

ISSN 0002-3590 (print.)

УДК 541.183.12

Поступила в редакцию 07.06.2016

Received 07.06.2016

**Е. Г. Косандрович, Л. Н. Шаченкова, П. В. Нестеронк,  
О. Н. Якубель, В. С. Солдатов**

*Институт физико-органической химии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

## **ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА НОВОГО ВОЛОКНИСТОГО АНИОНИТА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ГРУППАМИ АМИНОЭТИЛПИПЕРАЗИНА**

На основе полиакрилонитрильного волокна синтезирован новый ионит с функциональными группами аминоэтилпиперазина. Последующей реакцией алкилирования эпихлоргидрином получен анионит, содержащий в своей структуре сильноосновные группы. Подобраны оптимальные условия синтеза данных ионитов. Исследованы их физико-химические и сорбционные характеристики. На основании данных по поглощению диоксида серы показана практическая применимость ионита с группами аминоэтилпиперазина для очистки воздуха от примесей кислотной природы.

*Ключевые слова:* волокнистый ионит, полиакрилонитрил, аминоэтилпиперазин, эпихлоргидрин, обменная емкость, потенциометрическое титрование, диоксид серы, сорбция.

**E. G. Kosandrovich, L. N. Shachenkova, P. V. Nesteronok,  
V. N. Yakubel, V. S. Soldatov**

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

## **SYNTHESIS AND PROPERTIES OF THE NEW FIBROUS ANION EXCHANGER WITH AMINOETHYLPIPERAZINE FUNCTIONAL GROUPS**

A new anion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups has been synthesized from polyacrylonitrile fiber. The subsequent alkylation with epichlorohydrin afforded another anion exchanger with strong base functional groups. The optimal conditions for synthesis of these ion exchangers have been found, their physical chemical and sorption properties have been investigated. Experimental data of sulfur dioxide sorption on the ion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups show its practical applicability for air purification from acidic pollutants.

*Keywords:* fibrous ion exchanger, polyacrylonitrile, aminoethylpiperazine, epichlorohydrin, potentiometric titration, sulfur dioxide, sorption, air purification.

**Введение.** Волокнистые аниониты используются для очистки воздуха и воды от примесей различной природы [1–5]. При этом они обладают как неоспоримыми преимуществами (высокая скорость сорбционно-десорбционных процессов, эффективная очистка с использованием тонких слоев, низкое аэро- и гидродинамическое сопротивление очищаемому потоку и др.), так и рядом недостатков (невысокая обменная емкость, низкая механическая прочность и гидролитическая стойкость и др.). Это обуславливает интерес исследователей к вопросам синтеза новых ионитов, а также оптимизации и улучшению способов синтеза известных. В настоящий момент широкое практическое применение для эффективной очистки воздуха от примесей кислотной природы нашел волокнистый ионит ФИБАН А-5, содержащий в своей структуре функциональные группы третичного амина [6]. Существенным недостатком данного материала является то, что при его длительном хранении в герметичном объеме появляется аминный запах, обусловленный гидролитической деструкцией функциональных групп, образованных амином с невысокой температурой кипения (135,1 °С [7]). Одним из способов решения этой проблемы может быть использование аминирующего агента с третичными аминогруппами, обладающего более высокой температурой кипения, например аминоэтилпиперазина (221 °С [8]), который доступен на рынке химической продукции в тоннажных количествах. В связи с этим целью представленной работы являлось синтезировать новый волокнистый анионит с функциональными группами аминоэтилпиперазина на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна и изучить его физико-химические свойства.

**Экспериментальная часть.** *Синтез ионитов.* Иониты получали путем высокотемпературного каталитического аминирования аминоэтилпиперазином (АмЭП) полиакрилонитрильного волокна Нитрон С (сополимер 92,5 % акрилонитрила, 6 % метилакрилата и 1,5 % итаконовой

кислоты) производства Новополоцкого ПО «Полимир». В качестве катализатора использовали гидроксиламиногидрохлорид (ГАГ) [9]. Навеску нитрона загружали в реактор с реакционным раствором определенного состава, помещали в термостат, нагретый до 95 °С, и выдерживали при этой температуре в течение определенного времени. Для увеличения осмотической стойкости и уменьшения набухания ионита в реакционные смеси добавляли кросс-агент – диэтилентриамин (ДЭТА) – в количестве 3 мас. %. После синтеза волокно извлекали из реактора, отмывали водой от избытка реакционного раствора и сушили на воздухе. Для получения ионитов, содержащих сильноосновные группы, проводили дополнительную обработку эпихлоргидрином (ЭХГ).

