

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ МЕТАЛЛОВ КОВАЛЕНТНО ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ ПОЛИАМФОЛИТАМИ НА ОСНОВЕ АМИНОКИСЛОТ****Г.А. Умирова, Х.Х. Тураев, К.Н. Корнилов, Н.А. Эрмуратова**

Гулнора Абдурахмоновна Умирова (ORCID 0000-0002-6996-5906) 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: umirova81@internet.ru, hhturaev@rambler.ru

Кирилл Николаевич Корнилов (ORCID 0000-0003-4192-9484)\*

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

E-mail: kornilovkn@mgupp.ru\*

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

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

E-mail: nilufarermuratova83@gmail.com

*В представленной статье впервые исследованы сорбционные свойства полиамфолита, полученного путем поликонденсации - ковалентного закрепления орто-аминобензойной кислоты на матрице из эпоксидной смолы «эпоксимол» и полиэтиленполиаммина. В частности, проведено комплексообразование этого полимера с ионами меди, никеля, цинка, кобальта и серебра. Определено и предложено строение как самого образующегося полиамфолита, так и его металлокомплексов с указанными металлами (d-элементами) методом ИК-спектроскопии: впервые зарегистрированы и исследованы ИК спектры комплексов лиганда-полиамфолита с ионами меди, никеля, цинка, кобальта и серебра. Проведено сравнение этих спектров со спектрами самого полиамфолита. При изучении статической обменной емкости ионитов-полиамфолитов, синтезированных на основе аминокислот, установлено, что наибольшей емкостью обладает сорбент именно на основе орто-аминобензойной кислоты. С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (фотография, элементный анализ) исследована микроскопическая структура лиганда О-АБК:ЭД-20:ПЭПА (орто-аминобензойная кислота, эпоксимол, полиэтиленполиамин) и его координационного соединения с ионами меди  $Cu^{2+}$ . По результатам элементного анализа приведены брутто формулы полученных координационных соединений полиамфолита со всеми координированными (адсорбированными) металлами. По полученным экспериментальным данным, в результате изучения термостойкости полиамфолита показано, что сорбент устойчив до температуры 200 °С. Полученный сорбент рекомендован для практического использования при сорбции ионов d-элементов из растворов. Также исследована зависимость сорбции некоторых d-металлов от pH среды и построены графики, описывающие зависимость сорбции металлов от pH в синтезированном комплексообразующем лиганде, показывающие, что сорбция ионов выше в слабокислых средах.*

**Ключевые слова:** полиамфолиты, ИК-спектроскопия, элементный анализ, структура, статическая обменная емкость, комплексообразование, сорбент

**Для цитирования:**

Умирова Г.А., Тураев Х.Х., Корнилов К.Н., Эрмуратова Н.А. Исследование сорбции металлов ковалентно иммобилизованными полиамфолитами на основе аминокислот. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 5. С. 41–51. DOI: 10.6060/ivkkt.20236605.6728.

**For citation:**

Umirova G.A., Turaev Kh.Kh., Kornilov K.N., Ermuratova N.A. Study of metal sorption by covalently immobilized polyampholytes based on amino acids. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 5. P. 41–51. DOI: 10.6060/ivkkt.20236605.6728.

**STUDY OF METAL SORPTION BY COVALENTLY IMMOBILIZED POLYAMPHOLYTES BASED ON AMINO ACIDS**

**G.A. Umirova, Kh.Kh. Turaev, K.N. Kornilov, N.A. Ermuratova**

Gulnora A. Umirova (ORCID 0000-0002-6996-5906), Khayit Kh. Turaev (ORCID 0000-0002-0627-5449)  
Department of Inorganic and Analytical Chemistry, Termez State University, Barkamol Avlod st., 43, Termez, 190111, Uzbekistan

E-mail: umirova81@internet.ru, hhturaev@rambler.rus

Kirill N. Kornilov (ORCID 0000-0003-4192-9484)\*

Moscow State University of Food Production, Volokolamskoe sh., 11, Moscow, 125080, Russia

E-mail: kornilovkn@mgup.ru\*

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

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

E-mail: nilufarermuratova83@gmail.com

*In the presented article, the sorption properties were studied for the first time of polyampholyte, obtained by polycondensation - covalent fixation of ortho-aminobenzoic acid on a matrix of epoxy resin "epoxymol" and polyethylene polyamine. In particular, this polymer was complexed with copper, nickel, zinc, cobalt, and silver ions. The structure of both the resulting polyampholyte itself and its metal complexes with the indicated metals (d-elements) was determined by IR spectroscopy. For the first time, the IR spectra of ligand-polyampholyte complexes with copper, nickel, zinc, cobalt, and silver ions were recorded and studied. These spectra are compared with the spectra of the polyampholyte itself. Scanning electron microscopy (SEM) (photography, elemental analysis) was used to study the microscopic structure of the O-ABA:ED-20:PEPA ligand (ortho-aminobenzoic acid, epoxy resin, polyethylenepolyamine) and its coordination compound with copper ions  $Cu^{2+}$ . According to the results of elemental analysis, the gross formulas of the obtained polyampholyte coordination compounds with all coordinated (adsorbed) metals are given. According to the experimental data, obtained as a result of studying the thermal stability of polyampholyte, it was shown that the sorbent is stable up to a temperature of 200 °C. The resulting sorbent is recommended for practical use in the sorption of some d-metal ions from solutions. The dependence of the sorption of some d-metals on the pH of the medium was also studied, and were constructed graphs that describe the dependence of the sorption of metals on pH in the synthesized complexing ligand, showing that the sorption of ions is higher in slightly acidic media.*

**Key words:** polyampholytes, IR spectroscopy, elemental analysis, structure, static exchange capacity, complex formation, sorbent

**ВВЕДЕНИЕ**

Ионообменные полииониты в настоящее время используются во многих сферах промышленности [1]. Они уже нашли широкое применение в следующих областях промышленности: для смягчения воды на тепловых и атомных электростанциях, ее обессоливания на химических заводах, в гидрометаллургии для выделения редких, ценных

и тяжелых металлов из технологических растворов путем их сорбции. Иониты-адсорбенты зарекомендовали себя и как вещества, применяемые в целях уменьшения вреда, наносимого окружающей среде: например, для очистки сточных вод от ядовитых ионов [2].

При этом очевидно, что способ и эффективность взаимодействия между ионами металлов и полиамфолитами зависит прежде всего от природы

функциональных групп в этих лигандах, от иона металла и от условий сорбции.

В качестве сорбентов уже широко применяются полиамфолиты с функциональными группами, в которых возможно координирование металла по атому азота или кислорода [3, 4]. Полиамфолиты представляют собой полимерные вещества, которые одновременно содержат в своем составе как анионные, так и катионные группы, которые в зависимости от pH среды могут сорбировать катионы и анионы.

