



УДК 544.726.3

## Некоторые сорбционные характеристики силикагелей с ковалентно иммобилизованными пиридилсодержащими формазаами

Коншина Дж.Н., Данилова А.В., Темердашев З.А., Коншин В.В.

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет, Краснодар»*

Поступила в редакцию 31.08.2015 г.

Изучено концентрирование Cu(II), Co(II), Cd(II) и Ni(II) на силикагелях с ковалентно иммобилизованными пиридилсодержащими формазаами в условиях конкурентной сорбции. Показано, что конкурентная сорбция реализуется на полученных комплексообразующих материалах как неаддитивный процесс при разных уровнях концентраций сорбатов.

**Ключевые слова:** хелатообразующие сорбенты, сорбция, ионы переходных металлов, взаимное влияние, формазааны

## Some sorption characteristics of silica gel with covalently immobilized pyridine-containing formazans

Konshina D.N., Danilova A.V., Temerdashev Z.A., Konshin V.V.

*Kuban State University, Krasnodar*

Investigation of the behavior of system "sorbent - sorptive" in a multi-component conditions of various levels concentrations of sorptives is one of the most complex problems of modern analytical chemistry. The objects of the study were silica gel covalently immobilized pyridine-containing formazans. The coefficients of distribution, maximum capacity of Cu (II), Co (II), Cd (II) and Ni (II) during sorption of a modified silica gel from solutions was obtained. Kinetic sorption of metals were investigated, experimental data were processed by the equations kinetic models pseudo-second-order. It was shown that the competitive adsorption is realized on the obtained complexing materials such as non-additive process at different concentration levels of sorptives.

**Keywords:** Chelating sorbents, sorption, transition metal ions, the mutual influence, formazane

### Введение

Концентрирование малых количеств органических и неорганических аналитов на самых разнообразных сорбционных материалах широко используется не только в практике химического анализа, но и в различных технологических процессах, связанных с очисткой газов промышленных предприятий, разделением газов и жидкостей, очисткой сточных вод, выделением биологически активных веществ. Для концентрирования неорганических аналитов большое значение имеют материалы, содержащие разнообразные функционально-аналитические группы, варьирование природы которых позволяет добиваться группового или селективного извлечения элементов. Особый интерес среди сорбционных материалов представляют комплекситы на основе кремнезема, которые характеризуются

относительной химической стойкостью, механической прочностью, термостабильностью и высокой скоростью массообмена [1]. К настоящему времени достаточно широкий ассортимент химически модифицированных кремнеземов является коммерчески доступными, однако интерес исследователей к разработке новых эффективных сорбентов не ослабевает [2, 3]. Помимо большого числа публикаций посвященных синтезу и описанию структурно-адсорбционных свойств новых сорбционных материалов, можно выделить работы, в которых внимание уделяется изучению термодинамических и кинетических характеристик процессов извлечения с их использованием, позволяющих сопоставлять свойства вновь получаемых сорбционных материалов и прогнозировать их поведение в различных условиях [4, 5].

Цель настоящей работы – изучение возможности концентрирования Cu(II), Co(II), Ni(II) и Cd(II) на силикагеле с ковалентно-иммобилизованными пиридилсодержащими формазиновыми группами.

## Эксперимент

Растворы готовили из точной навески  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CdSO}_4 \cdot 8/3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{OAc})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuCl}_2$  на бидистиллированной воде. Рабочие растворы готовили непосредственно в день анализа разбавлением исходного раствора бидистиллированной водой. Раствор 4-(2-пиридилазо)резорцина (ПАР) (0.1 %) готовили растворением точной навески в бидистиллированной воде. Для поддержания необходимой кислотности использовали ацетатные и боратные [6] буферные растворы. Перемешивание растворов проводили на шейкер-инкубаторе KS4000i control (IKA). Содержание металлов в водной фазе при изучении процессов сорбции контролировали фотометрически по реакции с ПАР на спектрофотометре SS2107UV (LEKI) по методике [7] в 10-мм стеклянной кювете.

