

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY

ISSN 2224-5286

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.93>

Volume 6, Number 444 (2020), 15 – 21

UDC 541.163.+547.554

L.K. Ybraimzhanova<sup>1</sup>, N.A. Bektenov<sup>2</sup>, K.A. Sadykov<sup>3</sup><sup>1</sup>M.Kh. Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan;<sup>2</sup>Kazakh national pedagogical university after Abai, Almaty, Kazakhstan;<sup>3</sup>«Institute of Chemical Sciences named after A.B. Bekturov» JSC, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kanat.sadykov.80@bk.ru; ybraimzhanova@mail.ru

**SYNTHESIS OF NEW ION EXCHANGE MATERIALS  
ON THE BASE OF EPOXYACRYLATES**

**Abstract.** The article studies the properties of obtaining anionite based on a triple copolymer of glycidylmethacrylate, styrene and Acrylonitrile and its suction of strontium ions. The composition and structure of the obtained anion was determined by infrared spectroscopy, were also studied basic physicochemical properties of the resulting anion.

Anionite, presented on the basis of GMA-ST-ACN, is promising in the field of ion exchange process and is used for the extraction of strontium ions from aqueous solutions in the field of hydrometallurgy.

The work is devoted to a review of the preparation of cross-linked polyelectrolytes, the extraction of strontium (II) ions using anionites. The possibilities of obtaining new nitrogen-containing anion exchangers based on a copolymer of glycidyl methacrylate (GMA), styrene (St) and acrylonitrile (ACN) have been studied. The optimal synthesis conditions were found and the physicochemical properties of the ion exchanger were investigated. Methods for the preparation of new anionites based on a copolymer of glycidyl methacrylate (GMA) with polyethylene polyimines (PEI) have been developed.

**Keywords:** glycidyl methacrylate, styrene, Acrylonitrile, polyethylenimine, polyethylene polyamine, heavy metals, strontium (II), ion exchange resins, sorption.

**Introduction.** Ion-exchange resins are widely used in various fields of human activity. They are used for softening and desalting water in the heat power industry, for treatment of waste and return water, for separation and removal of metal particles in hydrometallurgy, for cleaning substances in the chemical industry, for the regeneration of waste metal processing and electroplating. Therefore, the development of effective methods for obtaining new ion exchangers with improved kinetic, ion exchange, complex-forming properties, increased thermal and chemical resistance, as well as mechanical strength remains an urgent problem. In the case of using ion exchangers for special purposes, their ability to sorb substances with a relatively high molecular weight plays an important role [1]. The most well-known ion exchangers are usually prepared on the basis of styrene and divinylbenzene copolymers. The ability to control the amount of divinyl compound in the initial mixture of monomers during copolymerization and, most importantly, the availability of the resulting copolymers for various polymeranalogical transformations opens up great prospects [2].

In the process of polycondensation of SPL GMA with vinyloxyethylmethacrylate with various polyamines (polyethylenimine, polyethylene polyamine) and acids (concentrated sulfuric, phosphoric and thiodiglicolic acid solution) and subsequent curing, cross-linked anionites and cationites with high exchange capacity and physical and chemical parameters were obtained [3].

The scientific novelty of the article is that the proposed cross-linked anionites (GMA-ST-ACN) can become the first promising anionites in the field of ion exchange process that will be used in the hydrometallurgy of heavy metals [4].

A sulfur - and phosphorus-containing cationite was obtained based on a double copolymer of glycidyl methacrylate  $\alpha$  - phenylvinylphosphonic acid and 96% sulfuric acid. This polymer has a high static

exchange capacity of 0.1 n NaOH solution, equal to 8.35 mg-EQ/g, thermal stability, increased chemical, and sorption capacity for cobalt and copper ions 49. It can be used in hydrometallurgy as a sorbent for extracting transition metal ions.

An effective method for producing highly permeable ion exchangers with the preservation of the pyridine nitrogen atom in the interaction of glycidyl methacrylate with polyvinylpyrrolidone and its nitrogen-containing copolymers has been developed. Optimal synthesis conditions were determined, and the physic-chemical and sorption properties of the resulting polymers were studied [5].

