

## OBTAINING NEW POLYFUNCTIONAL ION-EXCHANGE SORBENTS

Sadykov K.A.<sup>1\*</sup>, Bektenov N.A.<sup>1</sup>, Ybraimzhanova L.K.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A.B.Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>I.Zhansugurov Zhetysu University, Taldykorgan, Kazakhstan

e-mail: [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru)

**Abstract.** The purposeful synthesis of polymeric chelate-forming sorbents, distinguished by high efficiency, selectivity of action, cost-effectiveness, is one of the promising directions in the field of increasing selectivity of the sorption processes. The paper aims at the synthesis of new ionic compounds, based on the copolymers of glycidyl methacrylate and chelating agent - oxyethylidenediphosphonic acid. The preparation of the insoluble complex sorbents by the method of a chemical modification with the introduction of a soluble complexone, hydroxyethylidenediphosphonic acid, widely used in the industry and heat engineering, into the polymer matrix has been studied. The ways of obtaining new ion-exchange resins, based on a double copolymer of glycidyl methacrylate, methyl methacrylate and oxyethylenediphosphonic acid complexone, have been developed. The optimal mode for obtaining the ion exchangers, based on a double copolymer of glycidyl methacrylate, methyl methacrylate and oxyethylenediphosphonic acid, is the mass ratio of copolymer:acid 1.0:1.0, at a temperature of 90 °C, and heating during 10 hours. The yield of ion exchangers makes up 78-80%. The composition and structure of the obtained ionites have been identified by the infrared spectroscopy and elemental analysis. The static exchange capacity for 0.1 M NaOH solution is 5.92 mg-eq/g. It has been found that the obtained ionite has a satisfactory chemical resistance to various acids, alkalis and oxidants, the loss of the static exchange capacity does not exceed 7%. The resulting ionite can be used as a sorption material for the industrial wastewater treatment from various metal ions.

**Keywords:** sorbent, ion exchange capacity, static exchange capacity, copolymer, complexone, oxyethylidenediphosphonic acid

---

**Sadykov Kanat Amirkulovich**

Master of Chemistry, e-mail: [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8931-7973>

---

**Bektenov Nesiphan Abzhaparovich**

Doctor of Chemical Sciences, Professor, e-mail: [bekten\\_1954@mail.ru](mailto:bekten_1954@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1427-438X>

---

**Ybraimzhanova Laura  
Kairoldaevna**

Master of Technical Sciences, teacher-methodologist, e-mail: [ybraymzhanova@mail.ru](mailto:ybraymzhanova@mail.ru), ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-6192>

---

**Citation:** Sadykov K.A., Bektenov N.A., Ybraimzhanova L.K. Obtaining new polyfunctional ion-exchange sorbents. *Chem.J.Kaz.*, 2022, 2(78), 70-79 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2022-2/2710-1185.66>

**ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ИОННОБМЕННЫХ СОРБЕНТОВ****Садыков К.А.<sup>1\*</sup>, Бектенов Н.А.<sup>1</sup>, Ыбраймжанова Л.К.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>АО Институт химических наук им.А.Б.Бектурова, Алматы, Казахстан,<sup>2</sup>Жетысуский университет им. И. Жансугурова, Талдыкорган, Казахстан,E-mail: [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru)

**Резюме.** Одним из перспективных направлений в области повышения избирательности сорбционных процессов является направленный синтез полимерных хелатообразующих сорбентов, отличающихся высокой эффективностью, избирательностью действия, экономичностью. Целью работы является синтез и исследование физико-химических свойств новых ионитов на основе сополимеров глицидилметакрилата и метилметакрилата с комплексоном - оксиэтилендифосфоновой кислотой. Химической модификацией - введением в полимерную матрицу широко используемого в промышленности и теплотехнике растворимого комплексона – оксиэтилендифосфоновой кислоты, получены нерастворимые комплексные сорбенты и изучены их свойства. Оптимальным режимом получения ионитов на основе двойного сополимера глицидилметакрилата и метилметакрилата с оксиэтилендифосфоновой кислотой является массовое соотношение сополимер:кислота 1.0:1.0 при температуре 90<sup>0</sup> С и продолжительности нагрева 10 ч. Выход ионитов составляет 78–80%. Состав полученных ионитов подтвержден элементным анализом, структура – методом инфракрасной спектроскопии. Статическая обменная емкость по 0.1 М раствору NaOH равна 5.92 мг-экв/г. Установлено, что полученный ионит обладает удовлетворительной химической стойкостью к кислотам, щелочам и окислителям, потеря статической обменной емкости не превышает 7%. Полученный ионит может быть использован в качестве сорбционного материала для очистки промышленных сточных вод от различных ионов металлов.