Структурно – адсорбционные характеристики полученного материала изучали с помощью анализатора удельной поверхности Сорбтомер-М (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).

Изучение зависимости сорбции ионов металлов от pH проводили в статических условиях методом ограниченного объема при перемешивании в течение 3-х часов растворов, содержащих один определяемый металл с концентрацией 0.91 мг/л, в интервале pH 3-9, поддерживаемом боратными и ацетатными буферами.

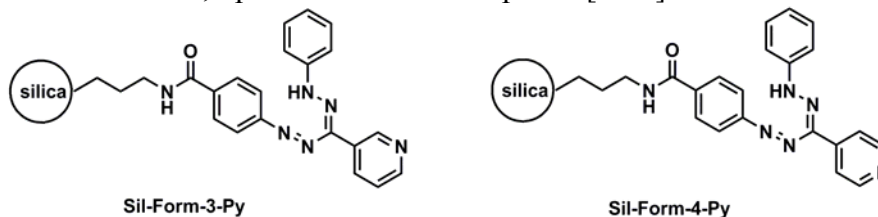
Изотермы сорбции металлов получены в статическом режиме при периодическом перемешивании в течение 5-7 суток при pH 6 для Cu(II), при pH 8 для всех остальных металлов, в диапазоне концентраций 0.91–166.6 мг/л для Ni(II), Co(II), Cu(II) и 0.91-200 мг/л Cd(II).

Кинетику сорбции металлов в статическом режиме изучали методом ограниченного объема, при периодическом перемешивании растворов с оптимальным значением pH среды (pH 6 для Cu(II), pH 8 для остальных элементов). Затем отбирали аликвоту водной фазы и определяли спектрофотометрически концентрацию металла, находящегося в растворе, в фиксированный момент времени. Количественную оценку содержания металлов в аликвотной части раствора после проведения кинетического эксперимента в условиях конкурентной сорбции определяли методом ИСП-АЭС с использованием атомно-эмиссионного спектрометра серии iCAP-6000 (Thermo Scientific) при оптимальных параметрах прибора, обеспечивающих максимальную чувствительность определения элементов. Основные линии эмиссии элементов, свободные от спектральных наложений

матричных компонентов пробы, были выбраны на основании анализа их полных спектров.

### Обсуждение результатов

В качестве основы для получения сорбента использовали силикагель MN Kieselgel 60 с размером частиц 0.040 - 0.063 мм (Macherey-Nagel). Материалы Sil-Form-3-Py и Sil-Form-4-Py получали из силикагеля с ковалентно иммобилизованной солью диазония и фенилгидразонов никотинового и изоникотинового альдегидов аналогично методике, предложенной нами ранее [8-10].



Структурно – адсорбционные характеристики исходного и модифицированных материалов установлены на основании данных низкотемпературной сорбции азота табл 1.

Таблица 1. Структурно-адсорбционные характеристики силикагелей

Силикагель	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Удельный объем пор, см <sup>3</sup> /г	Средний размер пор, нм
Исходный силикагель	489.4	0.230	1.91
Sil-Form-3-Py	334.8	0.163	1.92
Sil-Form-4-Py	336.4	0.160	1.91

Следует отметить, что достаточно часто для комплексообразующих материалов, содержащих функционально-аналитические группы, проявляющие координационную активность по отношению к ряду ионов металлов, изучение возможности их разделения и количественного извлечения проводят на модельных растворах, содержащих индивидуальные сорбаты [11, 12]. Полученные результаты переносят на поведение ионов в более сложных системах и задачу количественного разделения аналитов решают по аналогии с задачами для индивидуальных сорбатов, предполагая для простоты, что комплексообразующий материал будет сорбировать каждый компонент независимо, при протекании сорбции в условиях, когда занято не более 30% способных к взаимодействию функциональных групп. Такое упрощение и не учёт конкурентной сорбции аналитов и ее специфики, предполагающей, что в подавляющем большинстве случаев она реализуется как неаддитивный процесс, во многом объясняет недостаточную результативность исследований, направленных на установление количественных зависимостей для оценки и прогнозирования сорбционных свойств новых материалов при извлечении аналитов из сложных по составу растворов. Поэтому для нас представлялось интересным изучить поведение четырехкомпонентной системы в условиях конкурентной сорбции на полученных сорбционных материалах с ковалентно закрепленными формазаоновыми фрагментами.

