

**СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩЕГО СОРБЕНТА  
НА ОСНОВЕ КАРБАМИДА, ФОРМАЛЬДЕГИДА И АМИНОУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ  
ПРИ ПОМОЩИ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ  
И СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА**

**Н.А. Эрмуратова, Х.Х. Тураев, К.Н. Корнилов, Н.Н. Роева**

Нилуфар Абдусаматовна Эрмуратова (ORCID 0000-0001-9084-9689)

Кафедра Химии и экологии, Термезский инженерно-технологический институт, ул. Ислама Каримова, 228а, Термез, Узбекистан, 190111

E-mail: nilufarermuratova83@gmail.com

Хайит Худойназарович Тураев (ORCID 0000-0002-0627-5449)

Кафедра Неорганической и аналитической химии, Термезский государственный университет, ул. Баркамол авлод, 43, Термез, Узбекистан, 190111

E-mail: hhturaev@rambler.ru

Кирилл Николаевич Корнилов (ORCID 0000-0003-4192-9484)\*, Наталья Николаевна Роева (ORCID 0000-0002-1321-8354)

Кафедра Химии и экотоксикологии, Московский государственный университет пищевых производств, Волоколамское шоссе, 11, Москва, Российская Федерация, 125080

E-mail: kornilovkn@mgupp.ru\*, roeva@mgupp.ru

*В статье представлена формула синтезированного нами полиамфолита – ионообменного сорбента (МФА), полученного реакцией поликонденсации мочевины, формальдегида и аминокислоты. Изучено влияние pH среды и температуры проведения реакции на молекулярную массу образовавшегося полимерного продукта. Проведено сравнение условий его синтеза с условиями получения ранее изученных ионообменных полиамфолитов такого же типа. Впервые зарегистрированы и исследованы ИК спектры комплексов полиамфолита с некоторыми d-элементами: ионами меди, никеля, цинка, кобальта и кадмия. Проведено сравнение этих спектров со спектрами самого полиамфолита – лиганда. Установлено, что в синтезированном сорбенте имеются внутри и межмолекулярные водородные связи гидроксильных групп, метиленовые фрагменты -CH<sub>2</sub>, карбонильные группы -C=O как в составе цикла, так и в главной цепи, колебания связанных ОН-групп. Показано наличие амидного азота в полимерной цепи. На основании ИК спектров представлена схема синтеза полиамфолита путем поликонденсации исходных реагентов: формальдегида, мочевины (карбамида) и аминокислоты (глицина). Приведены некоторые физико-химические свойства, результаты элементного анализа координационных соединений полученного полиамфолита с ионами пяти d-металлов (Cu(II), Zn(II), Ni(II), Co(II), Cd(II)). На основании анализа ИК спектров комплексов и их элементного анализа предположена общая структурная формула комплексных соединений МФА с указанными ионами. Строение поверхности полученного полиамфолита исследовано методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ анализ). Изображения, полученные этим методом, свидетельствуют о том, что данный ионообменник обладает очень хорошей высокой сорбционной емкостью или способностью поглощать ионы различных металлов.*

**Ключевые слова:** полиамфолит, поликонденсация, мочевина, ионообменник, формальдегид, аминокислотная кислота, элементный анализ, ИК спектр, сканирующая электронная микроскопия

**Для цитирования:**

Эрмуратова Н.А., Тураев Х.Х., Корнилов К.Н., Роева Н.Н. Синтез и изучение комплексобразующего сорбента на основе карбамида, формальдегида и аминокислоты при помощи ИК-спектроскопии и сканирующего электронного микроскопа. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2022. Т. 65. Вып. 9. С. 31–38. DOI: 10.6060/ivkkt.20226509.6626.

**For citation:**

Ermuratova N.A., Turaev Kh.Kh., Kornilov K.N., Roeva N.N. Synthesis and study of a complexing sorbent, based on urea, formaldehyde and aminoacetic acid, using IR spectroscopy and scanning electron microscope. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*, 2022. V. 65. N 9. P. 31–38. DOI: 10.6060/ivkkt.20226509.6626.

**SYNTHESIS AND STUDY OF A COMPLEXING SORBENT, BASED ON UREA, FORMALDEHYDE AND AMINOACETIC ACID, USING IR SPECTROSCOPY AND SCANNING ELECTRON MICROSCOPE**

**N.A. Ermuratova, Kh.Kh. Turaev, K.N. Kornilov, N.N. Roeva**

Nilufar A. Ermuratova (ORCID 0000-0001-9084-9689)

Department of Chemistry and Ecology, Termez Engineering and Technological Institute, Islam Karimov st., 228a, Termez, 190111, Uzbekistan

E-mail: nilufarermuratova83@gmail.com

Khayit Kh. Turaev (ORCID 0000-0002-0627-5449)

Department of Analytical Chemistry, Termez State University, Barkamol avlod st., 43, Termez, 190111, Uzbekistan

E-mail: hhturaev@rambler.ru

Kirill N. Kornilov (ORCID 0000-0003-4192-9484)\*, Natalia N. Roeva (ORCID 0000-0002-1321-8354)

Moscow State University of Food Production, Volockolamskoe shosse, 11, Moscow, 125080, Russia