**Ключевые слова:** сополимер, комплексон, оксиэтилендифосфоновая кислота, ионит, статическая обменная емкость, сорбент

---

*Садыков Канат Амиркулович**магистр химии,*

---

*Бектенов Несипхан Абжапарович**доктор химических наук, профессор*

---

*Ыбраймжанова Лаура Кайролдаевна**магистр технических наук, преподаватель-методист*

---

**1. Введение**

Техногенная деятельность человечества привела к значительному загрязнению почвенного покрова и гидросферы, в частности содержание в некоторых водных бассейнах ионов тяжелых металлов превышает предельно допустимые концентрации, ставя под угрозу здоровье человека [1–5].

Среди способов очистки металлосодержащих сточных вод важное место занимают сорбционные методы, которые обеспечивают максимально полное извлечение токсичных ионов, включая растворы с низкой концентрации загрязнителей.

Ионообменники являются одной из наиболее эффективных составляющих при разработке безотходной экологически чистой схемы извлечения ионов металлов. Применение ионообменной технологии позволяет получать металлы из низкосортных руд и техногенных отходов, одновременно решая проблему охраны окружающей среды. Использование сорбентов гелевой и макропористой структуры не приемлемо, так как их

ионообменные свойства характеризуются нестабильностью, недостаточной проницаемостью и низкой химической стойкостью полимера к агрессивным растворам. Поэтому разработка эффективных ионообменных сорбентов с улучшенными физико-химическими свойствами относится к актуальным задачам современной науки.

Целью работы является получение новых ионитов, обладающих повышенными физико-химическими свойствами для применения в технологиях очистки сточных вод. В качестве исходных соединений для разработки нерастворимых комплексных сорбентов взяты двойной сополимер глицидилметакрилата (ГМА) и метилметакрилата (ММА), а также широко используемый в промышленности и теплотехнике растворимый комплексон – оксиэтилидендифосфовая кислота (ОЭДФ).

## 2. Экспериментальная часть

Синтез сополимера проводили методом радикальной полимерзации в растворителе - диметилформамиде (ДМФА), в присутствии инициатора пероксида бензоила, взятого в количестве 0.1 % от массы мономеров, при температуре 90°C в запаянных ампулах из молибденового стекла в атмосфере инертного газа (аргон). Растворимый сополимер очищали двукратным переосаждением из раствора в этиловый спирт. Сополимер ГМА-ММА отмывали от непрореагировавших мономеров 1,4-диоксаном. Образцы сушили при комнатной температуре в вакуумно-сушильном шкафу до постоянной массы. Содержание эпоксидных групп (ЭЧ, %) определяли по известной методике [6].

*Методы синтеза ионитов:* Конденсацию линейных и сшитых сополимеров ГМА-ММА с ОЭДФ проводили в ДМФА. В трехгорлую колбу, снабженную механической мешалкой, термометром и капельной воронкой, приливали в разных соотношениях 35% - ную кислоту (ОЭДФ) и постепенно прикапывали раствор сополимера в ДМФА. При интенсивном перемешивании смесь нагревали при 90 °С до образования геля. После образования геля смесь переливали в фарфоровую чашку, отверждали в течение 10 ч при 90 °С, дробили, просеивали, отбирая фракцию с размером гранул 0.25–1.00 мм.

Подготовку ионитов для испытаний и для определения статической обменной емкости (СОЕ) проводили по известной методике [7, 8].