Выбор сорбатов – Cu(II), Ni(II), Co(II), Cd(II) – по отношению к которым нами были оценены некоторые равновесно-кинетические характеристики, осуществлялся

на основе данных об образовании устойчивых комплексных соединений 1,3,5-замещенными формазанами в водных и водно-органических средах [13].

Анализ зависимостей коэффициентов распределения ионов металлов от pH среды как для моно- так и для четырех компонентных систем позволил выделить область pH 7.5-8, в которой изучаемый параметр имеет наибольшее значение (рис.1) Можно отметить, что при конкурентной сорбции из растворов, содержащих все четыре изучаемых иона, на обоих сорбентах происходит незначительное снижение значений коэффициентов распределения для всех сорбатов, кроме меди. С целью адекватной оценки сорбционной способности полученных материалов по отношению к Cu(II), Ni(II), Co(II) и Cd(II) была получена зависимость коэффициентов распределения аналитов от pH и на немодифицированном силикагеле, позволяющая учесть вклад силанольных групп.

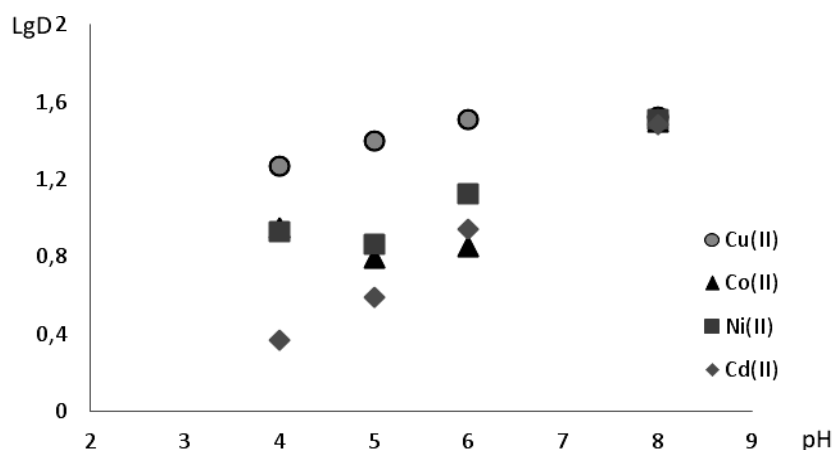


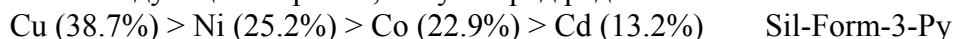
Рис. 1. Зависимость коэффициентов распределения Cu(II), Ni(II), Co(II) и Cd(II) от pH среды в условиях конкурентной сорбции на модифицированном силикагеле Sil-Form-3-Py ( $C_0 \text{ Cu(II)}=C_0 \text{ Ni(II)}=C_0 \text{ Co(II)}=C_0 \text{ Cd(II)}=0.35 \text{ мМ/л}$ )

Большинство процедур разделения и концентрирования неорганических ионов проходят в неравновесных условиях. Однако определение максимальной емкости сорбента по отношению к выбранному сорбату является важной характеристикой, позволяющей оценить количество стерически доступных функциональных групп материала, проявляющих координационную активность к иону металла. Для определения емкости сорбентов нами были получены изотермы сорбции из индивидуальных растворов при выбранном значении pH среды, рассчитанные значения максимальной емкости, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения максимальной сорбционной емкости модифицированных силикагелей по отношению к Cu(II), Ni(II), Co(II), Cd(II)

	$A_{\text{max}}$ , мМ/г			
	Cu(II)	Ni(II)	Co(II)	Cd(II)
Sil-Form-3-Py	0.51	0.92	0.53	0.91
Sil-Form-4-Py	0.43	0.96	0.55	0.93