E-mail: kornilovkn@mgup.ru \*, roeva@mgupp.ru

*The article presents the formula of the polyampholyte, synthesized by us - an ion-exchange sorbent (UFA), obtained by the reaction of polycondensation of urea, formaldehyde and aminoacetic acid. The effect of pH medium and reaction temperature on the molecular weight of the resulting polymer product was studied. The conditions for its synthesis are compared with the conditions for obtaining previously studied ion-exchange polyampholytes of the same type. The IR spectra of polyampholyte complexes with some d-elements: copper, nickel, zinc, cobalt and cadmium ions were registered and studied for the first time. These spectra are compared with the spectra of the polyampholyte itself, the ligand. It has been established that the synthesized sorbent contains intra and intermolecular hydrogen bonds of hydroxyl groups, methylene fragments -CH<sub>2</sub>-, carbonyl groups -C=O both in the ring and in the main chain, vibrations of bound OH groups. The presence of amide nitrogen in the polymer chain was shown. Based on the IR spectra, a scheme is presented for the synthesis of polyampholyte by polycondensation of the initial reagents: formaldehyde, urea (carbamide) and aminoacetic acid (glycine). Some physicochemical properties and results of elemental analysis of the coordination compounds of the resulting polyampholyte with five d-metal ions (Cu(II), Zn(II), Ni(II), Co(II), Cd(II)) are presented. Based on the analysis of the IR spectra of the complexes and their elemental analysis, a general structural formula of MFA complex compounds with the indicated ions was suggested. The surface structure of the resulting polyampholyte was studied by scanning electron microscopy (SEM analysis). The images obtained by this method indicate that this ion exchanger has a very good high sorption capacity or the ability to absorb various metal ions.*

**Key words:** polyampholyte, polycondensation, carbamide, formaldehyde, ion exchanger, aminoacetic acid, elemental analysis, scanning electron microscopy

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время иониты (ионообменные смолы) широко применяются в гидрометаллургии для сорбционного концентрирования разных ионов, а также для утилизации отходов, содержащих вредные компоненты, какими могут являться

тяжелые металлы [1]. Химия ионообменных смол связана с созданием большого ассортимента ионообменных и комплексообразующих полимеров и полимерных материалов.

Ранее в работе [2] был рассмотрен способ получения модифицированных эпоксидных олигомеров – ионообменных смол, путем их совмещения

с наноматериалами. Проведены комплексные исследования биостойкости, физико-механических и физико-химических свойств таких олигомеров [3], установлены их хорошие адгезионные и гидрофобные свойства [4]. Оценена перспективность применения этих сорбентов [5], определены оптимальные условия синтеза [6].

В настоящее время перспективным направлением химии ионообменных смол является использование промышленных ионитов, содержащих реакционноспособные группы, пригодные для модификации [7]. Концентрации ионов в обработанных этими ионитами тестовых растворах обычно исследуются с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии [8]. Уже установлено, что в процессах очистки воды от ионов тяжелых металлов наибольшая эффективность наблюдается при хелатировании волокнистого ионообменника иминодиацетатными группами [9]. Синтезируются все новые и новые высокоэффективные ионообменники с большой площадью поверхности, высокой ионообменной и адсорбционной емкостью и высокой ионной проводимостью [10].

Так же ранее была изучена адсорбционная способность разных ионов на вновь синтезированных гибридных (т.е. имеющих в своем составе несколько функциональных групп) ионообменниках [11].

Конечными адсорбционными материалами – гибридными ионообменниками, полученными путем термической обработки ксерогелей, являются слоистые мезопористые структуры [12]. Гибридные ионообменники синтезированы так же путем модификации сильноокислой катионообменной смолы [13]. Общая ионообменная емкость при этом увеличивается с 600 до 1800 моль/м<sup>3</sup> [14]. Состав таких композитов наиболее воспроизводимый [15], их важной особенностью является стабилизация концентрации свободных ионообменных центров по отношению к ионам [16], а двухслойные потенциометрические мембраны представляют собой последовательность полиакрилатных полимеров с ионообменниками [17].

Ранее, в некоторых предыдущих работах, выполненных коллективом авторов из Термезского государственного университета, уже был изучен процесс комплексообразования ионов Cu(II), Zn(II), Cd(II) с синтезированным хелатообразующим сорбентом МФГГ (на основе мочевины, формальдегида и гидрата гидразина) [18]. А также процесс ковалентного закрепления этих ионов на матрице карбамид формальдегидной смолы с 2-аминопентандиовой (глутаминовой) кислотой (сорбент МФГ)

[19] и дитизином (МФД) [20]. Установлено, что полученные полифункциональные аниониты обладают улучшенными ионообменными свойствами по отношению к ионам сильных минеральных кислот, таких как сульфаты, нитраты и хлориды [21].

С другой стороны, в Московском государственном университете пищевых производств, на кафедре Химии и экотоксикологии ведутся исследования похожих полимерных соединений, которые содержат атомы трехвалентного фосфора и благодаря этому могут образовывать комплексные соединения с переходными металлами (d-элементами). Наиболее подробный обзор таких полимеров и их комплексообразования опубликован в работе [22].

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектом исследования является полученный сорбент на основе мочевины, формальдегида, аминокислоты (глицина) (МФА) и изучение его комплексов с переходными металлами. В работе применялись реактивы марки «ч» и «х.ч.». Растворы реактивов готовились растворением точной навески в известном объеме растворителей.