ИК–спектры образцов полимерного ионита записывали на ИК-Фурье-спектрометре Nicolet 5700 (Thermo Electron, США, 2006) в таблетке с KBr.

Элементный анализ ионита (ГМА-ММА-ОЭДФ) проводился по известному методу [9].

## 3. Результаты и обсуждение

Комплексоны относятся к мультидентатным хелатообразующим реагентам [10, 11]. К широко применяемым представителям комплексонов относятся иминодиуксусная и некоторые фосфоросодержащие кислоты.

Нитрилтриуксусную, этилендиаминтетрауксусную и другие полиуксусные кислоты, а также оксиэтилендифосфоновую и нитрилотриметилфосфоновую кислоты можно рассматривать как структурные аналоги.

Важным отличием хелатообразующих полимерных сорбентов от других типов сорбентов является наличие в матрице химически активных групп, способных взаимодействовать с находящимися в растворе ионами металлов с образованием хелатных комплексов. Эти группы могут быть введены в полимерную матрицу путем химических превращений или они образуются в процессе синтеза полимерного сорбента.

Хелатные смолы – это типы материалов, которые часто обозначаются по их целевым и селективным разделительным свойствам. Однако диапазон их применения далеко не исчерпан, исследования по синтезу современных материалов на их основе, раскрывающие многофункциональные уникальные свойства [12, 13], интенсивно развиваются.

Например, ионообменные смолы, имеющие определенные хелатирующие группы, присоединенные к полимеру, нашли широкое применение для сорбции и предварительного концентрирования ионов различных металлов. Особенностью хелатообразующих сорбентов является их селективность при взаимодействии с ионами металлов, находящимися в растворе. Это определяется главным образом природой химически активных групп, содержащихся в полимере [14, 15].

Решающим фактором успеха разделения ионов металлов является выбор лиганда. Фосфорорганические соединения широко используются в качестве комплексообразующих агентов при экстракции растворителем из-за их высоких коэффициентов распределения и высокой селективности в дополнение к их низкой цене. Среди множества возможного применения исключительного внимания заслуживают фосфорсодержащие смолы, используемые в процессах разделения смесей [16].

Основная причина их уникальности заключается в потенциале ионизации фосфорсодержащих кислот. Поэтому многие ученые интересуются фосфорорганическими и хелатообразующими полимерными сорбентами [17–19].

Весьма перспективным является использование глицидилметакрилата для синтеза новых полиэлектролитов, которые удачно сочетают в своей структуре легко полимеризующуюся двойную связь и реакционноспособную эпоксидную группу, открывающую возможность радикальной и ионной полимеризации с получением различных полимерных веществ [20, 21] для разработки эффективных методов извлечения ионов металлов из водных растворов и сточных вод.

Растворимые комплексоны (ОЭДФ, нитрилотриметилфосфоновая и этилендиаминтетрауксусная кислоты) широко используются в сельском хозяйстве, медицине, промышленности, на тепловых станциях для предупреждения образования накипи или очистки от различных солей. Для

использования таких комплексонов при выделении ионов металлов из различных растворов необходимо придать им «нерастворимые свойства» прививкой на полимерную матрицу.

В настоящей работе нами впервые синтезированы иониты на основе двойного сополимера глицидилметакрилата с метилметакрилатом и комплексона – оксиэтилендифосфоновой кислоты. Установлены оптимальные условия синтеза и изучены физико-химические свойства ионита. Идентификация полученных соединений проведена на основании анализа данных элементного анализа и ИК спектроскопии [9, 21].

В ИК-спектре полиэлектролита ГМА-ММА-ОЭДФ исчезли полосы поглощения при 850, 912, 1000, 1250, 3012 и 3075  $\text{см}^{-1}$ , характерные для эпокси групп и появились новые полосы поглощения, соответствующие группам P=O, C-P, P-OH, P-C (1267, 703  $\text{см}^{-1}$ ). Это указывает на то, что сополимер реагирует с ОЭДФ с образованием нового вещества – ионита ГМА-ММА-ОЭДФ, с предполагаемой структурой, приведенной на рисунке 1.