*Подготовка ионитов к испытаниям.* Для изучения кислотно-основных свойств полученные образцы переводили в  $H^+ - Cl^-$  форму обработкой в колоночных условиях 0,5 н. раствором соляной кислоты, после чего окончательно отмывали дистиллированной водой до pH 3,2–3,5.

Для изучения сорбционных свойств образцы переводили в гидрокарбонатную форму обработкой 0,5 н. раствором гидрокарбоната калия и окончательной отмывкой 0,001 н. раствором  $KHCO_3$  до pH ≈ 8. После отмывки полученные образцы сушили на воздухе при комнатных условиях до постоянной массы. Содержание воды в воздушно-сухом ионите определяли гравиметрически по потере массы после высушивания в течение 4 ч при температуре  $105 \pm 5$  °С.

*Обменная емкость и набухание.* Обменную емкость (ОЕ) определяли титриметрически: навеску образца массой 0,2–0,3 г заливали 20 мл 0,1 н. раствора NaOH на фоне 1 н. NaCl (катионообменная емкость,  $E_a$ ) или 0,1 н. раствора HCl на фоне 1 н. NaCl (анионообменная емкость,  $E_b$ ) и выдерживали в течение времени, гарантирующего наступления равновесия (~ 16 ч) при периодическом перемешивании. Затем отбирали аликвоту раствора и титровали раствором кислоты или щелочи соответственно с фиксацией точки эквивалентности по кислотно-основному индикатору (бромфеноловый синий, pH перехода 3,0–4,6). В отдельном эксперименте определяли количество хлорид ионов в образце, вытесняя его 0,1 н. раствором  $HNO_3$  и в последующем титруя аликвоту полученного раствора 0,03 н.  $Hg(NO_3)_2$  в присутствии индикатора (дифенилкарбазон) [10]. Обменную емкость рассчитывали из количества титранта, израсходованного на нейтрализацию функциональных групп ионита с учетом количества хлорид ионов в образце. Ошибка в определении  $E_a$  и  $E_b$  за счет операций определения составляет  $\pm 0,05$  м-экв/г.

Эксперименты по определению набухания проводили весовым методом: набухший в растворе ионит центрифугировали в лабораторной центрифуге (4000 об/мин) в течение 15 мин. Значение набухания ( $W$ , г $H_2O$ /г) рассчитывали как отношение массы воды к массе сухого ионита.

*Потенциометрическое титрование.* Кислотно-основные свойства изучены методом потенциометрического титрования, изложенным в [11], с использованием многих навесок на фоне 1 М KCl. В герметичные сосуды помещали отдельные навески ионита массой 0,5 г, заливали 30 мл 1 М раствора KCl и определенное количество 1 М раствора титранта – KOH или HCl. Бюксы плотно закрывали крышками, чтобы избежать попадания углекислого газа из воздуха. Равновесие устанавливалось в течение 4 ч при постоянном перемешивании. Затем ионит отделяли от раствора центрифугированием в течение 15 мин при 4000 об/мин. С помощью стеклянного электрода на pH-метре Hanna (модель pH 213) определяли pH раствора. Сорбированные ионитом ионы  $K^+$  и  $Cl^-$  элюировали 0,1 н. раствором азотной кислоты. В собранном элюате содержание вытесненных ионов хлора определяли меркуриметрическим методом [10], а ионов калия на ионном хроматографе ICS-3000 фирмы Dionex Corporation. Способ интерпретации полученных результатов и разделения функциональных групп на виды подробно изложен в работе [12].

*Сорбция диоксида серы.* Исследование поглощения  $SO_2$  проводили на сорбционной установке, позволяющей проводить процесс в динамических условиях, при различной относительной влажности очищаемого воздуха. Методическое описание процедуры измерений и схема экспериментальной установки представлена в работе [13].

*Определение механической прочности моноволокон.* Измерения прочностных свойств моноволокон проводили на универсальной испытательной машине INSTRON 5942 (датчик нагрузки макс. 5 Н). Выборка моноволокон составляла 15–20 шт, зажимная длина – 10 мм, скорость испытания – 5 мм/мин.

**Результаты и их обсуждение.** В табл. 1 приведены физико-химические характеристики ионитов, полученных при температуре 95 °С в течение 6 ч с использованием реакционных растворов разного состава (варьировали количества аминирующего агента АмЭП и катализатора ГАГ).