Glycidyl methacrylate (GMA), whose structural features make it possible to obtain reactive compounds containing side epoxy groups and multiple double bonds, is a promising monomer for the synthesis of various Homo- and copolymers. They have long been successfully used for the synthesis of ion exchange materials for a wide range of purposes [6].

Grafted GMA copolymers can be obtained by combining side epoxigrups of the GMA-MMA copolymer obtained by anionic copolymerization with another "live" macroanion, such as "live" polystyrene or polyisoprene at 30°C in tetrahydrofuran. The polydispersity of the resulting grafted copolymer depends on the nature of the solvent in which the polystyrene and poly isoprene macroanions were obtained. Method preparative gas chromatography (GPC) it is shown that the combination takes place exclusively on epoxypropan without the participation of the carbonyl groups.

The results of quantum chemical studies of the electronic structure of the macromolecule GMA-ST-MA and GMA-ST-MA-H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> [7] are presented.

**Experimental.** *Synthesis of the glycidyl methacrylate copolymer with styrene and Acrylonitrile.* The synthesis of the glycidyl methacrylate copolymer with methyl methacrylate and Acrylonitrile was performed by a radical method in a dioxane solution. Homo- and copolymers of GMA were synthesized by radical polymerization in a solvent (acetone, dioxane) in the presence of a DAA initiator of a concentration of  $5 \cdot 10^{-3}$  mol / l at a temperature of 90°C in sealed molybdenum glass ampoules in an atmosphere of inert argon gas. Soluble polymers were purified by double precipitation from acetone to sulfur ether. Cross-linked copolymers (GMA-ST-ACN) were washed from unreacted monomers in 1,4-dioxane. Samples were dried at room temperature in a vacuum-drying cabinet to a constant mass.

*Methods of synthesis of anion exchangers and cation exchangers.* Condensation of linear and cross-linked GMA copolymers with polyamines (PEI, PEPA) and acids (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (75 %), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (ml)) was performed in an environment of organic solvents. In a three-neck flask equipped with a mechanical stirrer, a thermometer and a drop funnel, an amine suspension was loaded or acid was added and a copolymer solution was gradually dug in an organic solvent [9]. With intensive stirring, the mixture was heated to 30°C (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (75%), H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (ml)), 80 °C (PEI, PEP) and after the formation of the gel was unloaded into a porcelain cup, cured for a day at (60-120)°C, crushed, sieved, selecting a fraction with a granule size (0.25-1.00) mm. the Ionites were repeatedly washed with a solvent, extracted in the Soxhlet apparatus with methyl alcohol for removing unreacted substances, dried to a constant weight under vacuum at (25-30)°C.

**Results and Discussion.** Cations and anions on the basis of various copolymers of epoxyacrylate. Synthetic sorbents, especially selective chelating ionites, attract increasing attention when solving important environmental and technological problems. In the conditions of increasing technological prospects of synthetic ionites, it is very important to expand their range and study their properties. An important task facing the researchers is to create new promising monomers with different chelating groups, linear and cross-linked highly permeable polymer ion exchangers, selective phosphorus- and sulfur-containing ionites, strong and weak acid cation exchangers, anionites, amphoteric, optically active and organo - mineral polyelectrolytes, characterized by high ion exchange rates, thermal and radiation stability, and mechanical strength. Due to the presence of reactive functional groups in the molecule, epoxyacrylates are not only available monomers, but also quite promising [10].

Study of the structure of model epoxy-containing molecular systems by IR spectroscopy. Known polyelectrolytes of gel structure do not solve the problem of sorption of large metal ions and organic compounds. Weakly cross-linked strongly swollen samples have low mechanical characteristics, while macroporous samples [11] are permeable only for ions of limited size in the macropore region, and not for all active groups of the sorbent.

One way to solve this problem is to obtain copolymers with long-chain crosslinking agents. The use of di- and polyvinyl compounds with different distances between multiple bonds makes it possible to

regulate the degree of crosslinking of macromolecules during copolymerization [12] and to obtain on their basis mechanically strong and osmotically stable macro-mesh ionites with the necessary size of the spatial grid [13].