Сорбенты поликонденсационного типа (ионообменные комплексы) получены с помощью полимерно-аналоговых превращений (реакции поликонденсации).

Снимок, полученный с помощью сканирующего электронного микроскопа Jeol Intractive Corporation (Япония, JSM-6460LA), был выполнен в Центре передовых технологий при Министерстве инновационного развития Республики Узбекистан.

Элементный состав сорбентов и их комплексных соединений с металлами определяли с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) SEM EVOMA 10 (Carl Zeiss). Вывод о содержании элементов был сделан на основании картированного снимка площади поверхности.

ИК-спектроскопические исследования проводили на инфракрасном ИК-Фурье спектрометре IRTracer-100 SHIMADZU (Япония) (диапазон 400-4000 см<sup>-1</sup>, разрешение 4 см<sup>-1</sup>), порошкообразным методом.

*Получение полимера на основе мочевины, формальдегида и аминокислоты (МФА).*

В трехгорлую колбу, снабженную обратным холодильником и механической мешалкой, помещали 12 г мочевины (0,2 моль), предварительно растворенной в 40 мл (0,5 моль) формалина при температуре 40 °С. Процесс поликонденсации идет в щелочной среде, поэтому желаемую среду в растворе доводили до pH = 9-10 (щелочная конденсация), добавляя 5 мл буферного раствора NH<sub>4</sub>Cl-

NH<sub>4</sub>OH. После чего добавили 1,5 г (0,02 моль) аминокислоты при интенсивном перемешивании. Затем температуру повысили до 85-90 °С, и при этой температуре через 1,5-2 ч образовывалась смолообразная масса. Высушенный в сушильном шкафу при 80-90 °С в течение 24 ч полимер измельчали, отмывали от низкомолекулярных веществ 5%-ным раствором NaOH, затем дистиллированной водой до нейтральной реакции. Полученный продукт представляет собой мелкие, пористые, белые гранулы. Выход 93%.

*Получение комплексных соединений на основе МФА и переходных металлов (Cu<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>).*

Для наблюдения сорбции ионообменника МФА с некоторыми переходными d-металлами 3 периода (Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>), были проведены реакции комплексообразования. С этой целью готовились растворы солей указанных металлов в воде, концентрацией 0,05 н. Далее к каждому раствору добавляли по 0,015 г сорбента МФА в гранулах. Сорбент выдерживали в растворе 4 ч, чтобы металл сорбировался. При этом наблюдалось изменение цвета раствора и самого сорбента за счет перехода ионов металла в адсорбированное состояние. Как и в предыдущих работах, подтверждено, что 4 ч – это именно то время, которого достаточно для полного обесцвечивания раствора адсорбируемого иона. Далее комплекс сорбента с металлом отделялся от раствора. В результате были получены набухшие разноцветные гранулы (табл. 2), которые затем высушивались в сушильном шкафу при комнатной температуре.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного синтеза нами путем поликонденсации мочевины, формальдегида и аминокислоты (глицина) при мольном соотношении 2:5:0,2 был получен искомый ионит МФА, имеющий хорошие перспективы с точки зрения его обменной емкости. Формулу образовавшегося полиамфолита можно представить следующим образом (рис. 1).

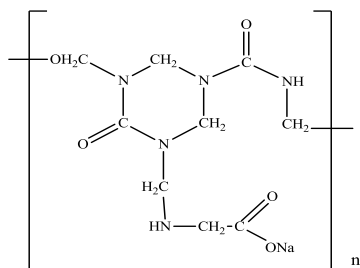


Рис. 1. Предполагаемая структура полиамфолита МФА  
Fig. 1. The proposed structure of UFA polyampholyte

Изучено влияние pH среды на молекулярную массу образовавшегося продукта и проведено его сравнение с ранее полученными другими полиамфолитами – МФАЯ [23] и МФГ [19] (табл. 1).

Таблица 1

Влияние pH среды и температуры на выход продуктов мочевины формальдегида и аминокислот  
Table 1. Influence of medium pH and temperature on the yield of formaldehyde urea products and amino acids

Хелатообразующие сорбенты	pH			
	7	8	9	10
	Температура, °С			
	75	85	90	100
	Выход продукта, %			
МФА	65	75	85	90
МФАЯ	65	75	85	90
МФГ	65	75	85	90

Примечание: МФА: мочевины, формальдегид, аминокислотная кислота, МФАЯ: мочевины, формальдегид, аминокислотная кислота, МФГ: мочевины, формальдегид, глутаминовая кислота

Note: UFA: urea, formaldehyde, aminoacetic acid, UFAЯ: urea, formaldehyde, aminosuccinic acid, UFG: urea, formaldehyde, glutamic acid

По данным табл. 1 видно, что выход продуктов поликонденсации растет с увеличением pH среды и повышением температуры. Это можно объяснить тем, что чем выше pH среды, тем больше ионизированных карбоксильных групп в аминокислоте и тем выше нуклеофильность аминогруппы, значит большее количество аминокислот вступает в реакцию.

С целью установления структуры полученного ионита была использована ИК-спектроскопия, а первичные результаты опубликованы нами в работе [24].