Анализ данных показал, что без катализатора образуются аниониты с небольшими значениями анионообменной емкости ( $E_b = 0,6–0,7$  м-экв/г). При добавлении ГАГ появляются катионообменные группы, а количество анионообменных групп резко возрастает. С увеличением содержания как АмЭП, так и ГАГ в реакционной смеси обменная емкость получаемых ионитов растет. При этом изменяются и механические свойства моноволокон: с увеличением ОЕ образцов прочность снижается, а эластичность возрастает (табл. 1). Следует отметить, что для измерения механических свойств образцов с высокими ОЕ (№ 10 и 13) трудно провести анализ, так как многие волокна рвались уже на стадии подготовки. Таким образом, вообще не удалось подготовить ионит № 14 из-за его чрезвычайной хрупкости.

Таблица 1. Состав реакционной смеси и свойства полученных ионитов (условия синтеза: температура – 95 °С, продолжительность – 6 ч, модуль реактора – 5)

Номер образца	Состав реакционной смеси, мас. %		Обменная емкость, м-экв/г		$W_2$ , гН <sub>2</sub> О/г	Механические свойства	
	АмЭП	ГАГ	$E_b$	$E_a$		нагрузка при разрыве, с·Н	удлинение при разрыве, %
1	20	-	0,6	0	0,23	8,7	34
2	20	1	1,7	0,8	0,26	8,1	34
3	20	2	3,4	1,3	0,57	6,0	33
4	20	3	3,9	1,4	0,66	6,6	40
5	20	5	4,8	1,9	0,92	7,0	41
6	35	-	0,7	0	0,17	8,6	30
7	35	1	2,9	0,8	0,43	6,1	30
8	35	2	3,7	1,2	0,80	6,6	39
9	35	3	5,2	1,2	0,95	6,8	30
10	35	5	6,9	1,5	1,35	5,7	29
11	50	-	0,6	0	0,14	8,7	29
12	50	1	3,2	0,6	0,45	6,1	29
13	50	2	5,2	0,9	0,83	4,9	29
14	50	5	7,7	1,2	1,36	Измерение невозможно	

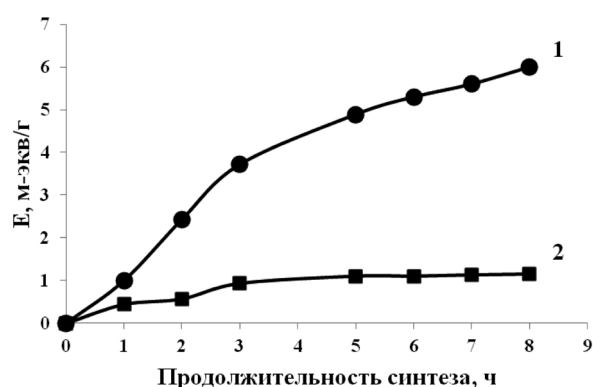


Рис. 1. Зависимости анионообменной (1) и катионообменной (2) емкости ионита № 9 от продолжительности синтеза

Fig. 1. Dependencies of anion-exchange (1) and cation-exchange (2) capacities upon synthesis duration

Из всей совокупности полученных ионитов наиболее перспективным для дальнейшего исследования является образец № 9, который обладает одновременно высокой обменной емкостью и хорошими прочностными свойствами.

При изучении динамики накопления обменной емкости в процессе синтеза установлено (рис. 1), что максимальное значение катионообменной емкости ( $E_a = 1,2$  м-экв/г) достигается за 5 ч и далее практически не изменяется; при увеличении времени синтеза анионообменная емкость постоянно возрастает (за 6 ч синтеза емкость ионита достигает 5,2 м-экв/г; при 7 и 8-часовом синтезах значение ОЕ увеличивается на 0,3 и 0,8 м-экв/г соответственно, но волокно при этом теряет свою механическую прочность и становится хрупким).

Далее образец № 9 использовали в качестве основы для получения ионита с сильноосновными группами. В табл. 2 представлены данные о свойствах полученных материалов при различных условиях алкилирования эпихлоргидрином.

