрылев Л.Д., Багрецов В.Ф. Извлечение радиоактивного цезия смешанными ферроцианидами тяжелых металлов // ЖПХ, – 1960. – Т. XXXIII. – С. 81-85.
3. Vlasselaer S., D' Olieslager W., D' Hont M. Caesium ion exchange equilibrium on potassium-zinc-hexacyanoferrate (II) $K_2 Zn_3[Fe(CN)_6]_2$. Selectivity for alkalions // J. Radioanal. Chem. 1977. – Vol. 35. – No. 1. – P. 211–222.
4. Тананаев И.В., Сейфер Г.Б. Харитонов Ю.Я. и др. Химия ферроцианидов. – М.: Наука, 1971. – 320 с.
5. Шарло Г. Методы аналитической химии. – М–Л.: Химия, 1965. – 975 с.
6. Пршибил Р. Комплексоны в химическом анализе. М.: ИИЛ. 1960. – 580 с.
7. Киеня А.И., Бандажевский Ю.И. Физиологические и биохимические константы здорового человека. Гомель: 1996. – 139 с.
8. Вольхин В.В. Сорбционные свойства ферроцианидов двухвалентных переходных металлов // Неорганические материалы, 1979. – Т. 15. – № 6. – С. 1086-1091.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 03.02.03

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф.СКОРИНЫ