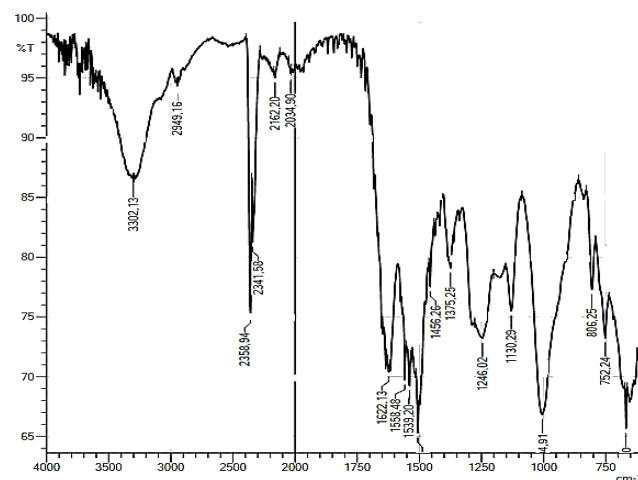


Рис. 2. ИК- спектроскопия полиамфолита МФА  
Fig. 2. IR spectroscopy of UFA polyampholyte

На ИК спектре синтезированного при pH 8-9 полимера МФА содержатся полосы в области  $3302\text{ см}^{-1}$ , соответствующие валентным колебаниям связанной группы ОН. Появление полос в области  $2949\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о метиленовой группе  $-\text{CH}_2$ , а полосы в области  $1622\text{ см}^{-1}$  показывают наличие амидного азота. Колебания, характерные для связи С-О в гидроксильной группе О-Н, появляются в областях  $1456, 1375\text{ см}^{-1}$  (рис. 2).

Таким образом, ИК спектр подтверждает структуру полиамфолита, приведенную нами на рис. 1. А уравнение реакции его синтеза можно представить следующим образом:

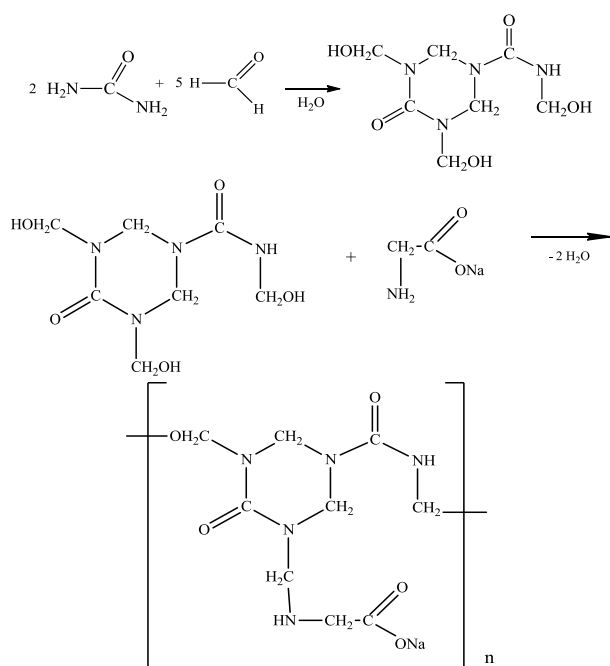


Рис. 3. Схема синтеза полиамфолита МФА  
Fig. 3. Scheme for the synthesis of UFA polyampholyte

Микроскопическая структура полимерообразующего амфолита МФА исследована с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис. 4, 5). На фотографиях, сделанных с разрешением в 100 и 10 мкм, видно, что полученный комплексообразующий амфолит имеет микропористую структуру. Это свидетельствует о том, что данный ионообменник обладает очень хорошей высокой сорбционной емкостью или способностью поглощать ионы различных металлов.

Исходя из рис. 4 и 5, не стоит исключать и возможность того, что синтезированный нами полиамфолит, имея структурное подобие некоторых селективных композиционных сорбентов [25], при дальнейшем его изучении окажется способен сорбировать нуклеиновые кислоты и белки, различающиеся молекулярной массой.

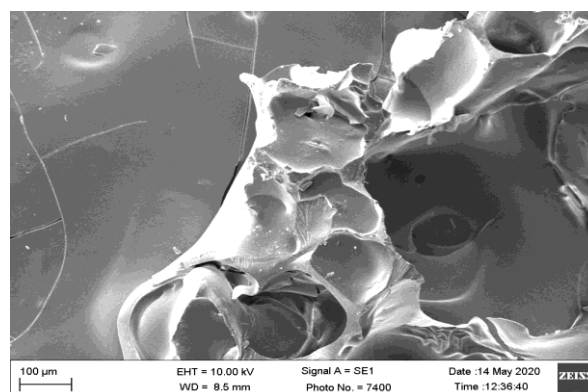


Рис. 4. Сканированное электронно-микроскопическое изображение поверхности ионита МФА (разрешение в 100 мкм)  
Fig. 4. Scanned electron microscopic image of the UFA ion exchanger surface (100  $\mu\text{m}$  resolution)

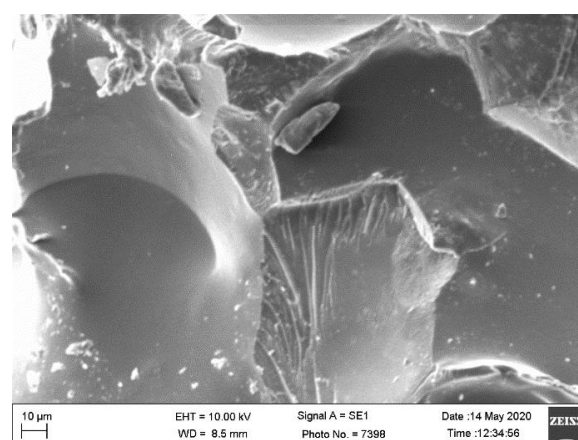


Рис. 5. Сканированное электронно-микроскопическое изображение поверхности ионита МФА (разрешение в 10 мкм)  
Fig. 5. Scanned electron microscopic image of the UFA ion exchanger surface (10  $\mu\text{m}$  resolution)

Далее для синтезированного ионообменника (рис. 1) были проведены реакции комплексообразования с переходными металлами ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ) – всего пять полимерных комплексных соединений. Методом ИК-спектроскопии определена структура этих комплексов.