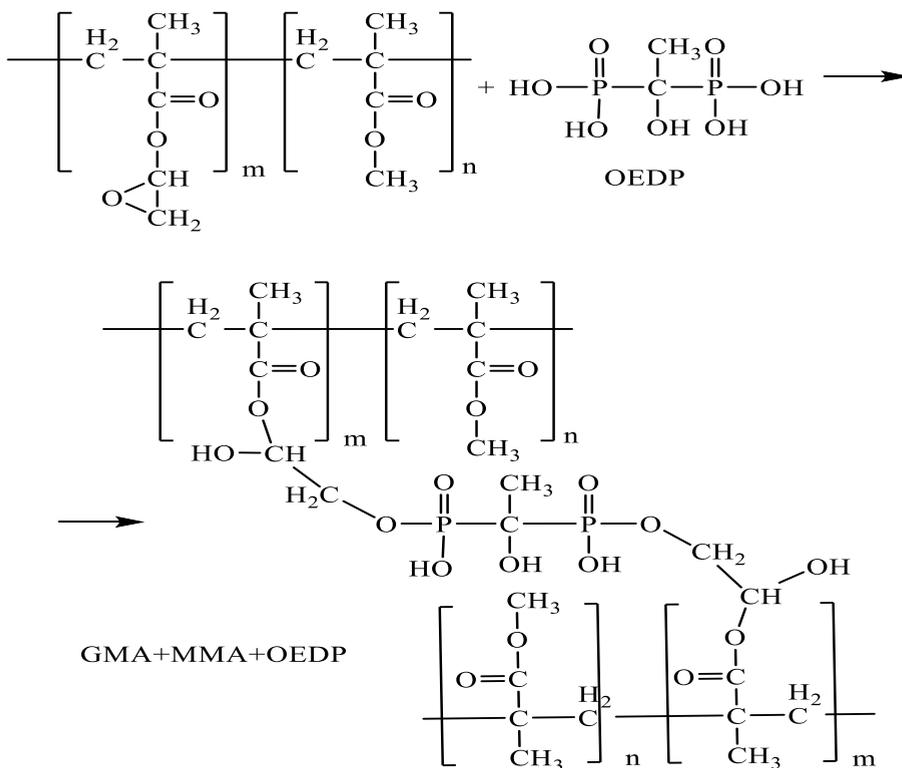


Рисунок 1 – Предполагаемая структурная формула ионита на основе двойного сополимера ГМА-ММА и ОЭДФ.

Для установления оптимальных условий синтеза хелатообразующих ионитов на основе двойного сополимера ГМА-ММА и ОЭДФ изучено влияние соотношения исходных реагирующих компонентов, температуры и продолжительности процесса на статическую обменную емкость ионитов (таблицы 1). Как видно из таблицы 1, увеличение концентрации кислоты ОЭДФ от 0.5 до 1.0 мас.ч. в исходной смеси приводит к повышению обменной емкости ионита до 5.92 мг-экв/г. Дальнейшее повышение содержания кислоты ОЭДФ приводит к образованию растворимых или слабосшитых ионитов. Поэтому в дальнейших исследованиях количество ОЭДФ брали в вышеуказанных пределах, которые дают химически стойкие и механически прочные иониты.

**Таблица 1** – Оптимальные условия синтеза фосфорсодержащих ионитов на основе двойного сополимера ГМА-ММА и ОЭДФ

Массовое соотношение (сополимер: ОЭДФ)	t°, C	τ, ч	Выход η, %	COE по 0.1 н раствору NaOH, мг-экв/г
1.0:0.5	90	10	75	3.11
1.0:1.0			80	5.92
1.0:2.0			80	5.10
1.0:3.0			79	5.03

Результаты испытаний химической устойчивости ионитов показали, что новые синтезированные ионообменники достаточно инертны к действию химических реагентов, таких как перекись водорода, 1 н азотная кислота, 5 н NaOH и серная кислота (таблица 2). Степень потери емкости ионита ГМА-ММА-ОЭДФ не превышает 7 % при обработке их растворами.

