

ХІМІЯ ВЫСОКАМАЛЕКУЛЯРНЫХ ЗЛУЧЭННЯЎ
CHEMISTRY OF HIGH MOLECULAR COMPOUNDS

УДК 541.183.546.571
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-206-211>

Поступила в редакцию 20.01.2020
Received 20.01.2020

В. И. Грачек, А. А. Шункевич, А. П. Поликарпов, О. И. Исакович

Институт физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НОВОГО ВОЛОКНИСТОГО ХЕЛАТНОГО ИОНИТА

Аннотация. Исследованы сорбционные свойства нового иминодиацетатного волокнистого катионита ФИБАН ХС-1, синтезированного на химически стойкой матрице волокна полипропилена с привитым сополимером стирола и дивинилбензола, которая выдерживает повышенные температуры и агрессивные среды. Показано, что волокнистый хелатный ионит ФИБАН ХС-1 является эффективным сорбентом тяжелых и цветных металлов из многоионных водных растворов в статических и динамических условиях. Установлено, что катионит работает при больших скоростях до 20 колоночных объемов/мин при очистке воды от ионов меди и свинца (82 %-ная очистка по Cu^{2+} и 65 %-ная очистка по Pb^{2+}). Найдено, что волокнистый хелатный ионит ФИБАН ХС-1 легко регенерируется и не теряет свои сорбционные и механические свойства в циклах сорбция–регенерация.

Ключевые слова: волокнистый хелатный ионит, сорбция, очистка

Для цитирования: Сорбционные свойства нового волокнистого хелатного ионита ФИБАН ХС-1 / В. И. Грачек [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 206–211. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-206-211>

V. I. Grachek, A. A. Shunkevich, A. P. Polikarpov, O. I. Isakovich

Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

SORPTION PROPERTIES OF NEW FIBROUS CHELATE ION EXCHANGER

Abstract. The sorption properties of new iminodiacetate fibrous cation exchanger FIBAN XC-1 synthesized on a chemically resistant matrix of polypropylene fiber with a grafted copolymer of styrene and divinylbenzene, which can withstand elevated temperatures and aggressive environments, were studied. It was shown that the fibrous chelate ion exchanger FIBAN XC-1 is an effective sorbent of heavy and non-ferrous metals from multi-ionic aqueous solutions under static and dynamic conditions. It was found that the cation exchanger operates at high speeds up to 20 column volumes / min in water purification from copper and lead ions (purification from Cu^{2+} – 82 % and purification from Pb^{2+} – 65 %). It was found that the fibrous chelate ion exchanger FIBAN XC-1 is easily regenerated and does not lose its sorption and mechanical properties in the sorption–regeneration cycles.

Keywords: fibrous chelate ion exchanger, sorption, purification

For citation. Grachek V. I., Shunkevich A. A., Polikarpov A. P., Isakovich O. I. Sorption properties of new fibrous chelate ion exchanger. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2020, vol. 56, no. 2, pp. 206–211 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-206-211>

Введение. Стремление синтезировать иониты, обладающие повышенной селективностью к отдельным ионам, привело к появлению ряда полимерных сорбентов, содержащих специфические группировки атомов. Эти ионообменные сорбенты используют для удаления следов комплексообразующих металлов из органических растворителей, из воды и водных растворов солей самых разнообразных металлов [1, 2]. В настоящее время существенно расширился ассортимент комплексообразующих сорбентов, что связано с разработкой методов синтеза, позволяющих вводить в полимерную матрицу разнообразные высокоселективные группы, способные к образованию прочных комплексов с ионами металлов [3–6]. Волокнистые комплексообразующие сорбен-

ты благодаря существенным преимуществам перед гранульными нашли широкое применение для концентрирования микроэлементов в аналитической практике [7–9]. В последние годы предложено много методик определения различных элементов, включающих предварительное их концентрирование с помощью волокнистых сорбентов [10–14].