Рассмотрим для примера ИК спектр комплекса полиамфолита МФА с никелем  $\text{Ni}^{2+}$  (рис. 6). Здесь имеется широкая полоса в области  $3284\text{ см}^{-1}$  которая соответствует колебаниям внутри- и межмолекулярных водородных связей ОН-группы в полимерах. Эта ОН-группа может принадлежать остатку аминокислотной кислоты в боковой цепи. Появление полос в области от  $2962\text{ см}^{-1}$  до  $2015\text{ см}^{-1}$  показывает наличие группы  $-\text{CH}_2-$  (в составе шестичленного цикла, в главной цепи полимера и в боковой цепи). Валентные колебания от  $1635\text{ см}^{-1}$  до  $1615\text{ см}^{-1}$  соответствуют группами  $-\text{C}=\text{O}$  в цикле, главной цепи и в кислотном остатке). Полоса в области  $1456\text{ см}^{-1}$  связана с валентными колебаниями С-О связи в С-ОН группе, а полосы в

области от 1238 см<sup>-1</sup> до 1008 см<sup>-1</sup> показывают наличие С-С и С-N связей (рис. 6). В целом, отличие ИК спектра комплекса от ИК спектра самой матрицы видны при сравнении Рис. 2 и 6. Из-за произошедшего процесса координации изменились полосы поглощения для -ОН, -NH и карбонильной группы.

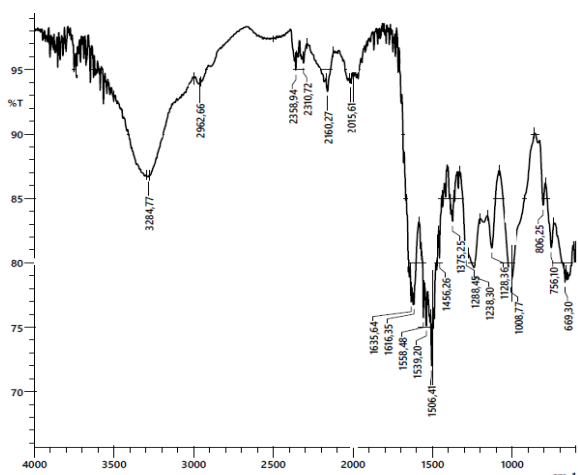


Рис. 6. ИК спектр полиамфолита МФА с Ni<sup>2+</sup>

Fig. 6. IR spectrum of UFA polyamfolite complex with Ni<sup>2+</sup>

ИК спектры других комплексов МФА с металлами аналогичны представленному на рис. 6.

Результаты элементного анализа полученных координационных соединений полиамфолита МФА с d-металлами приведены в табл. 2.

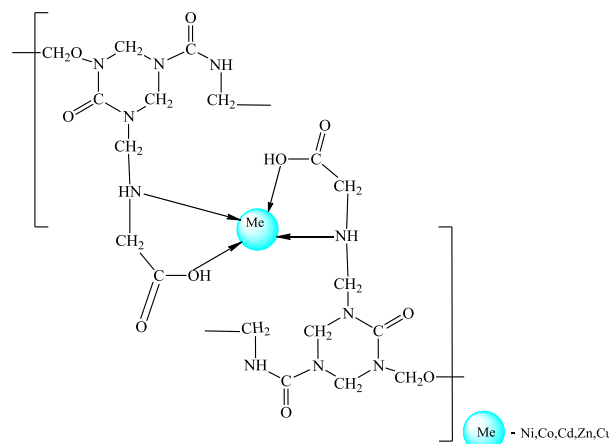


Рис. 7. Комплексное соединение сорбента МФА с ионами некоторых d-металлов

Fig. 7. Complex compound of the UFA sorbent with ions of some d-metals

Таблица 2

Элементный анализ полиамфолита МФА с d-металлами  
Table 2. Elemental analysis of UFA polyampholyte with d-metals

Цвет комплекса	Ионы металлов	определено экспериментально/вычислено, %					Брутто формула звена полимерного комплекса
		С	Н	Н	О	М	
МФА							
Голубой	Ni <sup>2+</sup>	40,91	5,97	20,74	23,69	8,69	(C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Ni
		35,82	4,64	23,2	26,5	9,78	
Розовый	Co <sup>2+</sup>	40,89	5,97	20,73	23,68	8,72	(C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Co
		35,8	4,64	23,2	26,5	9,78	
Без цвета	Cd <sup>2+</sup>	37,89	5,53	19,21	21,95	15,42	(C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Cd
		32,92	4,27	21,3	24,4	17,07	
Белый с блеском	Zn <sup>2+</sup>	40,50	5,91	20,54	23,46	9,59	(C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Zn
		35,46	4,59	22,9	26,3	10,67	
Голубой	Cu <sup>2+</sup>	40,61	5,93	20,59	23,52	9,34	(C <sub>9</sub> H <sub>14</sub> N <sub>5</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> Cu
		35,5	4,6	23,02	26,3	10,5	