**Таблица 2** –Химическая устойчивость ионообменников

Ионит	Растворы используемые для обработки ионита			
	10% раствор H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	1 н раствор HNO <sub>3</sub>	5н раствор NaOH	5 н раствор H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
COE исх., мг-экв/г	5.92			
COE посл, мг-экв/г	5.24	5.22	5.34	5.19
Хим.устойчивость, %	95	94.55	96.67	94

Таким образом, разработан способ получения нового полифункционального сорбента на основе сополимера – поли [(метилметакрилат)-со-(глицидилметакрилата)], и растворимого комплексона, обладающего высокими физико-химическими показателями. Синтезированный ионит будет испытан для очистки различных водных растворов и промышленных сточных вод от ионов металлов.

#### 4. Заключение

Наиболее оптимальным режимом получения ионита на основе двойного сополимера глицидилметакрилата с метилметакрилатом и оксиэтилендифосфоновой кислотой является массовое соотношение сополимер:кислота 1.0:1.0, температура нагрева 90° С, продолжительность 10 ч. Найдено, что степень потери его емкости ГМА-ММА-ОЭДФ не превышает 7 % при обработке растворами окислителей, щелочей и кислот. Полученные ионообменные полимерные собенты рекомендуется использовать для очистки различных водных растворов и промышленных сточных вод от ионов металлов в гидрометаллургии и других отраслях промышленности РК.

**Финансирование:** Работа выполнена в Институте химических наук им. А.Б. Бектурова по программе BR10965255 целевого финансирования научных исследований на 2021–2023 годы, осуществляемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### ПОЛИФУНКЦИОНАЛДЫ ЖАҢА ИОНАЛМАСТЫРҒЫШ СОРБЕНТТЕР АЛУ

*Садықов Қ.А.<sup>1\*</sup>, Бектенов Н.А.<sup>1</sup>, Ыбрайымжанова Л.К.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты АҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>І.Жансүгіров атындағы Жетісу университеті, Талдықорған, Қазақстан

e-mail: [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru)

**Түйіндемe.** Сорбциялық процестердің селективтілігін арттыру үшін жоғары экономикалық тиімді және талғауыштығымен ерекшеленетін полимерлі хелат түзуші сорбенттердің мақсатты синтезі перспективалы бағыттардың бірі болып табылады. Жұмыстың мақсаты-глицидилметакрилат сополимерлері мен комплекс — оксиэтилендифосфон қышқылы негізінде жаңа иониттерді синтездеу және олардың физика-химиялық қасиеттерін зерттеу.

Жүргізілген зерттеулер өнеркәсіпте және жылу техникасы саласында кеңінен қолданылатын еритін комплекс – оксиэтилендифосфон қышқылын полимерлі матрицаға енгізе отырып, химиялық модификациялау әдісімен ерімейтін кешенді сорбенттерді алуға бағытталған. Қос сополимер глицидилметакрилат, метилметакрилат және оксиэтилендифосфон қышқылының кешені негізінде жаңа иониттер алу әдістері ұсынылды. Аталған қос сополимер глицидилметакрилат, метилметакрилат және оксиэтилендифосфон қышқылы негізінде иониттерді алудың ең оңтайлы режимі анықталынды, яғни полимер:қышқыл массалық қатынасы 1.0:1.0, жүйе температурасы 90 °С және қыздыру ұзақтығы 10 сағат. Иониттердің шығымы 78-80% құрайды. Алынған иониттердің құрамы және құрылымы инфрақызыл спектроскопия және элементтік талдау әдістерімен анықталды. 0.1 М NaOH ерітіндісі бойынша анықталған статикалық алмасу сыйымдылығы 5.92 мг-экв/г тең. Нәтижесінде алынған ионит әртүрлі қышқылдарға, сілтілерге және тотықтырғыштарға қанағаттанарлық деңгейде химиялық тұрақтылық танытады және статикалық алмасу сыйымдылығының кемуі 7% - дан артпайды. Алынған ионитті өнеркәсіптік ағынды суларды әртүрлі металл иондарынан тазарту үшін сорбциялық материал ретінде пайдалануға болады.