Ионы тяжелых металлов, таких как никель, кобальт, цинк, хром, медь, свинец, кадмий вызывают серьезные экологические проблемы для животных, растений и человека из-за их крайней токсичности [5]. Тяжелые металлы, как правило, токсичны по своей природе и не разлагаются простой биологической обработкой, как другие органические материалы [6, 7]. Удаление этих загрязнителей из сточных вод является обязательным этапом в процессе их очистки [8]. Поэтому в настоящее время проводится обширная работа по очистке воды от токсичных металлов с помощью ряда передовых технологий, таких как ультрафильтрация с полимерным усилением [9], флокуляция [10], адсорбция [11-13], ионный обмен [14] и различные технологии мембранного разделения [15, 16].

Особенно большой интерес представляет сам процесс адсорбции. Именно этот способ признается наиболее эффективным, перспективным и широко используемым подходом в процессе очистки сточных вод [17] из-за его простоты, экономической целесообразности, технической осуществимости и социальной приемлемости [18].

В настоящее время существуют много теорий для оценки ионообменного процесса [19, 20]. Например, в работе [21] рассмотрено использование нового экологически чистого аминополикарбонилатного хелатирующего агента тринатриевой соли метилглициндиуксусной кислоты (МГДА) для инактивации различных ионов металлов путем комплексообразования в микропористых анионообменниках, а указанные в этой работе сорбенты уже прошли промышленные испытания.

Ранее участниками нашей исследовательской группы был описан синтез комплексообразующего полифункционального полимерного сорбента на основе мочевины, формальдегида и фосфорной кислоты [22, 23]. Далее, путем сульфирования, из кубовых отходов Шуртанского газохимического комплекса (ШГХК, Узбекистан) был получен полимер с фурфуролом [24]. Кроме того, был

синтезирован ионит на основе гуанидина, эпокси-мола и полиэтиленполиамина [25], изучены физико-химические свойства хелатообразующего полимерного сорбента на основе эпоксидной смолы, глицина и полиэтиленполиамина (ЭПП-1) [26], и совсем недавно мы исследовали ионит на основе мочевины, формальдегида и аминоксусной кислоты [27].

Авторы из Термезского государственного университета ранее изучили также процесс комплексообразования ионов Cu(II), Zn(II), Cd(II) с хелатообразующим сорбентом на основе мочевины, формальдегида и гидрата гидразина (МФГГ) [28]. Исследовался процесс ковалентного закрепления этих ионов на матрице карбамидоформальдегидной смолы с 2-аминопентандиовой (глутаминовой) кислотой (сорбент МФГ) [29] и дитизоном (МФД) [30]. Установлено, что эти аниониты обладают повышенной адсорбционной способностью по отношению к ионам сильных минеральных кислот: сульфатам, нитратам и хлоридам [31].

В настоящее время главной целью, которую ставит перед собой коллектив авторов, является получение широкого спектра разных полимеров-полиамфолитов, способных адсорбировать из растворов ионы металлов. В дальнейшем, после отработки методик синтеза и изучения физико-химических характеристик этих полиамфолитов, мы планируем исследовать их в качестве адсорбентов для частиц микропластика, которыми загрязнена окружающая среда, особенно вода [32].

С этой целью нами в работе [27] в результате совместных исследований, начатых ранее на кафедре Химии и экотоксикологии Российского биотехнологического университета [33], уже был получен полиамфолит-сорбент на основе мочевины, формальдегида и аминоксусной кислоты (МФА).

В связи с большой актуальностью данного вопроса, в представленной ниже работе продолжено исследование синтеза и сорбционной способности новых полиамфолитов на основе аминокислот.

#### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Целью настоящей работы является получение нового, ранее никем не исследованного комплексообразующего полиамфолита на основе орто-аминобензойной кислоты, эпоксидной смолы и полиэтиленполиамина, а также 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.

Предлагаемый способ получения комплексобразующего полиамфолита заключался в проведении гелеобразования путем поликонденсации орто-аминобензойной кислоты (ОАБК) в присутствии сшивающего агента с последующей сушкой образованного ионита. В качестве сшивающего агента использовался продукт взаимодействия эпоксидной смолы с полиэтиленполиамином при массовом соотношении орто-аминобензойная кислота : эпоксимол : полиэтиленполиамин = 1 : 2,5 : 1,5. Гелеобразование проводилось при температуре 22 °С, а образованный ионит высушивался при 70-80 °С в течение 24 ч.

Определены удельный объем набухшего сорбента по ГОСТ 10898.4–84 и статическая обменная емкость (СОЕ) – по ГОСТ 20255.1–89.

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. Интерпретация спектров проводилась с использованием базового программного обеспечения, реализующего автоматическое измерение спектров, имеющего средства графического отображения спектров и их фрагментов и формирующего работу с библиотекой спектров пользователя.

Термоаналитические исследования проводились на приборе Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG (Германия), с термопарой К-типа (Low RG Silver) и алюминиевыми тиглями. Все измерения были проведены в инертной азотной атмосфере со скоростью потока азота 50 мл/мин. Температурный диапазон измерений составлял 20-600 °С, скорость нагрева равнялась 5 °С/мин. Количество образца на одно измерение 5-10 мг. Измерительная система калибровалась стандартным набором веществ KNO<sub>3</sub>, In, Bi, Sn, Zn.

Морфологические исследования поверхности образцов проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа SEM - EVO MA 10 (Zeiss, Germany). В ходе измерения подавалось ускоряющее напряжение (ЭНТ - Extra High Tension) 20,00кВ, рабочее расстояние (WD-working distance) равнялось 8,5 мм. Измерение проводилось в режиме детектирования вторичных электронов (SE1 - secondary electrons detector). Изображения были получены в различных масштабах, с помощью программного обеспечения SmartSEM.

Для определения элементного состава была проведена энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия на локальном участке (energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)), с помощью энерго-дисперсионного элементного анализатора

марки - Oxford Instrument – Aztec Energy Advanced X-act SDD. При получении данных об элементном составе были представлены электронные фотографии с выделенными локальными участками, таблица состава, а также графический спектр.

*Получение полимера на основе орто-аминобензойной кислоты, эпоксидной смолы, полиэтиленполиамина (ОАБК:ЭД-20:ПЭПА).* Для синтеза комплексобразующего полиамфолита в стакан помещали 0,7 моль орто-аминобензойной кислоты (ОАБК), 0,7 моль эпоксимола (ЭД-20), 0,6 моль ПЭПА (полиэтиленполиамина) и интенсивно перемешивали при температуре 22 °С. В результате образовалась смолистая масса. Полученную массу выливали в фарфоровую чашу и сушили в сушильном шкафу при 70-80 °С в течение 24 ч. Высушенный полимер растирали в ступке, и низкомолекулярные соединения сначала промывали 5%-ным концентрированным раствором NaOH, а затем несколько раз дистиллированной водой. Полученный продукт состоит из мелких пористых светло-желтых зерен с выходом реакции 91,5%.