В случае четырехкомпонентной системы в условиях равновесия количество сорбированных на поверхности материала металлов (при их начальных концентрациях 0.45 мМ/л) по отношению к их суммарному количеству можно представить следующим образом, получив ряд ряды селективности:



Cu (34.7%) > Ni (29.2%) > Co (21.9%) > Cd (14.2%) Sil-Form-4-Py

Опираясь только на эту характеристику затруднительно оценить возможность применения полученного сорбента для концентрирования выбранных ионов металлов. Учитывая, что значения сорбционной емкости, рассчитанное для индивидуальных растворов не позволяет предсказать различия сорбционного поведения в случае одно- и четырехкомпонентных систем и проявление избирательности при извлечении Cu(II) в условиях избытка функциональных групп. Поэтому нам представлялось необходимым изучить кинетику сорбции ионов металлов как в случае их индивидуального так и совместного присутствия.

В случае исследования кинетических зависимостей сорбционного процесса на комплексообразующих материалах можно отметить многообразие опубликованных оригинальных исследований, отличающихся постановкой задачи и методами ее решения [5]. При этом многие авторы указывают, что комплексообразующие сорбционные материалы одни из самых сложных по своей природе аддендов, координирующая способность которых в значительной степени зависит от способов их получения и как следствие от однородности привитых функциональных групп [14]. Данные факторы в значительной степени усложняют стереохимию взаимодействия в системе сорбент - сорбат, что затрудняет решение задачи нахождения зависимости сорбционной способности материала от времени, поэтому исследователи часто применяют прием, позволяющий упростить анализ кинетических зависимостей, понизив порядок реакции, путем проведения кинетических экспериментов в условиях избытка одного из компонентов – функциональных групп, так как именно такое соотношение сохраняется в условиях дальнейшего химического анализа. Обработку полученных экспериментальных зависимостей проводят в координатах уравнений псевдо-первого, псевдо-второго, модифицированного псевдо-второго порядка, уравнения Еловича, оценивая адекватность применения уравнения по величине дисперсии неадекватности [15].

Выбор начальных концентраций аналитов для проведения кинетических экспериментов является важным этапом в работе, так как рассчитываемые из уравнений параметры являются условными и зависимыми от начальной концентрации сорбата [16]. Нами были получены интегральные зависимости сорбционной емкости от времени для моно- и четырехкомпонентной систем, содержащей Cu(II), Ni(II), Co(II), Cd(II) (начальные концентрации сорбатов составляют 0.031 мМ/л, данные значения обеспечивают необходимый избыток функциональных групп, и сохраняется высокое значение коэффициента распределения), которые были обработаны в линейных координатах уравнений псевдо-первого и псевдо-второго порядка и уравнения Еловича. Получены коэффициенты аппроксимации для каждой функции, были использованы для начальной оценки применимости той или другой функции для описания сорбции ионов металлов в выбранном диапазоне концентраций на модифицированных силикагелях. Дальнейшую проверку адекватности применения выбранного уравнения псевдо-второго порядка проводили, рассчитывая величину дисперсии неадекватности и сопоставляя ее отношение к дисперсии воспроизводимости с табличной величиной [15]. При описании кинетики с применением уравнения псевдо-второго порядка возможно рассчитать не только значение начальной скорости сорбции, константы скорости сорбции, времени полусорбции, но и значение максимальной сорбционной емкости для выбранной начальной концентрации сорбата. Представленные значения (табл.3) достигаемой сорбционной емкости при сорбции ионов металлов в случае четырех компонентных систем иллюстрируют снижение значений для всех сорбатов, за исключением меди.