Т а б л и ц а 2. Условия кватернизации образца № 9, кислотно-основные свойства базового и сильноосновных ионитов

Номер образца	Условия кватернизации			Обменная емкость, м-экв/г		$W$ , гH <sub>2</sub> O/г	Параметры кислотности				
	ЭХГ, % E <sub>b</sub>	T, °C	время, ч	E <sub>b</sub>	E <sub>a</sub>		номер группы	тип групп	E, м-экв/г	pK <sub>a</sub>	ΔpK
9 (база)				5,2	1,2	0,95	1	An	2,94	3,70	1,0
							2	An	0,67	7,50	1,0
							3	An	1,96	9,50	1,0
							4	Kt	1,00	11,10	1,4
15	100	18	24	4,5	1,1	0,64	1	An	2,24	3,14	1,0
							2	An	0,64	5,38	1,0
							3	An	0,53	7,93	1,0
							4	An	0,80	10,90	1,0
							5	Kt	0,17	9,00	1,0
							6	Kt	0,53	11,76	1,0
16	100	50	4	4,0	1,0	0,69	1	An	1,67	2,90	1,0
							2	An	1,10	5,40	1,0
							3	An	1,20	11,02	1,0
							4	Kt	0,90	12,40	0,5
							5	Kt	0,10	5,54	0,8
17	75	18	24	4,1	1,4	0,71	1	An	2,47	3,40	1,0
							2	An	0,87	7,39	1,0
							3	An	1,32	11,66	1,0
							4	Kt	0,90	11,70	1,0
							5	Kt	0,15	6,30	1,0
18	75	50	4	4,3	1,0	0,73	1	An	2,50	3,00	1,0
							2	An	0,50	5,48	1,0
							3	An	0,53	8,60	1,0
							4	An	0,93	10,90	1,0
							5	Kt	0,80	12,20	1,0
							6	Kt	0,10	6,33	0,8
							7	Kt	0,10	9,37	1,0
19	50	50	4	4,4	1,0	0,73	1	An	2,50	3,40	1,0
							2	An	0,60	7,00	1,0
							3	An	0,48	8,22	1,0
							4	An	0,82	10,77	1,0
							5	Kt	0,10	6,00	0,8
							6	Kt	0,84	12,39	0,5
20	40	20	24	4,6	1,4	0,76	1	An	2,50	3,40	1,0
							2	An	0,60	7,00	1,0
							3	An	0,48	8,22	1,0
							4	An	0,82	10,77	1,0
							5	Kt	0,12	6,00	0,8
							6	Kt	0,40	10,60	1,0
							7	Kt	0,50	11,80	1,0

Сравнивая величины обменных емкостей видно, что после обработки эпихлоргидрином анионообменная емкость всех образцов снижается на 11–23 % за счет увеличения массы волокна. Величины набухания алкилированных образцов на 20–30 % ниже, чем базового ионита.

Изменение условий кватернизации (температуры процесса и количества ЭХГ) практически не влияет на образование сильноосновных анионообменных групп. При этом повышение температуры кватернизации до 50 °C, не приводящее к увеличению количества сильноосновных

групп, сильно сказывается на механических свойствах получаемых материалов: они становятся хрупкими и ломкими. В связи с этим можно сделать вывод, что процесс алкилирования ЭХГ необходимо проводить при комнатной температуре.

Анализ представленных в табл. 2 данных потенциометрического титрования позволяет сделать заключение о том, что в базовом ионите присутствует четыре вида ионообменных групп: три типа анионообменных групп ( $pK_a = 3,7; 7,5$  и  $9,5$ ) и один тип катионообменной группы с  $pK_a = 11,1$ . Во всех кватернизированных образцах зафиксировано появление новых слабокислотных ( $pK_a = 6-12$ ) и сильноосновных аминогрупп ( $pK_a = 10,7-11,7$ ).

На рис. 2 приведены интегральные и дифференциальные кривые титрования индивидуальных ионообменных групп базового ионита № 9 и кватернизированного № 17, для которого зафиксировано наибольшее количество сильноосновных групп (1,32 м-экв/г).

Как видно из представленных данных, исходный ионит № 9 не поглощает ионы хлора при pH равновесного раствора выше 11 (рис. 2, а), что свидетельствует об отсутствии в его структуре сильноосновных групп. При его модификации ЭХГ на кривой титрования (рис. 2, в) можно видеть, что при pH выше 11 ионит содержит в своей фазе значительное количество ионов  $Cl^-$ , что указывает на появление в составе сильноосновных функциональных групп. При этом на кривой титрования кватернизированного ионита (рис. 2, з) наблюдается исчезновение пика при pH 9,5 (присутствующего в исходном ионите (рис. 2, б)) и появление нового при pH 11,7 (сильноосновные группы). Следовательно, алкилированию подвергаются в основном третичные аминогруппы, для которых характерно  $pK$  9,5 (рис. 3).

Эксперименты по исследованию сорбции диоксида серы из воздуха в зависимости от относительной влажности проводили с использованием базового ионита № 9 и сильноосновного ионита на его основе № 17. Результаты сорбционных испытаний представлены на рис. 4.