*Получение комплексных соединений некоторых ионов d-металлов (Cu<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>) с комплексобразующим сорбентом на основе ОАБК:ЭП:ПЭПА.* Изучена сорбция ионов металлов полученным сорбентом. Для этого готовили 250 мл 0,1 н растворов сульфата, хлорида и нитрата металлов (рН = 4,2). Далее по 10 мл помещали в стеклянную ампулу, заполняли 0,03 г ионообменника и оставляли на 24 ч. Исследования проводили при температурах 303 К, 313 К, 323 К, за оптимальную температуру поликонденсации приняли 313 К. Начальные и конечные концентрации ионов меди (II), никеля (II) и кобальта (II) в растворах определяли на УФ-спектрофотометре.

Для определения концентрации использовали оптические плотности эталона исследуемого раствора. Точную концентрацию иона металла цинка (II) и серебра (I) в растворе определяли комплексометрическим титрованием. На основе полученных результатов количество ионов металлов, сорбированных на сорбенте, вычисляли по формуле:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_M) \cdot V}{m}$$

где  $q_e$  – количество иона, поглощенного ионитом, ммоль/г;  $C_0$  – начальная концентрация ммоль/л;  $C_M$  – равновесная концентрация, ммоль/л;  $V$  – объем раствора, л;  $m$  – масса сухого сорбента, г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного синтеза нами путем поликонденсации орто-аминобензойной

кислоты, эпоксидной смолы, полиэтиленполиамина при мольном соотношении 0,7:0,7:0,6 был получен ионит ОАБК:ЭД-20:ПЭПА, имеющий хорошие перспективы с точки зрения его обменной емкости. Формулу образовавшегося полиамфолита можно представить следующим образом (рис. 1).

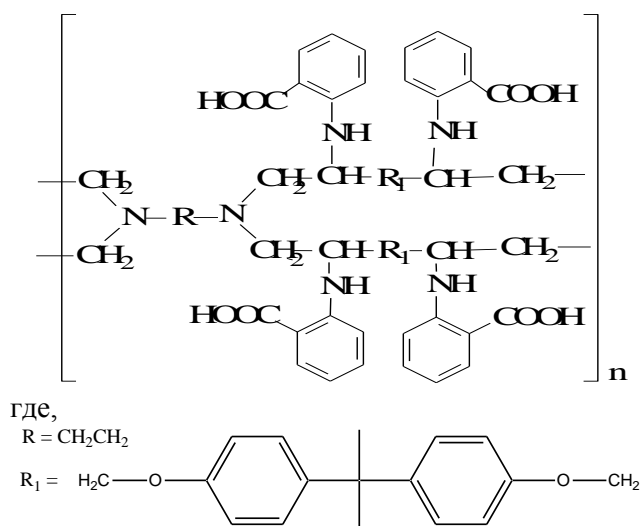


Рис. 1. Предполагаемая структура фрагмента полученного полиамфолита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА

Fig. 1. Estimated structure of a fragment of the resulting polyampholyte OABA:ED-20:PEPA

Сорбционные полиамфолиты, полученные по предлагаемому способу, представляют собой продукты светло-желтого цвета, устойчивые в кислых и щелочных растворах и при нагревании. Они могут использоваться для сорбционного извлечения драгоценных и благородных металлов в виде порошка или в виде волокнистых материалов, наполненных этими полимерами.

Как видно из строения полученного в результате модификации продукта, сорбент содержит amino- и карбоксильную группу, что придает сорбенту, имеющему и основные, и кислотные свойства, полиамфолитный характер. Обменные и сорбционные характеристики полиамфолита, полученного по описанному выше способу, приведены в табл. 1. Кроме того, в табл. 1 приведены для сравнения и характеристики ранее исследованных нами полиамфолитов [22-31].

Для установления структуры полученного ионита была использована ИК-спектроскопия. Приведем полосы поглощения в ИК-спектрах:  $\nu(\text{NH})$  3379  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu_{\text{as}}(\text{CH}_3)$  2960  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu_s(\text{CH}_2)$  2928  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu_s(\text{O}-\text{CH}_3)$  2870  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\nu(\text{CH})$  1456  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{NH})+\nu(\text{CN})_{\text{сл}}$  1292  $\text{cm}^{-1}$ ,  $\delta(\text{C}_6\text{H}_4-1,2\text{-замещен.})$  1180  $\text{cm}^{-1}$ . Полоса в 1577  $\text{cm}^{-1}$  присутствует только в сопряженных си-

стемах, особенно сильно проявляется при пара-замещении, например,  $\text{CH}_3\text{COC}_6\text{H}_4\text{OCH}_3$ . Полоса в 1361  $\text{cm}^{-1}$   $\nu(\text{C}-\text{N})$  присутствует в ароматических аминах.

Таблица 1

Обменные и сорбционные характеристики полиамфолитов полученных на основе эпоксимола, полиэтиленполиамина и аминокислот

Table 1. Exchange and sorption characteristics of polyampholytes obtained on the basis of epoxy resin, polyethylene polyamine and amino acids

Ионит по примеру	СОЕ, мг-экв/г	Удельный объем, мл/г	Сорбционная емкость (мг/г) по ионам	
			Cu	Ni
ОАБК:ЭД-20:ПЭПА	5,3	5,5	169,6	134,78
ПАБК:ЭД-20:ПЭПА	5,1	5,2	163,2	128,92
Gly:ЭД-20:ПЭПА	3,3	4,5	105,6	90,83
Glu:ЭД-20:ПЭПА	3,1	4,3	99,2	82,04
Arg:ЭД-20:ПЭПА	2,8	4,1	89,6	73,25

Примечание: ОАБК:ЭД-20:ПЭПА - орто-аминобензойная кислота, эпоксидная смола, полиэтиленполиамин

ПАБК:ЭД-20:ПЭПА - пара-аминобензойная кислота, эпоксидная смола, полиэтиленполиамин

Gly:ЭД-20:ПЭПА- глицин, эпоксидная смола, полиэтиленполиамин

Glu:ЭД-20:ПЭПА- глутаминовая кислота, эпоксидная смола, полиэтиленполиамин

Arg:ЭД-20:ПЭПА- аргинин, эпоксидная смола, полиэтиленполиамин

Note: OABK:ED-20:PEPA - ortho-aminobenzoic acid, epoxy resin, polyethylenepolyamine

PABK:ED-20:PEPA - para-aminobenzoic acid, epoxy resin, polyethylenepolyamine

Gly:ED-20:PEPA-glycine, epoxy resin, polyethylenepolyamine

Glu:ED-20:PEPA - glutamic acid, epoxy resin, polyethylenepolyamine

Arg:ED-20:PEPA- arginine, epoxy resin, polyethylenepolyamine

В спектрах синтезированного ионита отсутствуют характеристические частоты ( $\text{cm}^{-1}$ ) эпоксидных групп (810-950, 1250, 3000-3050), что свидетельствует об их химическом превращении. Зато появляются полосы деформационных колебаний N-H (1456) и валентных колебаний C-N (1292) связей аминогрупп.