Copolymers of GMA-ST-ACN were synthesized by radical polymerization in solution at the ratio of initial monomers [GMA]: [ST]:[ACN]= 60: 20: 20 mol.%.

The structure of the obtained triple copolymers GMA-ST-ACN was determined by IR spectroscopy (figure 1). The absorption frequencies in the copolymer spectra are assigned based on the IR spectra of the original monomers.

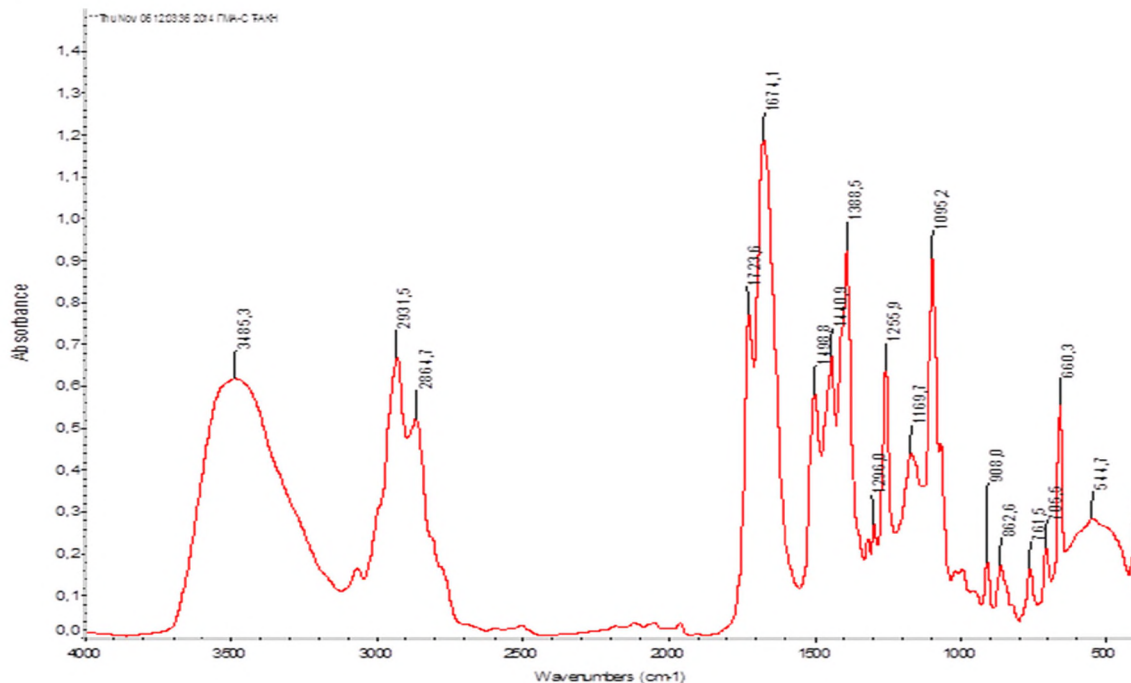


Figure 1 - The IR spectrum of the copolymer of GMA-ST-ACN

Studies of IR spectra of GMA-ST-ACN copolymers have helped to establish that the absorption bands of asymmetric and symmetric valence oscillations of C-O, C-C, C-H bonds of the epoxy cycle are observed at 908.0; 862.6; 761.5 and 705.5  $\text{cm}^{-1}$ . The absorption frequency at 1674  $\text{cm}^{-1}$  refers to the valence oscillations of the double bond. In the spectrum of the latter, as well as in the spectrum of its analog-isopropyl ether, a triplet structure is manifested in the region of 1169.3  $\text{cm}^{-1}$ .