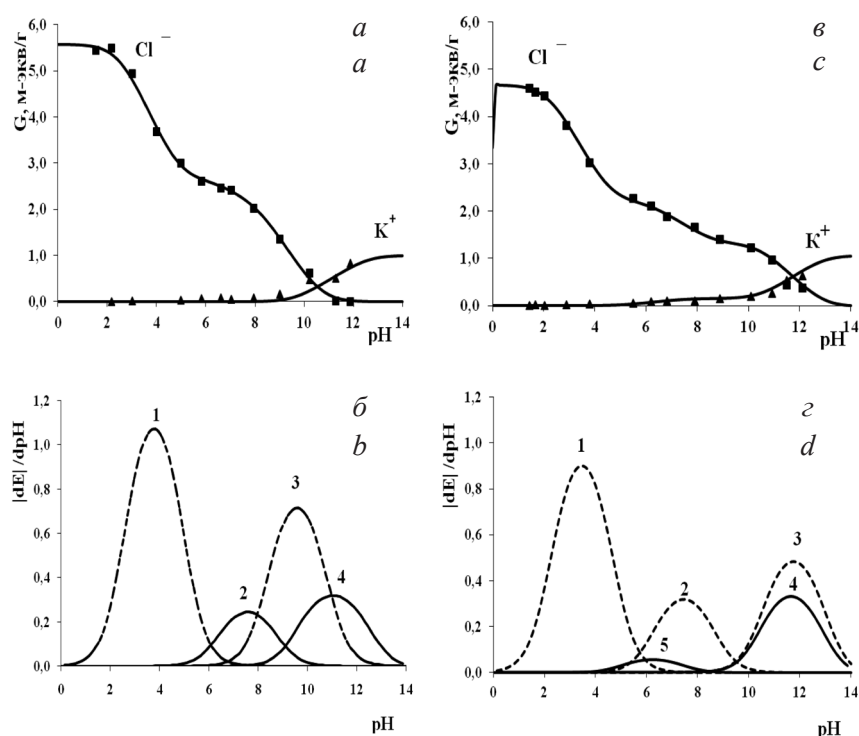


Рис. 2. Зависимость количества поглощенных ионов фонового электролита от pH равновесного раствора для базового ионита № 9 (а и б) и кватернизированного № 17 (в и з). Символы – экспериментальные точки, кривые рассчитаны по параметрам кислотности, приведенным в табл. 2; а и б – интегральные, в и з – дифференциальные кривые титрования индивидуальных групп (пунктирная линия – анионообменные группы; сплошная линия – катионообменные группы)

Fig. 2. Dependency of background electrolyte ions' absorbed amount upon pH of the equilibrium solution for the initial ion exchanger № 9 (a and b) and the quaternized one № 17 (c and d). Symbols are experimental points, curves are calculated from the acidity parameters in Table 2, a and c are the integral titration curves for individual groups, b and d are the differential ones (dotted line – anion exchange groups, firm line – cation exchange groups)

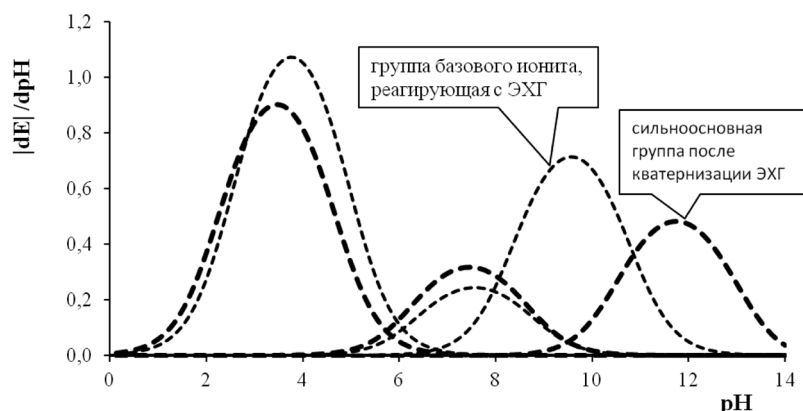


Рис. 3. Совмещение дифференциальных кривых титрования анионообменных групп базового и кватернизированного ионитов

Fig. 3. Superposition of differential titration curves for anion exchange groups of the initial and quaternized ion exchangers

Полученный материал, содержащий в структуре функциональные группы аминоэтилпиперазина, хорошо поглощает диоксид серы из воздуха, при этом критической влажностью для данного материала является 55–60 %. Кватернизированные образцы, несмотря на наличие в ионите сильноосновных групп, оказались менее активными в процессах очистки воздуха от  $\text{SO}_2$ . Из сорбционных кривых видно (рис. 4), что область сорбционной активности по относительной влажности сместилась в сторону более высоких значений (критическая влажность  $\approx 80\%$ ). Это может быть обусловлено уменьшением гидрофильности полученного сильноосновного анионита за счет