Поглощение в области 1606  $\text{cm}^{-1}$ , обусловленное валентными колебаниями бензольного кольца, подтверждает ароматический характер данных соединений (рис. 2).

Далее для синтезированного ионообменника были проведены реакции комплексообразования с переходными металлами ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^+$ ) – получено всего пять новых полимер-

ных комплексных соединений. Методом ИК-спектроскопии определена структура этих комплексов. Рассмотрим для примера ИК спектр комплекса полиамфолита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА с ионом меди  $\text{Cu}^{2+}$  (рис. 3). Появление полос в области от  $2927 \text{ cm}^{-1}$  до

$2852 \text{ cm}^{-1}$  показывает наличие группы  $-\text{CH}_2-$  (в главной цепи полимера). Полоса в области  $1458 \text{ cm}^{-1}$  связана с валентными колебаниями С-О связи в  $\text{C}_6\text{H}_4\text{-O-}$  группе, а полосы в области от  $1238 \text{ cm}^{-1}$  до  $1033 \text{ cm}^{-1}$  показывают наличие С-С и С-N связей.

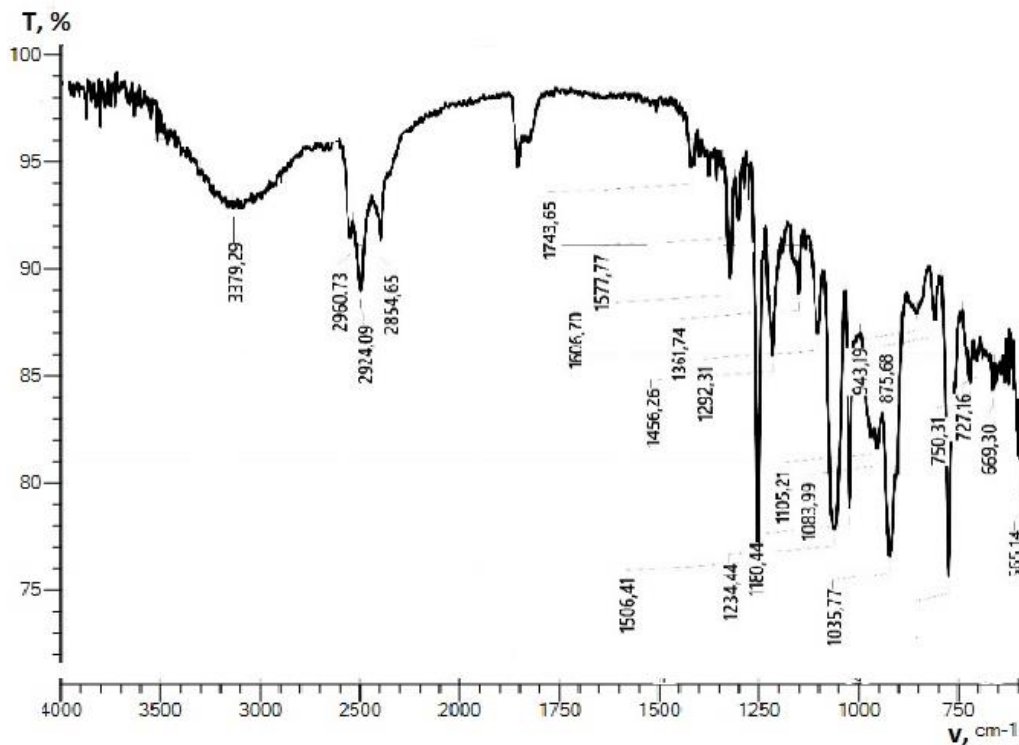


Рис. 2. ИК спектр хелатообразующего ионита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА  
Fig. 2. IR spectrum of a chelating ion exchanger

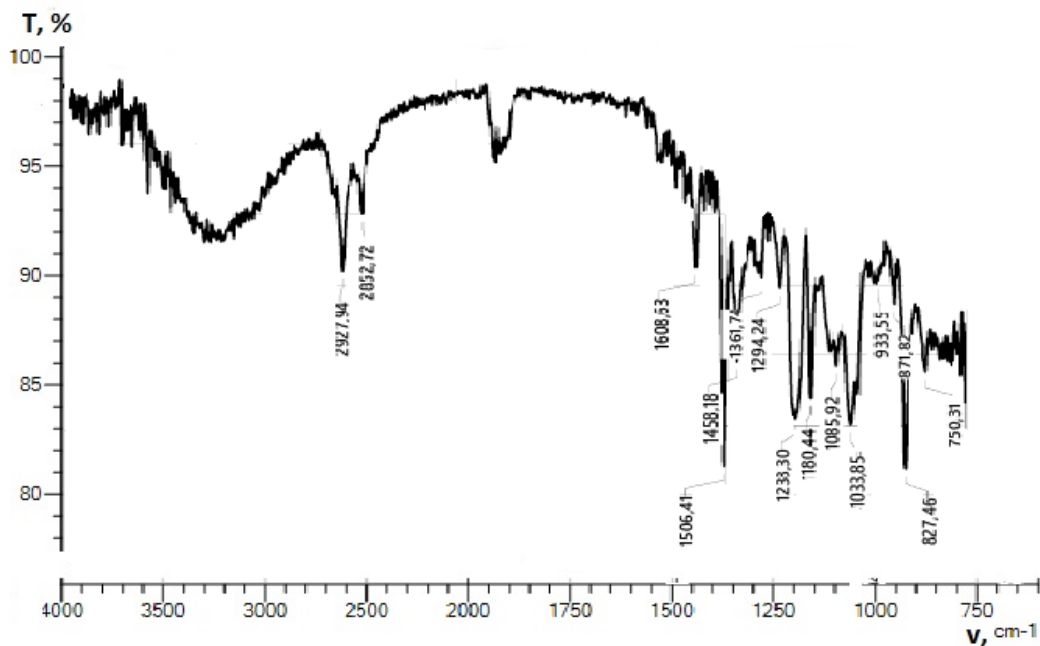


Рис. 3. ИК спектр полиамфолита ОАВА:ED-20:PEPA с  $\text{Cu}^{2+}$   
Fig. 3. IR-spectrum of polyampholyte ОАВА:ED-20:PEPA with  $\text{Cu}^{2+}$

С помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) (рис. 4) изучена микроскопическая структура координационного соединения сорбента ОАБК:ЭД-20:ПЭПА с ионами меди  $\text{Cu}^{2+}$ . Как видно на фотографии, сделанной с разрешением в 250 мкм (рис. 4), наш сорбент имеет пористую структуру. Это указывает на то, что полученный сорбент, возможно, обладает высокой ионообменной емкостью или способностью поглощать ионы различных металлов.