According to IR spectroscopy data, the elementary repeating link of GMA-ST-ACN copolymers is schematically represented (figure 2) can be represented as follows:

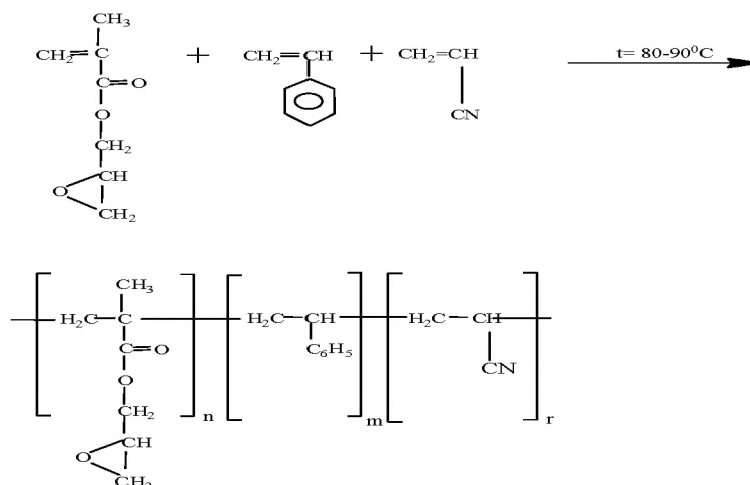


Figure 2 - The structural formula of the copolymer of GMA-ST-ACN

Based on these compounds, methods for the synthesis of highly permeable ion exchangers with improved kinetic characteristics have been developed [14].

*Sorption of strontium ions* by anion exchanger based on a copolymer of GMA-ST-ACN: PEI. The problem of creating new high-performance sorbents for wastewater treatment and extraction of mercury ions, polyvalent and transition metals in hydrometallurgy, medicine, food industry, water treatment, for sorption and concentration of isotopes, as well as for solving problems of oil spills on the water surface, integrated use of natural and energy-saving resources and environmental protection in the Republic of Kazakhstan remains relevant [15].

In non-ferrous metallurgy and metal processing enterprises, waste water contaminated with heavy metal salts is generated in technological processes, which have a very harmful effect on the ecosystem. In this regard, the study of sorption properties in relation to heavy metal ions of new ionites is of scientific and practical interest [16].

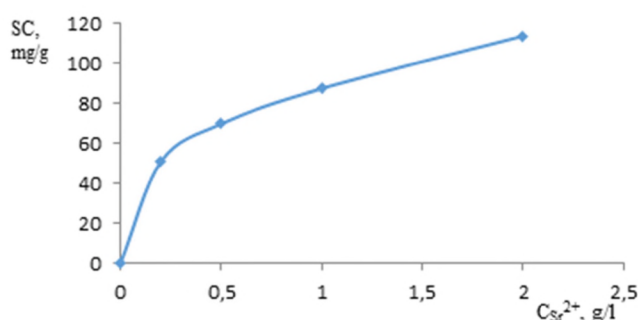


Figure 3 - Isotherms of  $Sr^{2+}$  ion sorption by GMA-ST-ACN anionite: PEI contact duration 7 days

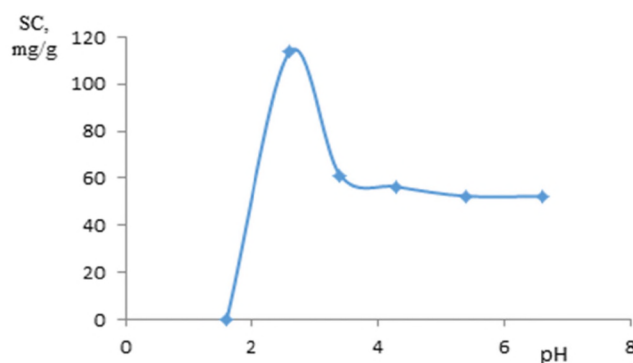


Figure 4 - Dependence of  $Sr^{2+}$  ion sorption by GMA-St-ACN anionite: PEI on the pH of  $SrCl_2$  solutions (continued. Cohn. 7 days.)

The study of the effect of the pH of the solution on the sorption of the Sr (II) ion, anionite is of great importance. It was found that anionites based on the GMA-St-ACN-PEI copolymer quantitatively extract Sr (II) ions in acidic media at pH 5 (figure 4). Thus, we can say that the resulting sorbent in acidic environments well forms complex compounds.