**Түйін сөздер:** сорбент, ионит, статикалық алмасу сыйымдылығы, сополимер, комплексон, оксиэтилендифосфон қышқылы

---

*Садықов Канат Әмірқұлұлы*

*ғылыми қызметкер, химия магистрі*

*Бектенов Несіпхан Абжапарович*

*химия ғылымдарының докторы, профессор*

*Ыбрайымжанова Лаура*

*оқытушы-әдіскер, техника ғылымдарының магистрі*

*Қайролдақызы*

---

## Список литературы

1. Schwarzenbach R.P., Egli T., Hofstetter T.B., Von Gunten U., Wehrli B. *Global Water Pollution and Human Health*. Annu. Rev. Environ. Resour., **2010**, 35(1), 109–136. DOI:10.1146/annurev-environ-100809-125342
2. Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F.M. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem. Toxicol.*, **2010**, 48(2), 611–619. DOI:10.1016/j.fct.2009.11.041
3. Qi K., Lu N., Zhang S., Wang W., Wang Z., Guan J. Uptake of Pb (II) onto microplastic-associated biofilms in freshwater: Adsorption and combined toxicity in comparison to natural solid substrates. *J. Hazard. Mater.* **2021**, 411, 125115. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.125115
4. Камбарова Э.А., Гавриленко М.А., Бектенов Н.А. Модифицированные полиэтиленполиамином и эпоксидной смолой цеолиты для извлечения ионов свинца из сточных вод. *Bull. Tomsk Polytech. Univ. Geo Assets Eng.*, **2021**, 332(1), 7–13. DOI:10.18799/24131830/2021/1/2994
5. Sathwara N.G., Patel K.G., Vyas J.B., Patel S., Trivedi M.R., Dave L.M., Saiyed H.N. Chromium exposure study in chemical based industry. *J. Exp. Biol.*, **2007**, 28(2), 405. [http://jeb.co.in/journal\\_issues/200704\\_apr07\\_supp/paper\\_09.pdf](http://jeb.co.in/journal_issues/200704_apr07_supp/paper_09.pdf)
6. Торопцева А.М., Белгородская К.В., Бондаренко В.М. *Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений*. Ленинград, Химия, **1972**, 416 с. <https://booksee.org/book/578206> (дата обращения 05.04.2022)
7. ГОСТ 20255.1-89. Иониты. Метод определения статической обменной емкости. Москва, ИПК Издательство стандартов, **2002**. <https://docs.cntd.ru/document/1200018372>
8. Полянский Н.Г. *Методы исследования ионитов*. Москва, Химия, **1976**, 208 с.
9. Климова В.А.. *Основные микрометоды анализа органических соединений*. Москва, Химия, **1967**, 208 с.
10. Ergozhin, E. E., Bektenov, N. A., Arup K. Sorption of ions strontium with new complex-forming ionites on the basis of epoxyacrylates and complexones. *Bull.Acad. Sci. Kaz. Series chem. technol.*, **2018**, 1(427), 6-11. <http://rmebrk.kz/journals/3927/98263.pdf#page=86>
11. Cyganowski P., Dzimitrowicz A.A. Mini-Review on Anion Exchange and Chelating Polymers for Applications in Hydrometallurgy, Environmental Protection, and Biomedicine. *Polymers*, **2020**, 12(784), <https://doi.org/10.3390/polym12040784>
12. Shakerian F., Kim K.H., Kwon E., Szulejko J.E., Kumar P., Dadfarnia S., Haji Shabani A.M. Advanced polymeric materials: Synthesis and analytical application of ion imprinted polymers as selective sorbents for solid phase extraction of metal ions. *Trends Anal. Chem.*, **2016**, (83), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.08.001>
13. Mohanty D., Samal S. Selective Removal of Toxic Metals like Copper and Arsenic from Drinking Water Using Phenol-Formaldehyde Type Chelating Resins. *E-J.Chem.*, **2009**, 6(4), 1035–1046. <https://doi.org/10.1155/2009/195721>
14. Ripperger K.P., Alexandratos S.D. Polymer-supported phosphorus-containing ligands for selective metal ion complexation. *Stud. Surf. Sci. Cata. – Elsevier*, **1999**, 473–495. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(99\)80370-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(99)80370-X)
15. Miao J., Fang Y., Yang X., Zhu Y., Hu A., Wang G. Fabrication, flame retardancy and physical properties of phosphorus containing porous organic polymers/epoxy resin composites. *Polym. Degrad. Stab.*, **2020**, 176(109159). doi:10.1016/j.polymdegradstab.2020
16. Głowińska A., Trochimeczuk A. W. Polymer-Supported Phosphoric, Phosphonic and Phosphinic Acids—From Synthesis to Properties and Applications in Separation Processes. *Molecules*, **2020**, 25(18), 4236. doi:10.3390/molecules25184236
17. Botelho Junior A.B., Vicente A.A., Espinosa D.C.R., Tenório J.A.S. Recovery of metals by ion exchange process using chelating resin and sodium dithionite. *J. Mater. Res. Technol.*, **2019**, 8(5), 4464–4469. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.059>
18. Institut de chimie séparative de Marcoules. Design of Ion-Exchange Resins Through EDTA and DTPA Modified Ligands. *In E3S Web of Conferences*, **2013**, (1), 41021. EDP Sciences.
19. Ybraimzhanova L.K., Bektenov N.A., Sadykov K.A. Synthesis of new ion exchange materials on the base of epoxyacrylates. *New. Natl. Acad. Sci. RK. Series Chem. Technol.*, **2020**, 6(444), 15-21. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.93>