Цель настоящей работы – исследовать сорбционные свойства нового иминодиацетатного волокнистого катионита ФИБАН ХС-1 по катионам тяжелых и цветных металлов.

Экспериментальная часть. Механические свойства оценивали по величинам разрывной нагрузки (F , сН) и разрывного удлинения (l , мм) одиночных моноволокон, определенным на электронной разрывной машине FM-27. Для исследования отбирали 30–50 одиночных волокон. Измерение проводили при температуре 20 ± 2 °С. Массу предварительной нагрузки выбирали из расчета 0,5 сН на 1 текс, расстояние между зажимными винтами составляло 10 мм. Диаметр волокон измеряли с помощью микроскопа МБР-1, снабженного окулярным винтовым микрометром МОВ-1-15х.

Прочность на разрыв (σ , МПа) рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \frac{4F10^4}{\pi d^2},$$

где F – величина разрывной нагрузки, сН, d – диаметр моноволокна, мкм.

Относительное удлинение при разрыве (ε , %) получали при умножении величины разрывного удлинения на 10:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} 100,$$

где l – конечная длина волокна при разрыве, мм; l_0 – исходная длина волокна.

Коэффициенты распределения металлов D между ионитом и раствором рассчитывали по формуле:

$$D = \frac{(C_0 - C_p)V}{g_0 C_p},$$

где C_0 – концентрация исходного раствора, ммоль/л, C_p – концентрация равновесного раствора, ммоль/л, V – объем раствора, мл, g_0 – масса сухой навески ионита, г.

Изотермы сорбции ионов металлов получены в статических условиях при 20 °С на смешанной Na^+ -, H^+ -форме ионита из растворов CuCl_2 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, NiCl_2 в присутствии 0,1 М NaCl при значении рН раствора 5–5,5. Перед опытом волокнистый сорбент приводили в равновесие с 0,1 М NaCl раствором при рН 5–5,5, затем волокно отжимали и высушивали. Навески ионита помещали в конические колбы и заливали 0,1 М раствором NaCl после этого вводили порции раствора металла (концентрации металлов изменялись от 0,2 до 2 моль/л). Общий объем раствора составлял 50 мл. Сорбированные количества металлов определяли по разности исходных и равновесных концентраций в растворе.

Сорбционную активность ФИБАН ХС-1 в динамических условиях изучали из многоионного модельного раствора, содержащего соли металлов: CuCl_2 , NiCl_2 , CoCl_2 , ZnCl_2 , CdCl_2 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ в концентрации 2–10 ммоль/л на фоне 2 ммоль/л CaCl_2 . До начала сорбции ионит переводили в Na^+ -, H^+ -форму ацетатным буферным раствором, рН 6. Многоионный модельный раствор пропускали через колонки с высотой слоя ионита 30 мм, диаметром 12,5 мм, объемной плотностью 0,16–0,23 г/см³ при скорости потока 10 см/мин. Концентрацию ионов анализировали атомно-адсорбционным методом на спектрометре с индуктивно связанной плазмой.

Сорбцию ионов меди и свинца проводили из водопроводной воды при концентрациях меди в воде 0,06 мг/л, свинца – 0,1 мг/л. Ионит предварительно приводили в равновесие водопроводной водой до рН 8–8,2. Время контакта сорбента с потоком воды изменялось от 30 до 1,5 с, масса ионита – 0,44 г, объем колонки – 2,44 см, плотность набивки – 0,18 г/см.

Результаты и их обсуждение. В предыдущей работе [15] описано получение и доказательство структуры методом ИК спектроскопии нового хелатного волокнистого ионита ФИБАН ХС-1. Матрицей для получения ионита является волокно полипропилена с привитым сополимером