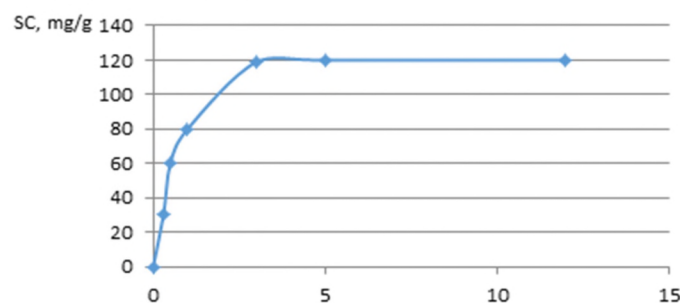


Figure 5 - Kinetic curves of strontium ion sorption with GMA-St-ACN anionite: PEI from  $SrCl_2$  solutions ( $C=2.0 g / l$ ,  $pH= 2.6$ )

From figure 5, which shows the dependence of the CE anionite GMA-St-ACN-PEI on the time of its contact with the SrCl<sub>2</sub> solution (C=2.0 g / l, pH= 2.6), it follows that the equilibrium is established in 2.5 hours. Therefore, this ion exchanger has high kinetic properties.

**Conclusions.** This article is devoted to the development of available methods for obtaining new anionites based on triple (GMA-ST-ACN) glycidyl methacrylate copolymers, establishing optimal conditions for their synthesis, and investigating their physical, chemical, and sorption characteristics.

Methods for the synthesis of new highly permeable anionites based on the GMA-ST-ACN copolymer have been developed, optimal synthesis conditions have been found, and their physicochemical and sorption properties with respect to strontium ions have been studied.

It was found that they differ in high values of exchange capacities, increased chemical and thermal stability, and improved sorption capacity in relation to heavy (Sr<sup>2+</sup>) metal ions.

Л.К. Ыбраймжанова<sup>1</sup>, Н.Ә. Бектенов<sup>2</sup>, Қ.Ә. Садықов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз, Қазақстан;

<sup>2</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup>«Ө.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

### ЭПОКСИАКРИЛАТ НЕГІЗІНДЕ ЖАҢА ИОНАЛМАСТЫРУШЫ МАТЕРИАЛДАРДЫ СИНТЕЗДЕУ

**Аннотация.** Мақалада үштік сополимер глицидилметакрилат, стирол және акрилонитрил негізінде анионит алу және оның стронций иондарын сорып алу қасиеттері қарастырылған. Аниониттің құрамы және құрылымы ИҚ-спектроскопия және элементтік анализ әдістерімен анықталды, физико-химиялық қасиеттері зерттелді және синтездің оптималды жағдайлары анықталды.

ГМА-СТ-АКН негізінде ұсынылған анионит ионалмастыру процесі аймағында перспективті болып саналады және гидрометаллургия саласында сулы ерітіндіден стронций иондарын бөліп алуда қолданылады.

Жалпы стронций элементі қоршаған ортаны ластаудың негізгі көзі болып есептеледі, көп жағдайда ядролық қару жасау мен атом өнеркәсібінің жұмыстарымен тығыз байланысты. Тірі организмдердегі стронций иондарының шамадан тыс мөлшері тірі ағза үшін өте қауіпті және көптеген ауруға ұшыратады. Ол туралы авторлар басқа мақаласында толығырақ тоқталған [1].

Органикалық және бейорганикалық қосылыстардың күрделі молекулаларын бөлуге, бөліп алуға және тазартуға байланысты ион алмасу процестері үлкен иондар мен молекулаларды сіңіруге қабілетті сорбенттер жасауды қажет етеді. Сондықтан жоғары өткізгішті ион алмастырғыштарды қолдану аталған мәселені тиімді шешудің алғышарттары болып саналады. Сонымен қатар, мұндай сорбенттер бірқатар экологиялық мәселелерді шешіп, сол арқылы ресурстарды үнемдейтін технологияларды құруға мүмкіндік береді. Бұл сорбенттерді өндірудің тиімді әдістерін әзірлеуге және олардың қасиеттерін зерттеуге, өндіріс технологиясын жетілдіруге және олардың ассортиментін кеңейтетін зерттеулерді жүргізуге қызығушылық тудырады.