Таблица 3. Значения максимальной емкости модифицированных силикагелей в условиях конкурентной сорбции  $C_0\text{Cu(II)}=C_0\text{Ni(II)}=C_0\text{Co(II)}=C_0\text{Cd(II)}=0.031\text{ мМ/л}$

Ион металла	Sil-Form-3-Py		Sil-Form-4-Py	
	$A_{\text{max}}$ , мМ/г (монокомпонентная система)	$A_{\text{max}}$ мМ/г (4-х компонентная система)	$A_{\text{max}}$ мМ/г (монокомпонентная система)	$A_{\text{max}}$ мМ/г (4-х компонентная система)
Cu(II)	0.015	0.015	0.015	0.015
Ni(II)	0.015	0.01	0.15	0.011
Co(II)	0.014	0.05	0.013	0.007
Cd(II)	0.008	0.004	0.008	0.005

Также можно отметить сохранение соотношения сорбированных на поверхности материала металлов по отношению к их суммарному количеству, рассчитанное из значений максимальной сорбционной емкости по уравнению кинетики сорбции псевдо-второго порядка и полученное в условиях равновесия. Полученные данные иллюстрируют сохранение избирательности при извлечении Cu(II).

Таблица 4. Значения коэффициентов распределения Cu(II), Ni(II), Cd(II), Co(II) на сорбенте Sil-Form-3-Py (pH=8, m (сорбента)=0.05 г)

Ион металла	Коэффициент распределения, л/г (общая минерализация)			
	0.084 г/л*		35 г/л**	
	$C_0=0.7 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=1.3 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=0.7 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=1.3 \cdot 10^{-5}$ моль/л
Co(II)	2.2	2.4	0.14	0.21
Cd(II)	5.8	5.6	0.04	0.14
Ni(II)	13.4	6.5	0.22	0.32
Cu(II)	156.8	80.1	68.3	71.2

\*  $C\text{Na}^+=5.8\text{ мг/л}$ ,  $C\text{K}^+=3.4\text{ мг/л}$ ,  $C\text{Mg}^{2+}=20.0\text{ мг/л}$ ,  $C\text{Ca}^{2+}=2.1\text{ мг/л}$ ,  $C\text{Cl}^-=5.7\text{ мг/л}$ ,  $C\text{SO}_4^{2-}=12.0\text{ мг/л}$ ,  $C\text{HCO}_3^-=35.0\text{ мг/л}$ ; \*\*  $C\text{Na}^+=10.6\text{ г/л}$ ,  $C\text{Mg}^{2+}=2.5\text{ г/л}$ ,  $C\text{Ca}^{2+}=0.4\text{ г/л}$ ,  $C\text{K}^+=0.4\text{ г/л}$ ,  $C\text{Cl}^-=18\text{ г/л}$ ,  $C\text{SO}_4^{2-}=2.7\text{ г/л}$ ,  $C\text{HCO}_3^-=0.15\text{ г/л}$ .

Селективность сорбционного процесса можно изменить, варьируя значение pH среды или ионную силу раствора, поэтому нам представлялось важным изучить поведение четырехкомпонентной гетерогенной системы в случае присутствия в растворе солевого фона (общая минерализация 0.084 и 35 г/л). В таблицах 4-5 представлены полученные значения коэффициентов распределения, которые иллюстрируют сохранение избирательности модифицированных материалов по отношению к Cu(II).

Количественное разделение смеси двух ионов в условиях конкурентной сорбции достигается, если коэффициенты распределения соответствующих ионов имеют следующий порядок  $D_{\text{Me1}}/D_{\text{Me2}} \geq 10-30$  [17]. Из представленных данных видно, что данное условие реализуется в случае обоих силикагелей, что иллюстрирует возможность количественного извлечения Cu(II) из водных образцов с общей минерализацией 35 г/л в присутствии эквимольных количеств Cd(II), Co(II), Ni(II).