Результаты элементного анализа полученных координационных соединений полиамфолита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА с d-металлами приведены в табл. 2.

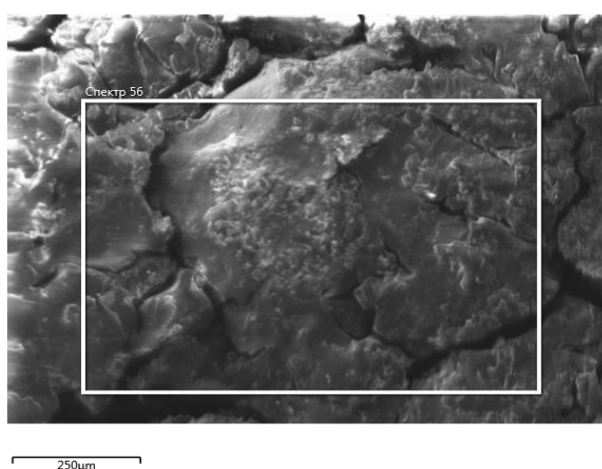


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение поверхности сорбента ОАБК:ЭД-20:ПЭПА (разрешение в 250 мкм)  
Fig. 4. Scanning electron microscopic image of the OABA:ED-20:PEPA sorbent surface (250  $\mu\text{m}$  resolution)

Таким образом, структуру координационного соединения ионов меди (II) с ковалентно не-

подвижным азотсодержащим полимерным лигандом ОАБК:ЭД-20:ПЭПА можно представить следующим образом (рис. 5):

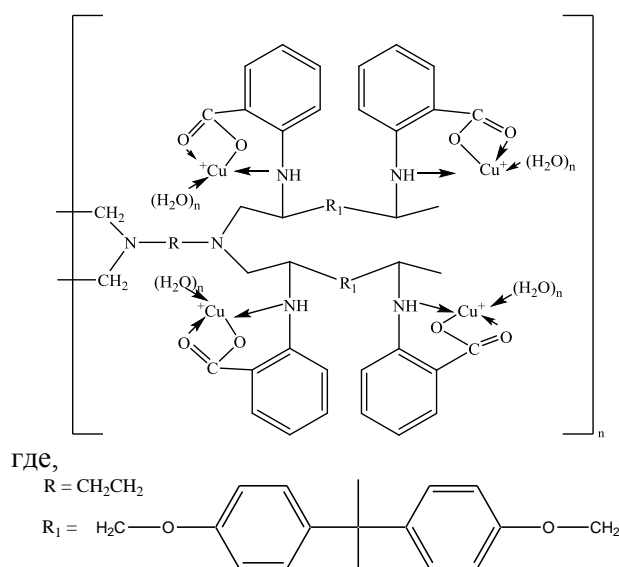


Рис. 5. Комплексное соединение сорбента ОАБК:ЭД-20:ПЭПА с ионами меди  $\text{Cu}^{2+}$

Fig. 5. Complex compound of the OABA:ED-20:PEPA sorbent with copper ions  $\text{Cu}^{2+}$

Из полученных при исследовании термостабильности сорбентов экспериментальных данных, и на основании литературного анализа [33, 34], где описан результат других термических исследований, нами проанализированы различные экзотермические и эндотермические тепловые эффекты, наблюдаемые при изменении массы в результате разрушения структуры при нагревании сорбента (рис. 6).

Таблица 2

Элементный анализ полиамфолита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА с d-металлами  
Table 2. Elemental analysis of polyampholyte OABA:ED-20:PEPA with d-metals

Цвет гранул	Ионы металлов	Элементы					Брутто формула звена полимерного комплекса	
		C	H	N	O	Me		
<b>ОАБК:ЭД-20:ПЭПА</b>								
голубой	$\text{Cu}^{2+}$	Вычислено, %	60,65	5,19	5,73	10,92	17,48	$\text{C}_{74}\text{H}_{76}\text{N}_6\text{O}_{10}\text{Cu}_4$
		Найдено, %	59,31	6,73	6,21	12,35	15,41	
розовый	$\text{Co}^{2+}$	Вычислено, %	61,49	5,26	5,81	11,08	16,34	$\text{C}_{74}\text{H}_{76}\text{N}_6\text{O}_{10}\text{Co}_4$
		Найдено, %	56,41	6,3	7,18	13,1	17,01	
светло-желтый	$\text{Ag}^+$	Вычислено, %	54,14	4,36	5,12	9,75	26,34	$\text{C}_{74}\text{H}_{76}\text{N}_6\text{O}_{10}\text{Ag}_4$
		Найдено, %	50,65	5,89	6,23	11,42	26,11	
светло-желтый с блеском	$\text{Zn}^{2+}$	Вычислено, %	60,49	5,17	5,72	10,89	17,74	$\text{C}_{74}\text{H}_{76}\text{N}_6\text{O}_{10}\text{Zn}_4$
		Найдено, %	56,51	6,55	6,81	11,25	18,88	
бирюзовый	$\text{Ni}^{2+}$	Вычислено, %	61,66	5,28	5,83	11,11	16,11	$\text{C}_{74}\text{H}_{76}\text{N}_6\text{O}_{10}\text{Ni}_4$
		Найдено, %	54,63	7,41	6,05	13,2	18,71	

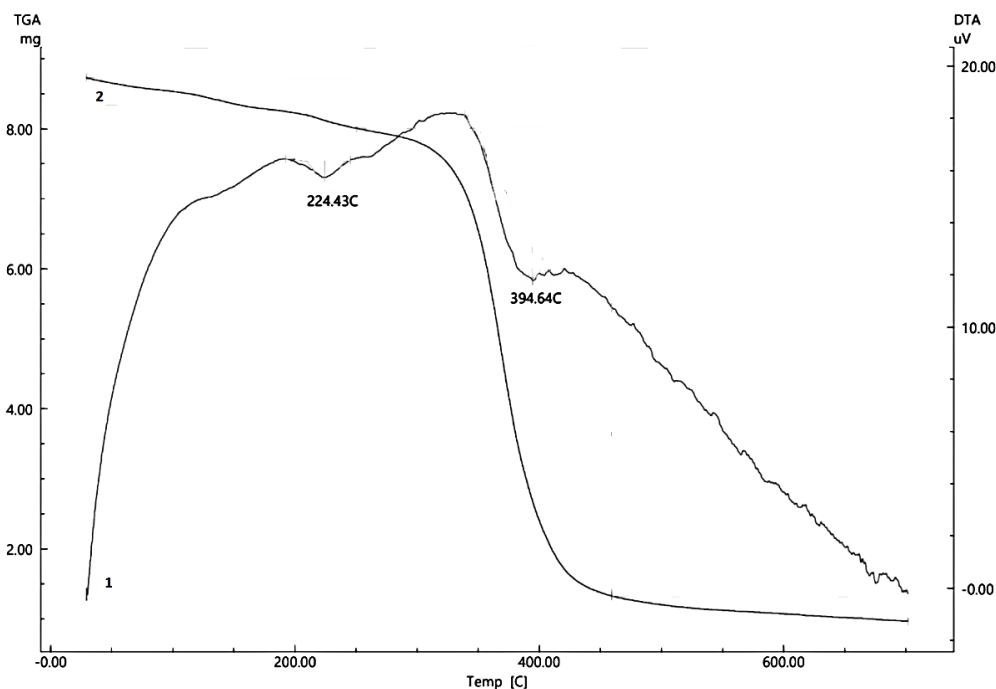


Рис. 6. Термогравиметрический (ТГ, линия 2) и дифференциальный термический анализ (ДТА, линия 1) синтезированного сорбента ОАБК:ЭД-20:ПЭПА