Из табл. 2 можно заметить, что во всех случаях содержание углерода серьезно завышено, а остальных элементов, соответственно, занижено. Это объясняется тем, что исследуемое на Растровом Электронном Микроскопе (РЭМ) вещество наносится на графитовую подложку, что приводит к искажению результатов в сторону увеличения процента С. Однако, несмотря на данный недостаток, использованный нами метод анализа дает очень хорошие результаты по процентному содержанию металлов в комплексных соединениях, а кроме того, отличается намного большей скоростью по сравнению с элементным анализом.

Таким образом, структуру координационных соединений ионов меди (II), цинка (II), кадмия (II), никеля (II) и кобальта (II) с ковалентно неподвижным азотосодержащим полимерным лигандом МФА можно представить следующим образом (рис. 7).

### ВЫВОДЫ

Реакцией полимеризации мочевины, формальдегида и аминокислоты получен сорбент поликонденсационного типа МФА.

Изучено влияние pH среды и температуры на выход полимера.

Методом ИК-спектроскопии определена структура полиамфолита, а также его комплексов с некоторыми d-металлами. Приведены результаты элементного анализа этих комплексов.

Методом Сканирующей Электронной микроскопии получено изображение поверхности синтезированного полиамфолита с разными разрешениями. Наличие разнообразных пор и полостей в полиамфолите свидетельствуют о том, что данный

ионообменник обладает очень хорошей высокой сорбционной емкостью или способностью поглощать ионы различных металлов.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Beaugeard V.** Acidic polymeric sorbents for the removal of metallic pollution in water: a review. *React. Funct. Polym.* 2020. P. 104599. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104599.
2. **Хлаинг Зо У, Яковлева К.А., Костромина Н.В.** Свойства модифицированной эпоксидной смолы ЭД-20. *Усп. в химии и хим. технологии.* 2020. № 7 (230). С. 114-116.
3. **Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Кондакова И.Е., Казначеев С.В., Богатов А.Д.** Биостойкость эпоксидных полимербетонных, модифицированных каменноугольной смолой. *Изв. ТулГУ. Техн. науки.* 2013. № 7-2. С. 310-324.
4. **Абдукаримов М.М., Ёдгаров Н., Бекназаров Х.С., Джалилов А.Т.** Антикоррозионные свойства модифицированной госсиполовой смолы и его композиционных покрытий. *Universum: техн. науки. Электрон. научн. журнал.* 2020. № 7-2(76). С. 85-89.
5. **Байбурдов Т.А., Шмаков С.Л.** Полимерные сорбенты для сбора нефтепродуктов с поверхности водоёмов: обзор англоязычной литературы за 2000-2017 гг. (часть 2). *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия, Биология, Экология.* 2018. № 2. С. 145-156. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-145-153.
6. **Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т.** Синтез сорбента на основе ди-(2-аминоэтила)-дитиофосфата калия и эпихлоргидрина. *Universum: химия и биология. Электрон. научн. журн.* 2017. № 9 (39). С. 16-21.
7. **Ергожин Е.Е.** Окислительно-восстановительные ионообменники. Состояние, проблемы и перспективы развития. *Наука и техника Казахстана.* 2001. № 1. С. 6-36.
8. **Weidlich C., Mangold K.M., Jüttner K.** Conducting polymers as ion-exchangers for water purification. *Electrochim. Acta.* 2001. V. 47. N 5. P. 741-745. DOI: 10.1016/S0013-4686(01)00754-X.
9. **Soldatov V.S.** Chemically active textile materials as efficient means for water purification. *Desalination.* 1999. V. 124. N 1-3. P. 181-192. DOI: 10.1016/S0011-9164(99)00103-4.
10. **Zhang S., Tanioka A., Matsumoto H.** Nanofibers as novel platform for high-functional ion exchangers. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2018. V. 93. N 10. P. 2791-2803. DOI: 10.1002/jctb.5685.
11. **Kohila N., Subramaniam P.** Removal of Cr (VI) using polyaniline based Sn (IV), Ce (IV) and Bi (III) iodomolybdate hybrid ion exchangers: Mechanistic and comparative study. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020. V. 8. N 5. P. 104376. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104376.
12. **Chubar N.** New inorganic (an) ion exchangers based on Mg–Al hydrous oxides: (Alkoxide-free) sol–gel synthesis and characterization. *J. Colloid Interface Sci.* 2011. V. 357. N 1. P. 198-209. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.01.098.