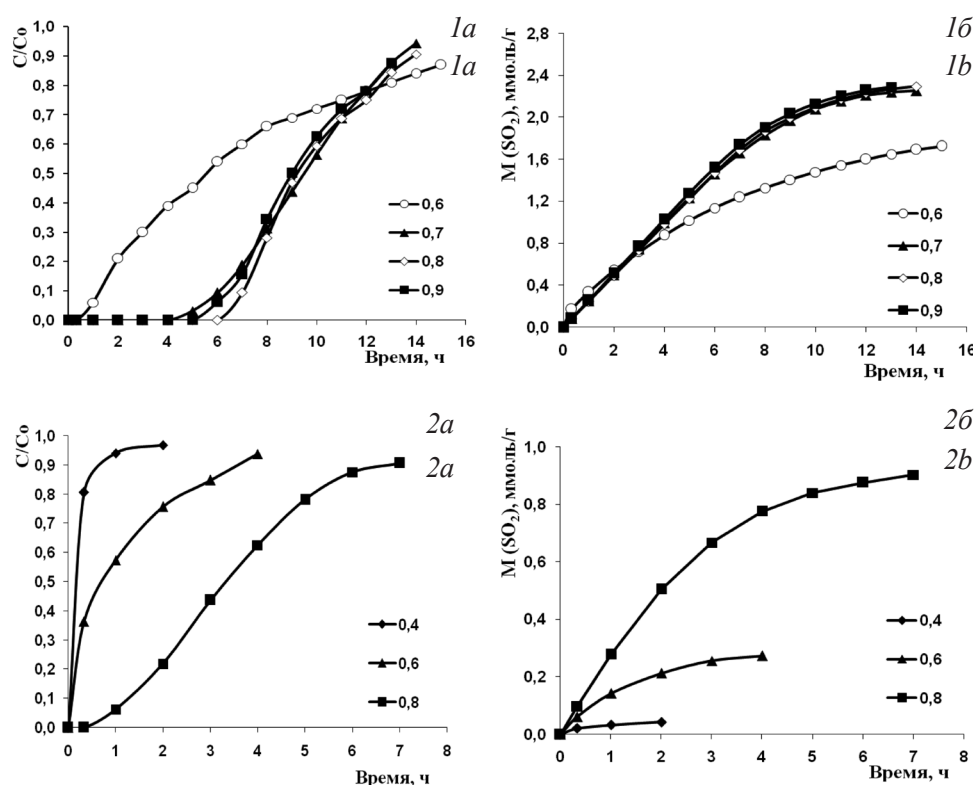


Рис. 4. Кривые проскока (а) и сорбции (б) диоксида серы при различной относительной влажности на волокнистых ионитах № 9 (1) и № 17 (2). Условия эксперимента: температура – 22–25 °С; скорость фильтрации – 0,08 м/с; исходная концентрация  $\text{SO}_2$  – 30–32 мг/м<sup>3</sup>; толщина фильтрационного слоя – 6 мм

Fig. 4. Sulfur dioxide breakthrough (a) and sorption (b) curves at various relative humidities on fibrous ion exchangers № 9 (1) and № 17 (2). Experiment conditions: temperature 22–25 °C; filtration speed 0,08 m/s; initial  $\text{SO}_2$  concentration 30–32 mg/m<sup>3</sup>; filtration layer thickness 6 mm

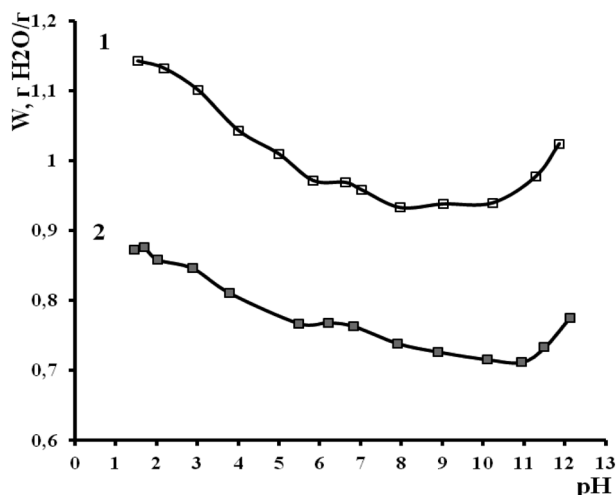


Рис. 5. Кривые зависимости величины набухания базового (1) и кватернизированного (2) ионитов (pH равновесного внешнего раствора создавалось добавлением HCl или KOH)

Fig. 5. Dependencies of initial (1) and quaternized (2) ion exchanger swellings upon pH of equilibrium external solution (pH regulated by adding HCl or KOH)

этилпиперазина для очистки воздуха от примесей кислотной природы. Подтверждено, что при длительном хранении (2–3 месяца) полученных материалов в герметичных условиях не происходит накопление запаха амина.