Ион алмастырғыштар қалдықсыз экологиялық таза өндіріс схемасын жасауда қажетті компоненттердің бірі болып саналады. Осы мақсатта гелдік және макро торлық құрылым сорбенттерін қолдану әрдайым мүмкін емес, өйткені олар реактивті ортаға сәйкес келмейді, яғни регенерация процесінің қиындығына байланысты агрессивті ерітінділерге тұрақсыз, жеткілікті өткізгіштігі жоқ, ал кейбіреулері химиялық, термиялық ортада тұрақсыз болып келеді.

Соңғы уақытта зерттеушілер қызығушылығы жоғары селективті болып келетін металдың ішкі комплексті қосылыстар түзе алатын полиамин құрамы бар иониттерге артуда.

Полиэлектролиттерді алудың әдістері көпсатылы, олар катализатор ретінде қолжетімділігі аз және қымбат қосылыстарды, күрделі аппараттық дизайнды қажет етеді. Осыған байланысты кинетикалық және физика-химиялық қасиеттері жақсартылған ион алмастырғыштарды синтездеудің перспективалық әдіс жасауға көбірек көңіл бөлінуде.

Зерттеуді тұжырымдау қажеттілігі иониттердің өнеркәсіптік маркаларының үлкен ассортиментіне қарамастан, олардың көпшілігінде пайдалану мүмкіндіктерін шектейтін бірқатар кемшіліктер бар екендігіне байланысты. Сондықтан физика-химиялық және сорбциялық сипаттамалары жақсартылған полифункционалды жоғары өткізгіш иониттерді құрудың бастапқы мономерлері мен перспективалық жолдарын іздеу өзекті мәселе болып саналады. Мақала аталған мәселені шешуге арналған.

Жұмыс тігілген полиэлектролит пен аниониттерді қолдану арқылы стронций (II) иондарын алуға арналған. Құрамында азот кездесетін жаңа аниониттерді глицидилметакрилат (ГМА), стирол (Ст) және акрилонитрил (АКН) сополимері негізінде алу жолдары зерттелді. Синтездің оңтайлы шарттары анықталды



және иониттің физика-химиялық қасиеттері қарастырылды. Полиэтиленполииминдермен (PEI) глицидилметакрилат (ГМА) сополимері негізінде жаңа аниониттер алу әдістері әзірленді.

Ғылыми-тәжірибелік жұмыстың нәтижесінде гидрометаллургия саласында практикалық тұрғыда қолдану үшін жақсартылған физика-химиялық сипаттамалары бар және жоғарыдағы қатаң талаптарға жауап беретін эпоксиакрилаттардың сополимерлері негізінде аниониттер алуды қамтамасыз етуге болады.

**Түйін сөздер:** глицидилметакрилат, стирол, акрилонитрил, полиэтиленимин, полиэтиленполиамин, ауыр металдар, стронций (II), ионалмастырғыш шайырлар, сорбция, анионит.

**Л.К. Ыбраймжанова<sup>1</sup>, Н.А. Бектенов<sup>2</sup>, К.А. Садықов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан;

### **СИНТЕЗ НОВЫХ ИОНООБМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИАКРИЛАТОВ**

**Аннотация.** В статье изучены свойства получения анионита на основе тройного сополимера глицидилметакрилата, стирола и акрилонитрила и его отсасывания ионов стронция. Состав и структура анионита определены методами ИК-спектроскопии и элементного анализа, изучены физико-химические свойства и определены оптимальные условия синтеза. Анионит, представленный на основе ГМА-СТ-АКН, является перспективным в области ионообменного процесса и используется для извлечения ионов стронция из водных растворов в области гидрометаллургии. В общем, стронций является основным источником загрязнения окружающей среды, во многом неразрывно связан с созданием ядерного оружия и работой атомной промышленности. Чрезмерное содержание ионов стронция в живых организмах очень опасно для живого организма и приводит к многочисленным заболеваниям. Об этом авторы подробно остановятся в следующей статье [1].

Ионообменные процессы, связанные с разделением, выделением и очисткой сложных молекул органических и неорганических соединений, требуют создания сорбентов, способных поглощать большие ионы и молекулы. Поэтому применение высокочастотных ионообменных устройств является предпосылкой для эффективного решения этой проблемы. Кроме того, такие сорбенты позволят решить ряд экологических проблем и создать на их основе ресурсосберегающие технологии. Это, в свою очередь, вызывает интерес к разработке эффективных методов производства таких сорбентов и изучению их свойств, проведению исследований, предусматривающих совершенствование технологии производства и расширение их ассортимента.