#### REFERENCES

1. **Beaugeard V.** Acidic polymeric sorbents for the removal of metallic pollution in water: a review. *React. Funct. Polym.* 2020. P. 104599. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104599.
2. **Khlaing Zo U, Yakovleva K.A., Kostromina N.V.** Properties of modified epoxy resin ED-20. *Usp. Khim. Khim. Tekhnol.* 2020. N 7 (230). P. 114-116 (in Russian).
3. **Yerofeyev V.T., Smirnov V.F., Kondakova I.E., Kaznacheyev S.V., Bogatov A.D.** Biostability of epoxy polymer concretes modified with coal tar. *Izv. TulGU. Tekhn. Nauki.* 2013. N 7-2. P. 310-324 (in Russian).
4. **Abdukarimov M.M., Yodgarov N., Becknazarov Kh.S., Dzhalilov A.T.** Anticorrosion Properties of Modified Gossypol Resin and Its Composite Coatings. *Universum: Tekhnich. Nauki: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2020. N 7(76). P. 85-89 (in Russian).
5. **Bayburdov T.A., Shmakov S.L.** Polymeric sorbents for collecting oil products from the surface of water bodies: a review of the English-language literature for 2000-2017. (part 2). *Izv. Sarat. Un-ta. Nov. Ser. Ser. Khim, Biol., Ekolog.* 2018. N 2. P. 145-156 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-145-153.
6. **Kasimov Sh.A., Turayev Kh.H., Dzhililov A.T.** Synthesis of a sorbent based on potassium di-(2-aminoethyl)-dithiophosphate and epichlorohydrin. *Universum: Khim. Biol.: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2017. N 9 (39). P. 16-21 (in Russian).
7. **Yergozhin E.E.** Redox ion exchangers. Status, problems and development prospects. *Nauka Tekhnika Kazakhstana.* 2001. N 1. P. 6-36.
8. **Weidlich C., Mangold K.M., Jüttner K.** Conducting polymers as ion-exchangers for water purification. *Electrochim. Acta.* 2001. V. 47. N 5. P. 741-745. DOI: 10.1016/S0013-4686(01)00754-X.
9. **Soldatov V.S.** Chemically active textile materials as efficient means for water purification. *Desalination.* 1999. V. 124. N 1-3. P. 181-192. DOI: 10.1016/S0011-9164(99)00103-4.
10. **Zhang S., Tanioka A., Matsumoto H.** Nanofibers as novel platform for high-functional ion exchangers. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 2018. V. 93. N 10. P. 2791-2803. DOI: 10.1002/jctb.5685.
11. **Kohila N., Subramaniam P.** Removal of Cr (VI) using polyaniline based Sn (IV), Ce (IV) and Bi (III) iodomolybdate hybrid ion exchangers: Mechanistic and comparative study. *J. Environ. Chem. Eng.* 2020. V. 8. N 5. P. 104376. DOI: 10.1016/j.jece.2020.104376.
12. **Chubar N.** New inorganic (an) ion exchangers based on Mg–Al hydrous oxides: (Alkoxide-free) sol–gel synthesis and characterization. *J. Colloid Interface Sci.* 2011. V. 357. N 1. P. 198-209. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.01.098.
13. **Dzyazko Y.S.** Polymer ion-exchangers modified with zirconium hydrophosphate for removal of Cd<sup>2+</sup> ions from diluted solutions. *Separat. Sci. Technol.* 2013. V. 48. N 14. P. 2140-2149. DOI: 10.1080/01496395.2013.794434.