Таблица 5. Значения коэффициентов распределения Cu(II), Ni(II), Cd(II), Co(II) на сорбенте Sil-Form-4-Py (pH=8, m (сорбента)=0.05 г)

Ион металла	Коэффициент распределения, л/г (общая минерализация)			
	0.084 г/л*		35 г/л**	
	$C_0=0.7 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=1.3 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=0.7 \cdot 10^{-5}$ моль/л	$C_0=1.3 \cdot 10^{-5}$ моль/л
Co(II)	2.7	2.3	0.18	0.12
Cd(II)	7.1	6.9	1.1	0.04
Ni(II)	13.8	8.1	0.28	0.4
Cu(II)	132.8	65.8	82.5	54.6

\*C Na<sup>+</sup>=5.8 мг/л, C K<sup>+</sup>=3.4 мг/л, C Mg<sup>2+</sup>=20.0 мг/л, C Ca<sup>2+</sup>=2.1 мг/л, C Cl<sup>-</sup>=5.7 мг/л, C SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=12.0 мг/л, C HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=35.0 мг/л. \*\* C Na<sup>+</sup>=10.6 г/л, C Mg<sup>2+</sup>=2.5 г/л, C Ca<sup>2+</sup>=0.4 г/л, C K<sup>+</sup>=0.4 г/л, C Cl<sup>-</sup>=18 г/л, C SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=2.7 г/л, C HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>=0.15 г/л.

## Заключение

В работе показано, что конкурентная сорбция Cu(II), Ni(II), Co(II), Cd(II) на силикагелях, содержащих ковалентно иммобилизованные пиридилсодержащие формазаны, реализуется как неаддитивный процесс, как в случае равенства содержания функциональных групп в материале и начальных концентраций аналитов, так и при условии их избытка. Показана возможность селективного извлечения Cu(II) на полученных материалах из водных образцов с общей минерализацией 35 г/л и содержащих эквимольные количества Ni(II), Co(II), Cd(II).

*Исследования проводились на научном оборудовании ЦКП «Эколого-аналитический центр» в рамках проекта 14/55т на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-4160.2014.3).*

## Список литературы

1. Химия привитых поверхностных соединений. Под. ред Лисичкина Г. В. Москва, Физматлит, 2003, 592 с.
2. Pujari S.P., Scheres L., Marcelis A.T.M., Zuihof H. // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2014. Vol. 53. pp. 2-36.
3. Augusto F, Hantao L.W., Mogollon N.G.S., Braga S. C.G.N. // *Trends Anal. Chem.* 2013. Vol. 43. pp. 14-23.
4. Argun M.E., Dursun S., Ozdemir C., Karatas M. // *J. Hazard. Mater.* 2007. Vol. 141. pp. 77-85.
5. Но Y.S., McKay G. // *Process Saf. Environ. Prot.* 1998. Vol. 76. pp 332-340.
6. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия. 1979. 480 с.
7. Иванов А.В., Фигуровская В.Н., Иванов В.М. // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2, Химия.* 1992. Т. 33. № 6. С. 570-574.
8. Коншин В.В., Коншина Дж.Н., Темердашев З.А. и др. Способ получения сорбционного материала на основе силикагеля с иммобилизованной формазановой функциональной группой. Патент РФ, № 2520099, 2014.
9. Konshina D.N., Furina A.V., Temerdashev Z.A., Konshin V.V. // *Analytical Lett.* 2014, Vol. 47. No 16. pp. 2665 - 2681.
10. Коншина Дж.Н., Коншина В.В., Дженлода Р.Х. и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14. № 3. С.232-240.
11. Malcik N., Oktar O., Ozser M.E. et al. // *Sensors and Actuators B.* 1998. Vol. 53, pp. 211-221.
12. Rengan R. // *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1997. Vol. 219. No 2. pp. 211-215.

13. Frolova N.A., Vatsadze S.Z., Zavodnik V.E. et al. // *Russ. Chem. Bull.* 2006. Vol. 55. No 10. pp. 1810-1818.

14 Холин Ю.В. Количественный физико-химический анализ комплексообразования в растворах и на поверхности химически модифицированных кремнеземов: содержательные модели, математические методы и их приложения. Харьков: Фолио, 2000. 288 с.

15. Лейкин Ю.А. Физико-химические основы синтеза полимерных сорбентов. Бином Лаборатория знаний. 2011. 413с.

15Azizian . S. // *J. Colloid Interface Sci.* 2004. Vol. 276. pp. 47-52

17. Мархол М. Ионообменники в аналитической химии. Свойства и применение в неорганической химии. Ч. 1. М.: Мир. 1985. 264 с.