Ионообменники являются одной из наиболее необходимых компонентов при разработке безотходной экологически чистой схемы производства. Для этой цели использование сорбентов гелевой и макропористой структуры не всегда возможно, так как они несовместимы с реагирующей средой, т.е. неустойчивы к агрессивным растворам, недостаточно проницаемы, а некоторые являются нестабильными в химической, термической среде, а также связаны с трудностями процесса регенерации.

В последнее время все большее внимание исследователей привлекают полиаминосодержащие иониты, способные образовывать с целым рядом металлов внутрикомплексные соединения, вследствие их высокой селективности.

Наиболее известные способы получения полиэлектролитов являются многостадийными, требующими использования в качестве катализаторов малодоступных и дорогостоящих соединений, сложного аппаратного оформления. В связи с этим большое внимание уделяется разработке перспективных методов синтеза ионообменников с улучшенными кинетическими и физико-химическими свойствами.

Необходимость постановки исследования вызвана тем, что, несмотря на большой ассортимент промышленных марок ионитов, многие из них обладают рядом существенных недостатков, которые ограничивают возможности их использования. Поэтому поиск исходных мономеров и перспективных путей создания полифункциональных высокопроницаемых ионитов с улучшенными физико-химическими и сорбционными характеристиками является актуальной задачей. Решению этой задачи и посвящена настоящая статья.

Работа посвящена обзору получения сшитых полиэлектролитов, извлечения ионов стронция (II) с использованием анионитов. Изучены возможности получения новых азотсодержащих анионитов на основе сополимера глицидилметакрилата (ГМА), стирола (Ст) и акрилонитрила (АКН). Найдены оптимальные условия синтеза и исследованы физико-химические свойства ионита. Разработаны методы получения новых анионитов на основе сополимера глицидилметакрилата (ГМА) с полиэтиленполииминам (PEI).

В результате научно-экспериментальной работы можно обеспечивать получение анионитов на основе сополимеров эпоксиакрилатов с улучшенными физико-химическими характеристиками для практического применения в области гидрометаллургии.

**Ключевые слова:** глицидилметакрилат, стирол, акрилонитрил, полиэтиленмин, полиэтиленполиамин, тяжелые металлы, стронций (II), ионообменные смолы, сорбция.

#### Information about authors:

Ybraimzhanova L.K., doctoral student, M.Kh. Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0002-2241-6192>. [ybraimzhanova@mail.ru](mailto:ybraimzhanova@mail.ru);

Bektenov N.A., d.ch.s., professor, Kazakh national pedagogical university after Abai, Almaty, Kazakhstan; <https://orcid.org/0000-0003-1427-438X>. [bekten\\_1954@mail.ru](mailto:bekten_1954@mail.ru);

Sadykov K.A., Researcher of JSC "Institute of Chemical Sciences named after A. B. Bekturov", Almaty, Kazakhstan <https://orcid.org/0000-0002-8931-7973> [kanat.sadykov.80@bk.ru](mailto:kanat.sadykov.80@bk.ru)