Fig. 6. Thermogravimetric (TG, line 2) and differential thermal analysis (DTA, line 1) of the synthesized sorbent OABA:ED-20:PEPA

На термограмме сорбента, представленной на рис. 6, выявлено наблюдение двух эндотермических эффектов при температурах 224 и 394 °С. Первый эндоэффект при 224 °С был связан с выделением гигроскопической воды, содержащей лиганд, с уменьшением массы на 8,3%. Второй эндоэффект при 394 °С обусловлен природой размягчения и разложения лиганда. Потеря массы составила 6,67 мг, или 76,5 %. Таким образом, термическая стабильность синтезированного сорбента (ОАБК:ЭД-20:ПЭПА) свидетельствует о его устойчивости до температуры 200 °С.

Исследована также зависимость сорбции некоторых d-металлов от pH среды, а полученные результаты представлены графически (рис. 7). Графики, описывающие зависимость сорбции металлов от pH среды в синтезированном комплексобразующем лиганде, показывают, что сорбция ионов металлов в лигандах относительно выше в слабнокислых средах. Как видно из графика на рис. 7, степень сорбции ионов металлов от pH = 2 до pH = 4 постепенно возрастает. По мере увеличения значения водородного индекса среды от 6 до нейтрального происходит снижение уровня сорбции. Об этом свидетельствует сорбция ионов металлов в кислой среде с образованием кислых комплексов различного состава с протонированными активными функциональными группами лиганда. Отметим, что исследованный полиамфолит устойчив во всем диапазоне pH.

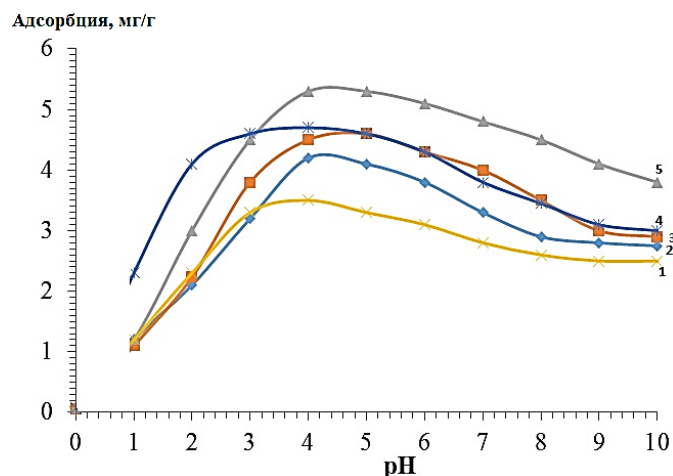


Рис. 7. Зависимость сорбции некоторых d-металлов от pH среды в синтезированном комплексобразующем лиганде (ОАБК:ЭД-20:ПЭПА): 1 – Ag<sup>+</sup>, 2 – Zn<sup>2+</sup>, 3 – Cu<sup>2+</sup>, 4 – Ni<sup>2+</sup>, 5 – Co<sup>2+</sup> (C<sub>Me</sub>=0,1 n, m<sub>сорб</sub>=0,1 г, τ=2 ч, V=10 мл)

Fig. 7. Dependence of the sorption of some d-metals on the pH of the medium in the synthesized complexing ligand (OABA:ED-20:PEPA): 1 – Ag<sup>+</sup>, 2 – Zn<sup>2+</sup>, 3 – Cu<sup>2+</sup>, 4 – Ni<sup>2+</sup>, 5 – Co<sup>2+</sup> (C<sub>Me</sub>=0.1 n, m<sub>sorb</sub>=0.1 g, τ=2 h, V=10 ml)

## ВЫВОДЫ

Получен полиамфолит ОАБК:ЭД-20:ПЭПА путем иммобилизации о-аминобензойной кислоты в матрице эпоксидной смолы.

Изучены обменные и сорбционные характеристики полиамфолитов, полученных на основе аминокислот.



Методом ИК-спектроскопии предположена структура полиамфолита, а также его комплексов с некоторыми d-металлами.

Методом сканирующей электронной микроскопии получены изображения поверхности синтезированного полиамфолита ОАБК:ЭД-20:ПЭПА и его координационного соединения с ионами меди  $\text{Cu}^{2+}$ . Приведены результаты элементного анализа полученного лиганда и его полимерных комплексных соединений с переходными металлами.

Проведены эксперименты по изучению термостабильности синтезированного сорбента

(ОАБК:ЭД-20:ПЭПА), свидетельствующие о его устойчивости до температуры 200 °С.

Изучено влияние pH среды на сорбционные свойства полученного полиамфолита. Степень сорбции ионов металлов от pH = 2 до pH = 4 постепенно повышается и достигает максимального уровня.

*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. **Исмоилова Х.М., Бекчанов Д.Ж., Хасанов Ш.Б., Матмурадова Ф.К.** Сорбция ионов Zn(II) и Cr(III) на аниониты и полиамфолиты, полученные на основе местного сырья. *Universum: Химия и биология: электрон. науч. журн.* 2019. № 12(66). С. 37-45.
3. **Umirova G.A., Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Dzhaliilov A.T.** IR spectroscopic and thermal characteristics of a nitrogen-containing ligand and its coordination compounds with copper (II). *ISJTAS.* 2021. V. 101. N 09. P. 49-51. DOI: 10.15863/TAS.2021.09.101.55.
4. **Умирова Г.А., Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т.** Сорбция ионов Cu(II) и Zn(II) на полиамфолитах, полученных из аминокислот. *Universum: Химия и биология: электрон. науч. журн.* 2021. № 10 (88). С. 19-22. DOI: 10.32743/UniChem.2021.88.
5. **Иванченко А., Елатонцев Д., Сорока О., Ткаченко Е.** Перспективы использования адсорбционного метода для извлечения металлов из водных стоков. *Грааль науки.* 2021. № 8. С. 149-152. DOI: 10.36074/grail-of-science.24.09.2021.29.
6. **Barakat M.A.** New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arab. J. Chem.* 2011. 4. P. 361–377. DOI: 10.1016/j.arabjc.2010.07.019.
7. **Ihsanullah A., Abbas A.M., Al-Amer T., Laoui M.J., Al-Marri M.S., Nasser M., Khraishah M.A., Atieh.** Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications. *Sep. Purif. Technol.* 2016. 157. P. 141–161. DOI: 10.1016/j.seppur.2015.11.039.
8. **Bilal M.** Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review. *Sep. Purif. Technol.* 2022. V. 278. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.119510.
9. **Lam B., Deron S., Morin-Crini N., Crini G., Fievet P.** Polymer-enhanced ultrafiltration for heavy metal removal: Influence of chitosan and carboxymethyl cellulose on filtration performances. *J. Clean. Prod.* 2018. 171. P. 927–933. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.090.
10. **Sun Y., Zhou S., Pan S.Y., Zhu S., Yu Y., Zheng H.** Performance evaluation and optimization of flocculation process for removing heavy metal. *Chem. Eng. J.* 2020. 385. P. 123911. DOI: 10.1016/j.cej.2019.123911.