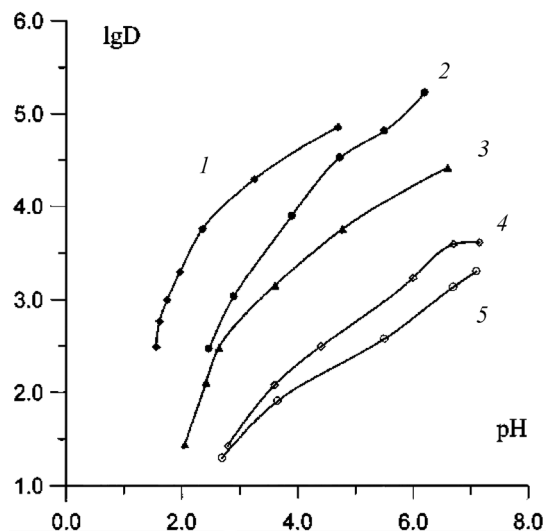


Рис. 1. Зависимость коэффициентов распределения D между ионитом и раствором от pH: 1 – Cu^{2+} , 2 – Pb^{2+} , 3 – Ni^{2+} , 4 – Cd^{2+} , 5 – Mn^{2+}

Fig. 1. The dependence of the distribution coefficients D between the ion exchanger and the solution on pH: 1 – Cu^{2+} , 2 – Pb^{2+} , 3 – Ni^{2+} , 4 – Cd^{2+} , 5 – Mn^{2+}

Испытания показали, что все исследуемые металлы образуют устойчивые комплексы с катионитом ФИБАН ХС-1 в области pH от 4 до 6,0. Более детально изучена сорбция меди, свинца и никеля. На рис. 2 приведены изотермы сорбции на катионите ФИБАН ХС-1. Анализ полученных изотерм показывает, что сорбционная емкость катионита по отношению к ионам исследуемых металлов убывает в следующем ряду: $\text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Ni}^{2+}$. С увеличением концентрации сорбционная емкость по ионам металлов возрастает. Анализ сорбционных кривых позволяет сделать вывод, что ФИБАН ХС-1 количественно извлекает ионы металлов в широком интервале концентраций. Из полученных данных следует, что катионит ФИБАН ХС-1 может быть использован для концентрирования и извлечения ионов тяжелых и цветных металлов.

Исследования катионита ФИБАН ХС-1 в динамических условиях представлены на рис. 3. Ряд избирательности ионов в динамическом режиме в выбранных условиях для ФИБАН ХС-1 имеет следующий вид: $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Co}^{2+}$. Из рис. 3 видно, что сорбент ФИБАН ХС-1 в динамических условиях, в отличие от сорбции в статических условиях, сорбирует ионы кадмия лучше, чем ионы никеля.

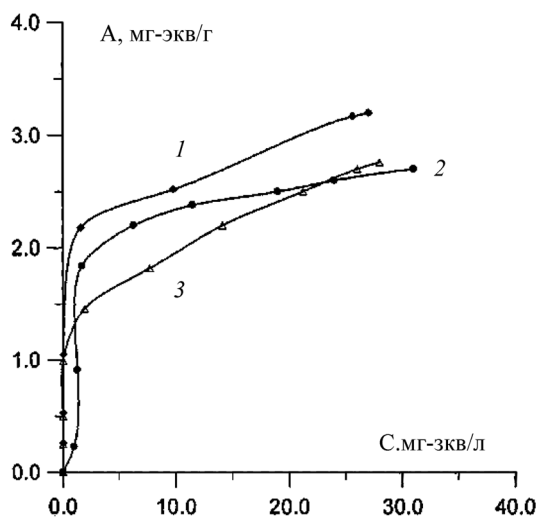


Рис. 2. Изотермы сорбции: 1 – Cu^{2+} , 2 – Pb^{2+} , 3 – Ni^{2+}

Fig. 2. Sorption isotherms: 1 – Cu^{2+} , 2 – Pb^{2+} , 3 – Ni^{2+}

стирола и дивинилбензола, а также проведено изучение только зависимости сорбции катионов металлов от pH раствора в статическом режиме. В продолжение наших работ по исследованию свойств нового волокнистого хелатного ионита ФИБАН ХС-1 мы изучали зависимости коэффициентов распределения ионов между ионитом и раствором от pH равновесных растворов, которые представлены на рис.1.