**Благодарность.** Работа выполнена при частичном финансировании Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект X16–111).

введения в его структуру дополнительного гидрофобного углеводородного радикала. Данное утверждение подтверждается снижением набухания кватернизированного материала по сравнению с исходным анионитом (рис. 5).

**Заключение.** На основе полиакрилонитрильного волокна получен новый анионит, содержащий в своей структуре функциональные группы пиперазина. На его основе реакцией алкилирования эпихлоргидрином синтезирован новый анионит, содержащий в своей структуре сильноосновные группы. Подобраны оптимальные условия синтеза данных ионитов: время реакции, концентрации реагентов, температура, катализатор. Исследованы их физико-химические (обменная емкость, кислотно-основные свойства, механическая прочность моноволокон) и сорбционные характеристики. На основании данных по поглощению диоксида серы показана практическая применимость ионита с группами амина-

**Acknowledgements.** This work has been done with partial financial supporting of Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (project X16–111).

### Список использованных источников

- Kotze, M. H. The status of ion exchange fibers for metallurgical application / M. H. Kotze // Journal of the minerals, metals and materials society. – 1992. – May. – P. 46–50.
- Zverev, M. P. Technical and economical justification of the use of VION chemisorptive fibres / M. P. Zverev // Fibre Chemistry. – 1993. – Vol. 25, N 6. – P. 498–504.
- Druzhinina, T. V. Chemisorption fibres based on graft copolymers: fabrication and properties. A review / T. V. Druzhinina, L. A. Nazar'ina // Fibre Chemistry. – 1999. – Vol. 31, N 4. – P. 252–262.
- Zverev, M. P. Fibre chemisorbents – material for environmental protection. A review / M. P. Zverev // Fibre Chemistry. – 2002. – Vol. 34, N 6. – P. 456–465.
- Soldatov, V. S. Syntheses and the main properties of FIBAN fibrous ion exchangers / V. S. Soldatov // Solvent extraction and ion exchange. – 2008. – Vol. 26. – P. 457–513.
- Kosandrovich, E. G. Fibrous ion exchangers / E. G. Kosandrovich, V. S. Soldatov // Chapter 9 of the book “Ion exchange technology I: theory and materials”, Inamuddin and Mohammad Luqman Eds., published by Springer (United Kingdom). – 2012. – P. 299–371.
- Диметиламинопропиламин (ДМАПА) [электронный ресурс] // группа компаний «НЕО Кемикал». – Режим доступа: [http://neochemical.ru/File/Dimetilaminopropilamin\\_.pdf](http://neochemical.ru/File/Dimetilaminopropilamin_.pdf). – Дата доступа: 21.06.2016.
- Аминоэтилпиперазин (АЕП) [электронный ресурс] // информация о продукте компании Dow Chemical. – Режим доступа: <http://neochemical.ru/File/AEP.pdf>. – Дата доступа: 21.06.2016.
- Способ получения волокнистого полиамфолита: пат. 15904 Респ. Беларусь: МПК С 08 J 5/20 (2006.01), D 01 F 11/06 (2006.01) / В. С. Солдатов, Е. Г. Косандрович, Д. Е. Мицкевич, А. В. Жилинская, Е. М. Полховский; дата публ.: 30.06.2012.
- Бабко, А. К. Количественный анализ / А. К. Бабко, И. В. Пятницкий. – М.: ГНТИ хим. Кит-ры, 1956. – 736 с.
- Soldatov, V. S. Potentiometric titration of ion exchangers / V. S. Soldatov // React. and Funct. Polym. – 1998. – N 38. – P. 73–112.
- Нестеронок, П. В. Метод определения параметров кислотности полиамфолитов / П. В. Нестеронок, В. С. Солдатов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2013. – № 2. – С. 31–36.
- Косандрович, Е. Г. Сорбция аммиака из воздуха волокнистым сульфокатионитом ФИБАН К-1 / Е. Г. Косандрович, В. С. Солдатов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2004. – № 3. – С. 95–98.