#### 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. **Ismoilova Kh.M., Bekchanov D.Zh., Khasanov Sh.B., Matmuradova F.K.** Sorption of Zn(II) and Cr(III) ions on anion exchangers and polyampholytes obtained from local raw materials. *Universum: Khim. Biol: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2019. 12(66). P. 37-45 (in Russian).
3. **Umirova G.A., Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Dzhaliilov A.T.** IR spectroscopic and thermal characteristics of a nitrogen-containing ligand and its coordination compounds with copper (II). *ISJTAS.* 2021. V. 101. N 09. P. 49-51. DOI: 10.15863/TAS.2021.09.101.55.
4. **Umirova G.A., Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Dzhaliilov A.T.** Sorption of Cu (II) and Zn (II) ions on polyampholytes obtained from amino acids. *Universum: Khim. Biol.: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2021. N 10(88). P. 19-22 (in Russian). DOI: 10.32743/UniChem.2021.88.
5. **Ivanchenko A., Yelatontsev L., Soroka O., Tkachenko E.** Outlook of using the adsorption method for extraction of metals from hydrous effluent. *Graal Nayki.* 2021. N 8. P. 149-152 (in Russian). DOI: 10.36074/grail-of-science.24.09.2021.29.
6. **Barakat M.A.** New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arab. J. Chem.* 2011. 4. P. 361–377. DOI: 10.1016/j.arabjc.2010.07.019.
7. **Ihsanullah A., Abbas A.M., Al-Amer T., Laoui M.J., Al-Marri M.S., Nasser M., Khraishah M.A., Atieh.** Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications. *Sep. Purif. Technol.* 2016. 157. P. 141–161. DOI: 10.1016/j.seppur.2015.11.039.
8. **Bilal M.** Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review. *Sep. Purif. Technol.* 2022. V. 278. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.seppur.2021.119510.
9. **Lam B., Deron S., Morin-Crini N., Crini G., Fievet P.** Polymer-enhanced ultrafiltration for heavy metal removal: Influence of chitosan and carboxymethyl cellulose on filtration performances. *J. Clean. Prod.* 2018. 171. P. 927–933. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.090.
10. **Sun Y., Zhou S., Pan S.Y., Zhu S., Yu Y., Zheng H.** Performance evaluation and optimization of flocculation process for removing heavy metal. *Chem. Eng. J.* 2020. 385. P. 123911. DOI: 10.1016/j.cej.2019.123911.
11. **Demirbas A.** Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review. *J. Hazard. Mater.* 2008. 157. P. 220–229. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.024.