Как видно из рис. 1 коэффициенты распределения для ионов металлов максимальны в области pH 4–6 за исключением ионов меди, у которых максимум наблюдается при pH 4. Для всех ионов в кислой среде коэффициенты распределения имеют невысокие значения.

Исключение составляют ионы меди, у которых уже при pH 2,8 довольно высокое значение коэффициента распределения. Характер зависимости D от pH раствора для каждого иона металла можно объяснить процессом комплексообразования иона металла с иминодиацетатными группами ионита и устойчивостью этих комплексов при различных значениях pH.

Самую высокую сорбционную активность ФИБАН ХС-1 проявляет к ионам Pb^{2+} и Cu^{2+} , поэтому были проведены исследования сорбционных свойств сорбента по отношению к этим ионам при различных скоростях потока очищаемой воды от 2 до 40 колоночных объемов (BV) в минуту. Результаты испытаний представлены на рис. 4.

Проведенные исследования имеют большое значение для ряда стран, например Ирана, где вода содержит ионы свинца и меди в концентрациях, при которых проводились данные испытания. Анализ рис. 4 показывает, что ионит ФИБАН ХС-1 при невысоких скоростях потоков (время контакта с потоком воды 35 с) обеспечивает по меди 98 %-ную, по свинцу – 93 %-ную очистку воды. С увеличением скорости

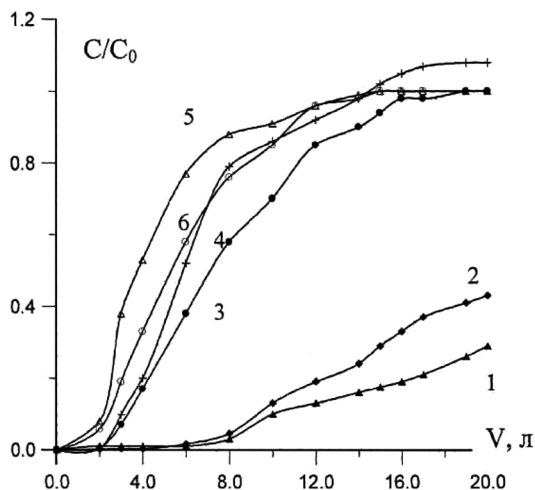


Рис. 3. Выходные кривые сорбции ионов тяжелых и цветных металлов на волокнистом ионите ФИБАН ХС-1: 1 – Pb^{2+} , 2 – Cu^{2+} , 3 – Cd^{2+} , 4 – Ni^{2+} , 5 – Co^{2+} , 6 – Zn^{2+}

Fig. 3. Output sorption curves of heavy and non-ferrous ions on the fibrous ion exchanger FIBAN XC-1: 1 – Pb^{2+} , 2 – Cu^{2+} , 3 – Cd^{2+} , 4 – Ni^{2+} , 5 – Co^{2+} , 6 – Zn^{2+}

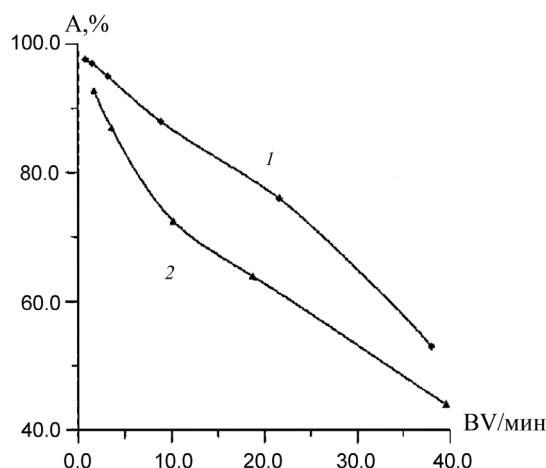


Рис. 4. Результаты испытаний волокнистого ионита ФИБАН ХС-1 для очистки воды от ионов меди (1) и свинца (2), A – степень очистки

Fig. 4. Results of the tests of fibrous ion exchanger FIBAN XC-1 for water purification from copper ions (1) and lead ions (2), A – purification degree

потока степень очистки падает, но волокно эффективно работает и при больших скоростях до 20 колоночных объемов/мин (82 %-ная очистка по меди и 65 %-ная очистка по свинцу).