#### REFERENCES

- [1] Ergozhin E.E., Bektenov N.A., Arup K. et al. Sorption of ions strontium with new complex - forming ionites on the basis of epoxyacrylates and complexones // Bulletin of the Academy of Sciences of the Kazakh Series chemistry and technology. 2018, V. 1, No. (427). S. 6-11.
- [2] Troshkina I. D., Obruchnikova I.A., Pestov S.M. (2017). Sorbtsiya metallov materialami s podvizhnoy fazoy ekstragentov [Sorption of metals with materials of mobile extractants]. Russ. Chem. J., T. LXI., 4, 54-65.
- [3] Ergozhin E.E., Bektenov N.A., Akimbayeva A.M. (2004). Polielektrolity na osnove glitsidilmetakrilata i yego sopolimerov [Polyelectrolytes based on glycidyl methacrylate and its copolymers]. Almaty: [in Russian].
- [4] Chopabayeva N.N., Chopabayeva N.N., Ergozhin E.E. (2004) Ionoobmenniki s reguliruyemoy pronitsayemost'yu na osnove gomo- i sopolimerov glitsidilmetakrilata [Permeability controlled ion exchangers based on glycidyl methacrylate homo- and copolymers]. Him. zhurn. Kazakhstan, 2, 100-124. [in Russian].
- [5] Bektenov N.A., Ybraimzhanova L.K. (2019). Synthesis of ion-exchange resin and their application. Bulletin of the Kazakh national pedagogical university after Abai. «Natural-geographical sciences» series. Almaty, Kazakhstan, 1, 46-51.
- [6] Akimbayeva A.M., Bektenov N.A., Ergozhin E.E. (2002) Novye ionoobmennye materialy na osnove epoksimetakrilatov [New ion exchange materials based on epoxymethacrylates]. Plastmassy, 7, 29-31. [in Russian].
- [7] Ergozhin E.E., Bektenov N.A., Chopabayeva N.N., Mekebayeva A.K. (2004). Innovatsionnei patent RK, (19) KZ (13) A (11) 16823, № 16823 [in Russian].
- [8] Ergozhin E.E., Imanbekov K.I. (2006). Ionoobmenniki na osnove gomo- i sopolimerov viniloksietilamina i glitsidilmetakrilata [Ion exchangers based on homo- and copolymers of vinyloxyethylamine and glycidyl methacrylate]. Zhurnal prikladnoy himii, T.79, 5, 744-746 [in Russian].
- [9] Ergozhin E.E. (2005) Osnovnye etapy razvitiya nauchnyh issledovaniy v oblasti himicheskogo ionnogo obmena i membrannoy tehnologii [The main stages of development of scientific research in the field of ion exchange chemistry and membrane technology]. Him. zhurn. Kazakhstana, 4, 21-45 [in Russian].
- [10] Bektenov N.A. (2007) Selektivnye polifunktsional'nye ionoobmenniki na osnove gomo- i sopolimerov GMA: sintez, svoystva i primeneniye [Selective multifunctional ion exchangers based on homo- and copolymers of GMA: synthesis, properties and applications]. A.: [in Russian].
- [11] Ergozhin E.E., Bektenov N.A. (2019). Époksiakrilát sopolímeri negizindegi kompleks tüzgiş ionalmastırғыштар [Complex ion exchangers based on epoxyacrylate copolymer]. Almaty: [in Kazakh].
- [12] Ruckenstein, E., Ruckenstein, E., Zhang H. (1999). Grafting by in situ coupling of epoxy groups of a living copolymer with an anionic living polymer. J. Polym. Sci. A. Vol. 37, 1, 105 – 112.
- [13] Bektenov N.A. (2008) Kvantovo-himicheskie raschety elektronnoy stroeniya dvoynyh i troynyh sopolimerov 2,3-epoksiopropilmetakrilata i produktov ego vzaimodeystviya [Quantum-chemical calculations of the electronic structure of binary and ternary copolymers of 2,3-epoxypropylmethacrylate and its interaction products], Him.zhurn. Kazakhstana. 1, 158-166 [in Russian].
- [14] Vetyutneva Yu.V., Novakov I.A., Bakhtina G.D. (2009). Sintez fosforsoderzhashchikh metakrilatov vzaimodeystviyem khlorangidridov kislot fosfora s glitsidilmetakrilatom [Synthesis of phosphorus-containing methacrylates by the interaction of phosphorus acid chlorides with glycidyl methacrylate]. Izvestiya Volgogradskogo Gos.Tekhn.Univ-ta, T. 2, 6, 83-87 [in Russian].
- [15] Hasanov A.I. & Garipov R.M. (2011) Vliyaniye sposoba provedeniya reaktsii sopolimerizatsii epoksid soderzhashchih akrilovykh monomerov na svoystva sopolimerov [The effect of the copolymerization reaction method] Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Univ-ta. 14, 190-193 [in Russian].
- [16] Dinissen A.M., & Tashkinova Yu.V. (2008) Vodnye epoksidnye svyazuyushchiye sistemy. Lakokrasochnye materialy i ih primeneniye [Water Based Epoxy Binder System]. 2, 58-62 [in Russian].