## References

1. Kotze, M. H. (1992) «The status of ion exchange fibers for metallurgical application», Journal of the minerals, metals and materials society, vol. 44, no. 5, pp. 46–50.
2. Zverev, M. P. (1993) «Technical and economical justification of the use of VION chemisorptive fibres», Fibre Chemistry, vol. 25, no. 6, pp. 498–504.
3. Druzhinina, T. V. and Nazar'ina, L. A. (1999) «Chemisorption fibres based on graft copolymers: fabrication and properties», Fibre Chemistry, vol. 31, no. 4, pp. 252–262.
4. Zverev, M. P. (2002) «Fibre chemisorbents - material for environmental protection», Fibre Chemistry, vol. 34, no. 6, pp. 456–465.
5. Soldatov, V. S. (2008) «Syntheses and the main properties of FIBAN fibrous ion exchangers», Solvent extraction and ion exchange, vol. 26, no. 5, pp. 457–513.
6. Kosandrovich, E. G. and Soldatov, V. S. (2012) «Fibrous ion exchangers», Chapter 9 of the book “Ion exchange technology I: theory and materials”, in Inamuddin and Mohammad Luqman (ed.), Springer, United Kingdom, pp. 299–371.
7. «Dimethylaminopropylamine (DMAPA)», NEO Chemical company group, Available at: [http://neochemical.ru/File/Dimetilaminopropilamin\\_.pdf](http://neochemical.ru/File/Dimetilaminopropilamin_.pdf), (Accessed 21.06.2016)
8. «Aminoethylpiperazine (AEP)», Product information from Dow Chemical, Available at: <http://neochemical.ru/File/AEP.pdf>, (Accessed 21.06.2016)
9. Soldatov, V. S., Kosandrovich, E. G., Mitskevich, D. E., Zhilinskaya, A. V. and Polkhovskii, E. M. (2012) Sposob polucheniya voloknistogo poliamfolita [Method for preparation of fibrous polyampholite], BY, Pat. 15904
10. Babko, A. K. and Pyatnitskii, I. V. (1956) Kolichestvennyi analiz [Qualitative analysis], GNTI Khimicheskoi literatury, Moscow, RU
11. Soldatov, V. S. (1998) «Potentiometric titration of ion exchangers», Reactive and Functional Polymers, no. 38, pp. 73–112.
12. Nesteronok, P. V. and Soldatov, V. S. (2013) «A method for determination of polyampholytes' acidity parameters», Vestsi NAN Belarusi. Seryya khimichnykh navuk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], no. 2, pp. 3–36.
13. Kosandrovich, E. G. and Soldatov, V. S. (2004) «Ammonia sorption from air by fibrous sulfo cation exchanger FIBAN K-1», Vestsi NAN Belarusi. Seryya khimichnykh navuk [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], no. 3, pp. 95–98.

### Информация об авторах

*Косандрович Евгений Генрихович* – канд. хим. наук, доцент, вед. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kosandrovich@ifoch.bas-net.by.

*Шаченкова Лариса Николаевна* – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: sln13102005@mail.ru.

*Нестеронко Петр Викторович* – науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: petr.nester@gmail.com.

*Якубель Ольга Николаевна* – мл. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: niolda69@yandex.ru.

*Солдатов Владимир Сергеевич* – академик, д-р хим. наук, проф., зав. лаб. Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

### Для цитирования

Получение и свойства нового волокнистого анионита с функциональными группами аминоэтилпиперазина / Е. Г. Косандрович [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2016. – № 4. – С. 16–23.

### Information about the authors

*Kosandrovich Evgenii Genrihovich* – Ph. D. (Chemistry), Professor, Leading Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (Surganov str., 13, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kosandrovich@ifoch.bas-net.by.

*Shachenkova Larisa Nikolaevna* – Ph. D. (Chemistry), Senior Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (Surganov str., 13, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sln13102005@mail.ru.

*Nesteronok Petr Viktorovich* – Scientific Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (Surganov str., 13, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: petr.nester@gmail.com.

*Yakubel Olga Nikolaevna* – J. Researcher. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (Surganov str., 13, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: niolda69@yandex.ru.

*Soldatov Vladimir Sergeevich* – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory. Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (Surganov str., 13, 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

### For citation

Kosandrovich E.G., Shachenkova L. N., Nesteronok P. V., Yakubel V. N., Soldatov V. S. Synthesis and properties of the new fibrous anion exchanger with aminoethylpiperazine functional groups. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series, 2016, no. 4, pp. 16–23.