Исследована возможность десорбции и повторного использования сорбента для концентрирования. Установлено, что все сорбированные металлы можно полностью элюировать 0,5 н. раствором соляной кислоты за исключением ионов свинца, которые десорбируются 0,5 н. раствором азотной кислоты.

Проведение испытаний после регенерации сорбента показало (таблица), что волокнистый хелатный ионит ФИБАН ХС-1 не теряет свои сорбционные и механические свойства и может применяться, как минимум, в шести циклах сорбции–десорбции, что имеет большое значение для практических целей, так как ионообменные материалы можно многократно использовать в процессах сорбции–десорбции без изменения обменной емкости и механических свойств.

Сорбционные и механические свойства ФИБАН ХС-1 после регенерации Sorption and mechanical properties of FIBAN XC-1 after regeneration

Номер образца	Регенерация	СОЕ _{СООН} , мг-экв/г	Механические свойства		Набухание, гH ₂ O/г Na, Н-форма
			σ , кг/мм ²	ϵ , %	
1	Исходный ФИБАН ХС-1	3,67	24,8	12,6	1,46
2	Первая	3,63	23,9	11,8	1,38
3	Вторая	3,60	23,4	12,5	1,40
4	Третья	3,68	24,3	12,7	1,42
5	Четвертая	3,61	23,5	11,4	1,36
6	Пятая	3,66	23,7	11,7	1,41