## References

1. Khimiya privitykh poverkhnostnykh soedinenii, pod.red Lisichkina G.V.. Moscow, Fizmatlit, 2003, p. 592.

2 Pujari S.P., Scheres L., Marcelis A.T.M., Zuihof H., *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2014, Vol. 53, pp. 2-36.

3. Augusto F, Hantao L.W., Mogollon N.G.S., Braga S. C.G.N., *Trends Anal. Chem.*, 2013, Vol. 43, pp. 14-23.

4. Argun M.E., Dursun S., Ozdemir C., Karatas M., *J. Hazard. Mater.*, 2007, Vol.141, pp. 77-85.

5. Ho Y.S., McKay G., *Process Saf. Environ. Prot.*, 1998, Vol. 76, pp 332-340.

6. Lur'e Ju. Ju. *Spravochnik po analiticheskoi khimii* [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow, Himija, 1979. 480 p. [in Russian].

7. Ivanov A.V., Figurovskaya V.N., Ivanov V.M., *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 2, Khimiya*, 1992, Vol. 33, No 6, pp. 570-574.

8. Konshin V.V., Konshina Dzh.N., Temerdashev Z.A. et al. Method of producing sorption material based on silica gel with immobilised formazan functional group. Patent RF, № 2520099, 2014.

9. Konshina D. N., Furina A. V., Temerdashev Z.A, Konshin V.V., *Analytical Lett.*, 2014, Vol. 47, No 16, pp. 2665 - 2681.

10. Konshina Dzh.N., Konshina V.V., Dzhendloda R.Kh et al., *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy*, 2014, Vol.. 14, No 3, pp. 232-240.

11. Malcik N., Oktar O., Ozser M.E et al., *Sensors and Actuators B*, 1998, Vol. 53, pp. 211–221.

12 Rengan R., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 1997, Vol.219, No 2, pp. 211-215.

13. Frolova N.A., Vatsadze S.Z., Zavodnik V.E. et al., *Russ. Chem. Bull.*, 2006, Vol. 55, No 10, pp. 1810-1818.

14. Kholin Iu.V. *Kolichestvennyi fiziko-khimicheskii analiz kompleksobrazovaniia v rastvorakh i na poverkhnosti khimicheskii modifitsirovannykh kremnezemov: soderzhatel'nye modeli, matematicheskie metody i ikh prilozheniia*. Khar'kov: Folio, 2000. 288 p.

15. Leikin Iu.A. *Fiziko-khimicheskie osnovy sinteza polimernykh sorbentov . Binom Laboratoriia znanii* 2011. 413 p.

17. Markhol M. *Ionoobmenniki v analiticheskoi khimii. Svoistva i primeneniie v neorganicheskoi khimii. Ch. 1*. Moscow, Mir, 1985, 264 p.

**Коншина Джамиля Наибовна** – к.х.н., доцент кафедры аналитической химии ФГБОУ ВПО «КубГУ», Краснодар, +79282755851

**Данилова Анна Валерьевна** – аспирантка кафедры аналитической химии ФГБОУ ВПО «КубГУ», Краснодар

**Темердашев Зауаль Ахлоевич** – д.х.н., профессор, зав. кафедрой аналитической химии ФГБОУ ВПО «КубГУ», Краснодар

**Коншин Валерий Викторович** – к.х.н., доцент кафедры аналитической химии ФГБОУ ВПО «КубГУ», Краснодар

**Konshina Dzhamilya N.** – Ph. D. (chemistry), Associate professor, Kuban State University, Krasnodar, e-mail: [jfox@list.ru](mailto:jfox@list.ru)

**Danilova Anna V.** – Graduate Students, Kuban State University, Krasnodar

**Temerdashev Zauaľ A.** – Doctor of Science (chemistry), Professor, Kuban State University, Krasnodar

**Konshin Valery V.** – Ph. D. (chemistry), Associate professor, Kuban State University, Krasnodar