11. **Demirbas A.** Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: a review. *J. Hazard. Mater.* 2008. 157. P. 220–229. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.024.
12. **SenthilKumar P., Ramalingam S., Sathyselvbala V., Kirupha S.D., Sivanesan S.** Removal of copper(II) ions from aqueous solution by adsorption using cashew nut shell. *Desalination.* 2011. 266. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.desal.2010.08.003.
13. **Agarwal M., Singh K.** Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review. *J. Water Reuse Desalin.* 2017. 7. P. 387–419. DOI: 10.2166/wrd.2016.104.
14. **Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkorscielny P., Robens E.** Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere.* 2004. 56. P. 91–106. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.03.006.
15. **Abdullah N., Yusof N., Lau W.J., Jaafar J., Ismail A.F.** Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *J. Ind. Eng. Chem.* 2019. 76. P. 17–38. DOI: 10.1016/j.jiec.2019.03.029.
16. **Maher A., Sadeghi M., Moheb A.** Heavy metal elimination from drinking water using nano filtration membrane technology and process optimization using response surface methodology. *Desalination.* 2014. 352. P. 166–173. DOI: 10.1016/j.desal.2014.08.023.
17. **Foo K.Y., Hameed B.H.** An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *J. Hazard. Mater.* 2009. P. 54–60. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.038.
18. **Nouri L., Ghodbane I., Hamdaoui O., Chiha M.** Batch sorption dynamics and equilibrium for the removal of cadmium ions from aqueous phase using wheat bran. *J. Hazard. Mater.* 2007. 149. P. 115–125. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.055.
19. **Keno David Kowanga, Erastus Gatebe, Godfrey Omare Mauti, Eliakim Mbaka Mauti Kinetic.** Sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second-order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted Moringaoleifera seed powder. *J. Phytopharmacol.* 2016. 5(2). P. 71–78. DOI: 10.31254/phyto.2016.5206.
20. **Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkorscielny P., Robens E.** Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere.* 2004. 56. P. 91–106. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.03.006.
21. **Jachula J., Kołodyńska D., Hubicki Z.** Sorption of Cu(II) and Ni(II) ions in the presence of the methylglycinediacetic acid by microporous ion exchangers and sorbents from aqueous solutions. *Cent. Eur. J. Chem.* 2011. V. 9. N 1. P. 52–65. DOI: 10.2478/s11532-010-0115-y.
22. **Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т.** Исследование процесса комплексообразования ионов некоторых двухвалентных 3d-металлов синтезированным хелатообразующим сорбентом. *Universum: Химия и биология: электрон. науч. журн.* 2018. № 3 (45). С. 17–19.
23. **Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т., Чориева Н.Б., Амонова Н.Д.** ИК спектроскопическое исследование и квантово-химические характеристики азот и фосфорсодержащего полимерного лиганда. *Universum: Химия и биология: электрон. науч. журн.* 2019. № 6(60). С. 50–54.
24. **Berdiyeva M.I., Turobzhonov S.M., Nazirova R.A.** Применение сульфокатиона поликонденсационного типа в процессах смягчения производственных вод. *Вода: химия и экология.* 2016. № 9. С. 27–29.
25. **SenthilKumar P., Ramalingam S., Sathyselvbala V., Kirupha S.D., Sivanesan S.** Removal of copper(II) ions from aqueous solution by adsorption using cashew nut shell. *Desalination.* 2011. 266. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.desal.2010.08.003.
26. **Agarwal M., Singh K.** Heavy metal removal from wastewater using various adsorbents: a review. *J. Water Reuse Desalin.* 2017. 7. P. 387–419. DOI: 10.2166/wrd.2016.104.
27. **Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkorscielny P., Robens E.** Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere.* 2004. 56. P. 91–106. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.03.006.
28. **Abdullah N., Yusof N., Lau W.J., Jaafar J., Ismail A.F.** Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *J. Ind. Eng. Chem.* 2019. 76. P. 17–38. DOI: 10.1016/j.jiec.2019.03.029.
29. **Maher A., Sadeghi M., Moheb A.** Heavy metal elimination from drinking water using nano filtration membrane technology and process optimization using response surface methodology. *Desalination.* 2014. 352. P. 166–173. DOI: 10.1016/j.desal.2014.08.023.
30. **Foo K.Y., Hameed B.H.** An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. *J. Hazard. Mater.* 2009. P. 54–60. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.06.038.
31. **Nouri L., Ghodbane I., Hamdaoui O., Chiha M.** Batch sorption dynamics and equilibrium for the removal of cadmium ions from aqueous phase using wheat bran. *J. Hazard. Mater.* 2007. 149. P. 115–125. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.03.055.
32. **Keno David Kowanga, Erastus Gatebe, Godfrey Omare Mauti, Eliakim Mbaka Mauti Kinetic.** Sorption isotherms, pseudo-first-order model and pseudo-second-order model studies of Cu(II) and Pb(II) using defatted Moringaoleifera seed powder. *J. Phytopharmacol.* 2016. 5(2). P. 71–78. DOI: 10.31254/phyto.2016.5206.
33. **Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkorscielny P., Robens E.** Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere.* 2004. 56. P. 91–106. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.03.006.
34. **Jachula J., Kołodyńska D., Hubicki Z.** Sorption of Cu(II) and Ni(II) ions in the presence of the methylglycinediacetic acid by microporous ion exchangers and sorbents from aqueous solutions. *Cent. Eur. J. Chem.* 2011. V. 9. N 1. P. 52–65. DOI: 10.2478/s11532-010-0115-y.
35. **Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Jalilov A.T.** Study of the process of complex formation of ions of some divalent 3d-metals with a synthesized chelating sorbent. *Universum: Khim. Biolog.: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2018. N 3 (45). P. 17–19 (in Russian).
36. **Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Jalilov A.T., Chorlieva N.B., Amonova N.D.** IR spectroscopic study and quantum chemical characterization of nitrogen and phosphorus-containing polymeric ligand. *Universum: Khim. Biolog.: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2019. N 6(60). P. 50–54 (in Russian).
37. **Berdiyeva M.I., Turobzhonov S.M., Nazirova R.A.** The use of polycondensation sulfocationite in of softening industrial waters. *Voda: Khim. Ekolog.* 2016. N 9. P. 27–29 (in Russian).
38. **Umirova G.A., Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Sharipov B.Sh.** Study of the physicochemical properties of the synthesized complexing anion exchange resin. *ARES.* 2021. N 12. P. 1372–1379 (in Russian). DOI: 10.24412/2181-1385-2021-12.

25. Умирова Г.А., Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Шарипов Б.Ш. Изучение физико-химических свойств синтезированного комплексообразующего анионита. *ARES*. 2021. № 12. С. 1372-1379. DOI: 10.24412/2181-1385-2021-12.
26. Умирова Г.А., Касимов Ш.А., Тураев Х.Х., Джалилов А.Т. Синтез и исследование хелатообразующих сорбентов на основе аминокислот. *Узбек. хим. журн.* 2021. № 5. С. 11-17.
27. Эрмуратова Н.А., Тураев Х.Х., Корнилов К.Н., Роева Н.Н. Синтез и изучение комплексообразующего сорбента на основе карбамида, формальдегида и аминокусусной кислоты 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.
28. 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.
29. 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.
30. Chorjeva 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.
31. 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.
32. Nelms S. E., Galloway T. S., Godley B. J., Jarvis D. S., Lindeque P.K. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ. Pollut.* 2018. 238. P. 999–1007. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.02.016.
33. Kornilov K.N. Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elements*. 2021. V. 196. N 7. P. 605-615. DOI: 10.1080/10426507.2021.1901705.
34. Turaev Kh.Kh., Shukurov D.Kh., Djalilov A.T., Karimov M.U. New Review of Dye Sensitive Solar Cells. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 2021. 69(9). P. 265-271. DOI: 10.14445/22315381/Ijett-V69i9p232.
35. Shukurov D., Turaev Kh., Jovliyev P., Karimov M.U. Synthesis of Polyaniline Dye Pigment and Its, Study in Dye-Sensitive Solar Cells. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 2022. 70(4). P. 236-244. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V70I4P220.
26. Umirova G.A., Kasimov Sh.A., Turaev Kh.Kh., Jalilov A.T. Synthesis and study of chelating sorbents based on amino acids. *Uzbek. Khim. Zhurn.* 2021. N 5. P. 11-17 (in Russian).
27. 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 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20226509.6626.
28. Kasimov Sh.A., Turayev Kh.Kh., Dzhililov A.T. Investigation of the process of complex formation of ions of some divalent 3d-metals synthesized by a chelating sorbent. *Universum: Khim. Biolog.: Elektron. Nauchn. Zhurn.* 2018. N 3 (45). P. 17-19 (in Russian).
29. Ermuratova N.A., Kasimov Sh.A., Turayev 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.
30. Chorjeva 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.
31. Eshkurbonov F.B., Turayev 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).
32. Nelms S. E., Galloway T. S., Godley B. J., Jarvis D. S., Lindeque P.K. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Environ. Pollut.* 2018. 238. P. 999–1007. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.02.016.
33. Kornilov K.N. Polymeric derivatives of phosphorus-organic acid amides and dihydric phenols: little studied substances with great prospects. *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elements*. 2021. V. 196. N 7. P. 605-615. DOI: 10.1080/10426507.2021.1901705.
34. Turaev Kh.Kh., Shukurov D.Kh., Djalilov A.T., Karimov M.U. New Review of Dye Sensitive Solar Cells. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 2021. 69(9). P. 265-271. DOI: 10.14445/22315381/Ijett-V69i9p232.
35. Shukurov D., Turaev Kh., Jovliyev P., Karimov M.U. Synthesis of Polyaniline Dye Pigment and Its, Study in Dye-Sensitive Solar Cells. *Int. J. Eng. Trends Technol.* 2022. 70(4). P. 236-244. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V70I4P220.

Поступила в редакцию 03.10.2022

Принята к опубликованию 25.01.2023

Received 03.10.2022

Accepted 25.01.2023