Заклучение. В результате полимераналогичных превращений получен новый иминодиацетатный волокнистый катионит ФИБАН ХС-1 на химически и термостойкой матрице волокна полипропилена с привитым сополимером стирола и дивинилбензола, которая выдерживает повышенные температуры и агрессивные среды. Показано, что волокнистый хелатный ионит ФИБАН ХС-1 является эффективным сорбентом тяжелых и цветных металлов из многоионных водных растворов в статических и динамических условиях. Катионит ФИБАН ХС-1 является аналогом дорогого японского хелатного материала IONEX TIN-600 корпорации Toyay Ind, который выпускается опытными партиями небольших объемов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ковалев, И. А. Выбор эффективного сорбента для динамического концентрирования тяжелых металлов из растворов / И. А. Ковалев, Н. М. Сорокина, Г. И. Цизин // Вестн. Москов. ун-та, сер. 2. – 2000. – Т. 41, № 5. – С. 309–314.
2. Блохин А. А. Ионнообменное извлечение палладия (II) из хлоридных растворов сложного состава / А. А. Блохин, Н. Д. Абовский, Ю. В. Мурашкин // ЖПХ. – 2007. – Т. 80, № 7. – С. 1089–1093.
3. Efficiency and mechanism of new poly(acrylphenylamidrasone-phenylhydrazide) chelating fiber for adsorbing trace Ga, In, Bi, V and Ti from solution / Xijun Chang [et al.] // Anal. Chim. Acta. – 2001. – Vol. 450. – P. 231–238. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(01\)01387-3](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(01)01387-3)
4. Montembault, V. Grote Synthesis and complexing properties of rezins containing aminocarboxylic acid as functionale groups from diethylenetriaminepentaacetic acid bisanhydride and polyvinyl alcohols / V. Montembault, J. C. Soutif, J. C. Brosse M. // React & Functional Pol. – 1999. – Vol. 39, N 3. – P. 253–261. [https://doi.org/10.1016/s1381-5148\(98\)00006-6](https://doi.org/10.1016/s1381-5148(98)00006-6)
5. Dabrowski, Z. Robens Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / Z. Dabrowski, P. Hubicki, E. Podkoscielny // Chemosphere. – 2004. – Vol. 56, N 2. – P. 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.03.006>
6. Особенности сорбции анионов хрома волокнистыми сорбентами ВИОН / М. П. Зверев [и др.] // ЖПХ. – 2007. – Т. 80, № 4. – С. 575–578.
7. Панов, В. П. Исследование сорбции ионов аммония волокнистыми ионитами / В. П. Панов, Н. И. Ятчев // ЖПХ. – 1997. – Т. 70, № 11. – С. 1794–1799.
8. Басаргин, Н. Н. Синтез, исследование и применение хелатообразующих сорбентов для концентрирования и определения микроколичеств элементов в природных и сточных водах / Н. Н. Басаргин, Ю. Г. Розовский, Н. В. Чернова // Журн. аналит. химии. – 1992. – Т. 47, № 5. – С. 787–792.
9. Yahorava, V. Ion exchange technology for the efficient recovery of precious metals from waste and low-grade streams / V. Yahorava, M. Kotze // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2013. – P. 225–241.
10. Абовский, Н. Д. Кинетика сорбции платины (II) и платины (IV) на комплексообразующем ионите с тиомочевинными функциональными группами и на сильноосновном анионите из солянокислых растворов / Н. Д. Абовский, А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин // ЖПХ. – 2007. – Т. 80, № 7. – С. 1094–1098.
11. Yuchi Akio. Adsorption of tetravalent metal ions to chelating resins containing iminodiacetic acid groups / Yuchi Akio, Yoshida Norihito // Bull. Chem. Soc. Jap. – 2000. Vol. 73, N 8. – P. 1841–1842. <https://doi.org/10.1246/bcsj.73.1841>
12. New materials and technologies for environmental engineering. Part I. Syntheses and structure of ion exchange fibers / V. Soldatov [et al.] // Monographies of Polish Acad. Sci. – Lublin. – 2004. – № 21. – 127 p.
13. Алексеева, С. Л. Исследование сорбции соединений хрома (IV) на ионообменных материалах и сорбентах / С. Л. Алексеева, С. Н. Болотин, Т. Г. Цюпко // ЖПХ. – 2007. – Т. 80, № 3. – С. 378–380.
14. Сорбция ионов Ni²⁺ и Cu²⁺ комплексообразующим волокнистым сорбентом ПАН-АГУ / В. М. Зареченский [и др.] // Журн. физ. химии. – 1997. – Т. 71, № 12. – С. 2232–2236.
15. Получение и исследование нового волокнистого ионита ФИБАН ХС-1 / В. И. Грачек // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 4. – С. 86–92.

References

1. Kovalev I. A., Sorokina N. M., Tsysin G. I. Selection of effective sorbent for dynamic concentration heavy metals from solution. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya "Khimiya" = Moscow university chemistry bulletin*, 2000, vol. 41, no. 5, pp. 309–314. (in Russian)
2. Blokhin A. A., Abovskii N. D., Murashkin Yu. V. Ion-exchange recovery of palladium(II) from multicomponent chloride solutions. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 80, no. 7, pp. 1089–1093. <https://doi.org/10.1134/s1070427207070087>
3. Xijun Chang, Xinulan Yang, Xinjie Wei. Efficiency and mechanism of new poly(acrylphenylamidrasone-phenylhydrazide) chelating fiber for adsorbing trace Ga, In, Bi, V and Ti from solution. *Analytica Chimica Acta*, 2001, vol. 450, pp. 231–238. [https://doi.org/10.1016/s0003-2670\(01\)01387-3](https://doi.org/10.1016/s0003-2670(01)01387-3)
4. Montembault V., Soutif J. C., Brosse J. C. M. Grote Synthesis and complexing properties of rezins containing amino-carboxylic acid as functionale groups from diethylenetriaminepentaacetic acid bisanhydride and polyvinyl alcohols. *Reactive and Functional Polymers*, 1999, vol. 39, no. 3, pp. 253–261. [https://doi.org/10.1016/s1381-5148\(98\)00006-6](https://doi.org/10.1016/s1381-5148(98)00006-6)
5. Dabrowski A., Hubicki Z., Podkoscielny P. E. Robens Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, 2004, vol. 56, no. 2, pp. 91–106. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.03.006>
6. Zverev M. P., Zverev O. M., Abdulkhanova Z. Z., Polovikhina L. A., Dovbiiy E. V., Silchenkov D. G. Peculiarities of sorption chromium (VI) anions by fiber sorbents VION. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 80, no. 4, pp. 575–578. <https://doi.org/10.1134/s1070427207040088>
7. Panov V. P., Yatchev N. I. Investigation of sorption of ammonium ions by fiber ion exchangers. *Zhurnal prikladnoi khimii = Russian Journal of Applied Chemistry*, 1997, vol. 70, no. 11, pp. 1794–1799 (in Russian).
8. Basargin N. N., Rozovskii Yu. G., Chernova N.V. Synthesis, investigation and use of chelating sorbents for concentration and determination of trace elements in natural and waste waters. *Zhurnal analiticheskoi khimii = Journal of Analytical Chemistry*, 1992, vol. 47, no. 5, pp. 787–792 (in Russian).
9. Yahorava V., Kotze M., Macheru P. Ion exchange technology for the efficient recovery of precious metals from waste and low-grade streams. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2013, pp. 225–241.