20. Ergozhin E.E., Bektenov N.A., SenGupta A.K., Baidullaeva A.K., Sadykov K.A., Abdralieva G.E., Kalmuratova K.M., Ryspaeva S.B. Sorption of ions strontium with new complex - forming ionites on the basis of epoxyacrylates and complexones. *New. Natl. Acad. Sci. RK. Series Chem. Technol.*, **2018**, *1(427)*, 6–11 <http://rmebrk.kz/journals/3927/98263.pdf>

21. Наканиси К. *ИК-спектры и строение органических соединений*. Москва, Мир, **1965**, 216 с. <http://chemteq.ru/library/analytical/0099.html> (дата обращения 05.04.2022)

## References

1. Schwarzenbach R.P., Egli T., Hofstetter T.B., Von Gunten U., Wehrli B. Global Water Pollution and Human Health. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, **2010**, *35 (1)*, 109–136. DOI: 10.1146/annurev-environ-100809-125342

2. Singh A., Sharma R.K., Agrawal M., Marshall F.M. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food Chem. Toxicol.*, **2010**, *48(2)*, 611–619. DOI:10.1016/j.fct.2009.11.041

3. Qi K., Lu N., Zhang S., Wang W., Wang Z., Guan J. Uptake of Pb (II) onto microplastic-associated biofilms in freshwater: Adsorption and combined toxicity in comparison to natural solid substrates. *J. Hazard. Mater.* **2021**, *411*, 125115. DOI:10.1016/j.jhazmat.2021.125115

4. Kambarova Je.A., Gavrilenko M.A., Bektenov N.A. Modificirovannye polijetilenpoliaminom i jepoksidnoj smoloy ceolity dlja izvlechenija ionov svinca iz stochnyh vod. *Bull. Tomsk Polytech. Univ. Geo Assets Eng.*, **2021**, *332(1)*, 7–13. DOI: 10.18799/24131830/2021/1/2994

5. Sathwara N.G., Patel K.G., Vyas J.B., Patel S., Trivedi M.R., Dave L.M., Saiyed H.N. Chromium exposure study in chemical based industry. *J. Exp. Biol.*, **2007**, *28(2)*, 405. [http://jeb.co.in/journal\\_issues/200704\\_apr07\\_supp/paper\\_09.pdf](http://jeb.co.in/journal_issues/200704_apr07_supp/paper_09.pdf)

6. Toropceva A.M., Belogorodskaja K. V., Bondarenko V. M. *Laboratory workshop on chemistry and technology of macromolecular compounds*. Leningrad, Chemistry, **1972**, 416 p. <https://booksee.org/book/578206> (accessed on 05 April 2022).

7. GOST 20255.1-89. Ionites. Method for determining the static exchange capacity. Moscow, IPK Standards Publishing House, **1991**. <https://docs.cntd.ru/document/1200018372>

8. Poljanskij N.G. *Methods for the study of ion exchangers*. Moscow, Chemistry, **1976**, 208 p.

9. Klimova V.A.. *Basic micromethods for the analysis of organic compounds*. Moscow, Chemistry, **1967**, 208 p.

10. Ergozhin, E. E., Bektenov, N. A., Arup K. Sorption of ions strontium with new complex-forming ionites on the basis of epoxyacrylates and complexones. *Bull. Acad. Scien. Kaz. Series chem. technol.*, **2018**, *1(427)*, 6-11. <http://rmebrk.kz/journals/3927/98263.pdf#page=86>

11. Cyganowski P., Dzimitrowicz A.A. Mini-Review on Anion Exchange and Chelating Polymers for Applications in Hydrometallurgy, Environmental Protection, and Biomedicine. *Polymers*, **2020**, *12(784)*, <https://doi.org/10.3390/polym12040784>

12. Shakerian F., Kim K.H., Kwon E., Szulejko J.E., Kumar P., Dadfarnia S., Haji Shabani A.M. Advanced polymeric materials: Synthesis and analytical application of ion imprinted polymers as selective sorbents for solid phase extraction of metal ions. *Trends Anal. Chem.*, **2016**, *(83)*, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.08.001>

13. Mohanty D., Samal S. Selective Removal of Toxic Metals like Copper and Arsenic from Drinking Water Using Phenol-Formaldehyde Type Chelating Resins. *E-J.Chem.*, **2009**, *6(4)*, 1035–1046. <https://doi.org/10.1155/2009/195721>

14. Ripperger K. P., Alexandratos S. D. Polymer-supported phosphorus-containing ligands for selective metal ion complexation. *Stud. Surf. Sci. Catal. – Elsevier*, **1999**, 473–495. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(99\)80370-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(99)80370-X)

15. Miao J., Fang Y., Yang X., Zhu Y., Hu A., Wang G. Fabrication, flame retardancy and physical properties of phosphorus containing porous organic polymers/epoxy resin composites. *Polym. Degrad. Stab.*, **2020**, *176(109159)*. DOI:10.1016/j.polymdegradstab.202

16. Głowińska A., Trochimczuk A. W. Polymer-Supported Phosphoric, Phosphonic and Phosphinic Acids—From Synthesis to Properties and Applications in Separation Processes. *Molecules*, **2020**, *25(18)*, 4236. DOI:10.3390/molecules25184236

17. Botelho Junior A. B., Vicente A.A., Espinosa D.C.R., Tenório J.A.S. Recovery of metals by ion exchange process using chelating resin and sodium dithionite. *J. Mater. Res. Technol.*, **2019**, *8(5)*, 4464–4469. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.059>

---

18. Institut de chimie séparative de Marcoule. Design of Ion-Exchange Resins Through EDTA and DTPA Modified Ligands. *In E3S Web of Conferences*, **2013**, (1), 41021. EDP Sciences.

19. Ybraimzhanova L.K., Bektenov N.A., Sadykov K.A. Synthesis of new ion exchange materials on the base of epoxyacrylates. *New. Natl. Acad. Sci. RK. Series Chem. Technol.*, **2020**, 6(444), 15-21. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.93>

20. Ergozhin E.E., Bektenov NA., SenGupta A.K., Baidullaeva A.K., Sadykov K.A., Abdralieva G.E., Kalmuratova K.M., Ryspaeva S.B. Sorption of ions strontium with new complex - forming ionites on the basis of epoxyacrylates and complexones. *New. Natl. Acad. Sci. RK. Series Chem. Technol.*, **2018**, 1(427), 6–11 <http://rmebrk.kz/journals/3927/98263.pdf>

21. Nakanisi K. *IR spectra and structure of organic compounds*. Moscow, Mir, **1965**, 216 p. <http://chemteq.ru/library/analytical/0099.html> (accessed on 05 April 2022).