13. **Dzyazko Y.S.** Polymer ion-exchangers modified with zirconium hydrophosphate for removal of Cd<sup>2+</sup> ions from diluted solutions. *Separat. Sci. Technol.* 2013. V. 48. N 14. P. 2140-2149. DOI: 10.1080/01496395.2013.794434.
14. **Dzyazko Y.S.** Electrodeionization of low-concentrated multicomponent Ni<sup>2+</sup>-containing solutions using organic-inorganic ion-exchanger. *Desalination.* 2014. V. 342. P. 43-51. DOI: 10.1016/j.desal.2013.11.030.
15. **Dzyazko Y.S.** Composite ion-exchanges for the recycling of liquid waste of dairy industry. *Ukrain. Chem. J.* 2020. V. 86. N 5. P. 38-52. DOI: 10.33609/2708-129X.86.5.2020.38-52.
16. **Mikhelson K.N., Lewenstam A.** Improvement of potentiometric selectivity of ion-exchanger based membranes doped with co-exchanger: origin of the effect. *Sensors Actuators B: Chem.* 1998. V. 48. N 1-3. P. 344-350. DOI: 10.1016/S0925-4005(98)00069-0.
17. **Kisiel A., Michalska A., Maksymiuk K.** Bilayer membranes for ion-selective electrodes. *J. Electroanalyt. Chem.* 2016. V. 766. P. 128-134. DOI: 10.1016/j.jelechem.2016.01.040.
18. **Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т.** Исследование процесса комплексообразования ионов некоторых двухвалентных 3d-металлов, синтезированных хелатообразующим сорбентом. *Universum: химия и биология. Электрон. научн. журн.* 2018. № 3 (45). С. 17-19.
19. **Эрмуратова Н.А., Касимов Ш.А., Тураев Х.Х.** Синтез и исследование хелатообразующего сорбента на основе карбамида, формальдегида и 2-аминопентандиовой кислоты. *Universum: технические науки. Электрон. научн. журн.* 2021. № 4-4 (85). С. 71-73. DOI: 10.32743/UniTech.2021.85.4-4.71-73.
20. **Chorieva N., Ermuratova N., Turaev Kh., Kasimov Sh.** Synthesis and research of chelate forming sorbent based on carbamide, formaldehyde, ditizone. *Chem. Chem. Eng.* 2021. N 4. P. 19-23. DOI: 10.51348/RWHC65864.
21. **Эшкурбонов Ф.Б., Тураев К.К., Эрмуратова Н.А.** Изучение ионообменной способности сыворотки и азотсодержащего анионита по титриметрическому методу анализа. *Universum: технические науки. Электрон. научн. журн.* 2019. № 4 (61). С. 49-51.
22. **Kornilov K.N.** Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, Silicon the Related Elements.* 2021. V. 196. N 7. P. 605-615. DOI: 10.1080/10426507.2021.1901705.
23. **Эрмуратова Н.А., Тураев Х.Х., Касимов Ш., Рахимов А.** Синтез и исследование комплексообразующего полиамфолита на основе модифицирования карбамид формальдегидной смолы с аминокислотами. *Вестн. Наманган. Ун-та Узбекистана.* 2022. № 2. С. 256-261.
24. **Эрмуратова Н., Турев Х., Хасимов Ш., Корнилов К.Н.** Синтез и исследование ИК-спектра комплексообразующего сорбента на основе карбамида, формальдегида и аминокислотной кислоты. Сб. ст. Междунар. науч.-иссл. конк. «Молодой учёный 2022». Пенза. 2022. С. 9-13.
25. **Льяо Д.-Дж., Зыбин Д.И., Простякова А.И., Ягудаева Е.Ю., Вихров А.А., Ищенко А.А., Зубов В.П., Капустин Д.В.** Статическая и динамическая сорбция нуклеиновых кислот и белков на поверхности сорбентов, модифицированных нанотолщинными слоями полимеров. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2018. Т. 61. № 1. С. 4-22. DOI: 10.6060/tcct.20186101.5694.
14. **Dzyazko Y.S.** Electrodeionization of low-concentrated multicomponent Ni<sup>2+</sup>-containing solutions using organic-inorganic ion-exchanger. *Desalination.* 2014. V. 342. P. 43-51. DOI: 10.1016/j.desal.2013.11.030.
15. **Dzyazko Y.S.** Composite ion-exchanges for the recycling of liquid waste of dairy industry. *Ukrain. Chem. J.* 2020. V. 86. N 5. P. 38-52. DOI: 10.33609/2708-129X.86.5.2020.38-52.
16. **Mikhelson K.N., Lewenstam A.** Improvement of potentiometric selectivity of ion-exchanger based membranes doped with co-exchanger: origin of the effect. *Sensors Actuators B: Chem.* 1998. V. 48. N 1-3. P. 344-350. DOI: 10.1016/S0925-4005(98)00069-0.
17. **Kisiel A., Michalska A., Maksymiuk K.** Bilayer membranes for ion-selective electrodes. *J. Electroanalyt. Chem.* 2016. V. 766. P. 128-134. DOI: 10.1016/j.jelechem.2016.01.040.
18. **Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Dzhaliylov A.T.** Investigation of the process of complex formation of ions of some divalent 3d-metals synthesized by a chelating sorbent. *Universum: Khim. Biol. Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2018. N. 3 (45). P. 17-19 (in Russian).
19. **Ermuratova N.A., Kasimov Sh.A., Turaev K.K.** Synthesis and study of a chelating sorbent based on urea, formaldehyde and 2-aminopentanedioic acid. *Universum: Tekhnich. Nauki: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2021. N 4(85). P. 71-73 (in Russian). DOI: 10.32743/UniTech.2021.85.4-4.71-73.
20. **Chorieva N., Ermuratova N., Turaev Kh., Kasimov Sh.** Synthesis and research of chelate forming sorbent based on carbamide, formaldehyde, ditizone. *Chem. Chem. Eng.* 2021. N 4. P. 19-23. DOI: 10.51348/RWHC65864.
21. **Eshkurbonov F.B., Turaev K.K., Ermuratova N.A.** Study of the ion-exchange capacity of whey and nitrogen-containing anion exchanger by the titrimetric method of analysis. *Universum: Tekhnich. Nauki.* 2019. N 4 (61). P. 49-51. (in Russian).
22. **Kornilov K.N.** Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Related Elements.* 2021. V. 196. N 7. P. 605-615. DOI: 10.1080/10426507.2021.1901705.
23. **Ermuratova N., Turaev Kh., Kasimov Sh., Rakhomov A.** Synthesis and study of the complex-forming polyamfolute, based on modification formaldehyde resin carbamide with amino acids. *Vestn. Namangan. Un-ta Uzbekistana.* 2022. N 2. P. 256-261 (in Russian).
24. **Ermuratova N., Turev Kh., Khasimov Sh., Kornilov K.N.** Synthesis and study of the IR spectrum of a complexing sorbent based on urea, formaldehyde and aminoacetic acid. Coll. of art. of the Internat. Res. Competition "Young Scientist 2022". Penza. 2022. P. 9-13 (in Russian).
25. **Liaw D.-J., Zybin D.I., Prostyakova A.I., Yagudaeva E.Yu., Vikhrov A.A., Ishchenko A.A., Zubov V.P., Kapustin D.V.** Static and dynamic sorption of nucleic acids and proteins on surface of sorbents modified with nanolayers of polymers. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.].* 2018. V. 61. N 1. P. 4-22 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20186101.5694.

Поступила в редакцию (Received) 30.03.2022  
Принята к опубликованию (Accepted) 24.06.2022