10. Abovskii N. D., Blokhin A. A., Murashkin Yu V. Kinetics of platinum(II) and platinum(IV) sorption from hydrochloric acid solutions with a complexing ion exchanger containing thiourea functional groups and with a strongly basic anion exchanger. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 80, no. 7, pp. 1094–1098. <https://doi.org/10.1134/s1070427207070099>
11. Yuchi Akio, Yoshida Norihito. Adsorption of tetravalent metal ions to chelating resins containing iminodiacetic acid groups. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 2000, vol. 73, no. 8, pp. 1841–1842. <https://doi.org/10.1246/bcsj.73.1841>
12. Soldatov, V. S., Pawlowski L., Shunkevich A. A., Wasag H. New materials and technologies for environmental engineering. Part I. Syntheses and structure of ion exchange fibers. *Monographies of Polish Acad. Sci.*, 2004, no. 21. 127 p.
13. Alekseeva S. L., Bolotin S. N., Tsyupko T. G. Sorption of chromium(VI) on ion-exchange resins and sorbents. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2007, vol. 80, no. 3, pp. 378–380. <https://doi.org/10.1134/s107042720703007x>
14. Zarechensky V. M., Kletsevnikova V. N., Kozakevich Yu. E., Surov Yu. N. Sorption of Ni²⁺ and Cu²⁺ ions by complexing fiber sorbent PAN-AGY. *Zhurnal physicheskoi khimii = Russian Journal of Physical Chemistry A*, 1997, vol. 71, no. 12, pp. 2232–2236 (in Russian).
15. Grachek V. I., Lysenko G. N., Shunkevich A. A., Martsynkevich R. V., Isakovich O. I., Polikarpov A. P. Synthesis and investigation of new fibrous chelate ion exchangers FIBAN XC-1. *Vestsi Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceeding of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2017, no. 1, pp. 86–92 (in Russian).

Информация об авторах

Гречек Валентина Ивановна – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: grachek@ifoch.bas-net.by

Шункевич Александр Акимович – канд. хим. наук, вед. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shunkevich@ifoch.bas-net.by

Поликарпов Александр Петрович – канд. хим. наук, зав. лаб. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: fiban@ifoch.bas-net.by

Исакович Ольга Ивановна – науч. сотрудник. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь).

Information about the authors

Valentina I. Grachek – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: grachek@ifoch.bas-net.by

Aleksandr A. Shunkevich – Ph. D. (Chemistry), Leading Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shunkevich@ifoch.bas-net.by

Aleksandr P. Polikarpov – Ph. D. (Chemistry), Head of the Laboratory. Institute of Physical Organic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: fiban@ifoch.bas-net.by

Olga I. Isakovich – Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus).