

**ХІМІЯ ВЫСОКАМАЛЕКУЛЯРНЫХ ЗЛУЧЭННЯЎ**  
**POLYMER CHEMISTRY**

УДК: 541.183.12

Поступила в редакцию 28.06.2016  
Received 28.06.2016

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

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

**КАТАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА  
ВОЛОКНИСТОГО АНИОНИТА С ТРЕТИЧНЫМИ АМИНОГРУППАМИ**

Разработан новый способ каталитического (с использованием солей меди) синтеза анионита, содержащего в своей структуре третичные аминогруппы. Подобраны оптимальные условия получения ионита (концентрации катализатора и аминирующего агента (диметиламинопропиламин), время процесса). Методом потенциометрического титрования с использованием многих навесок определены кислотно-основные параметры функциональных групп полученного ионита. На основе анализа изопиестических кривых охарактеризована водоудерживающая способность анионита, необходимая для оценки возможности его применения в газоочистке. Показана практическая применимость ионита в процессах очистки воздуха от кислотных загрязнений (на примере диоксида серы) в широком диапазоне относительной влажности.

*Ключевые слова:* синтез, волокнистый анионит, полиакрилонитрил, диметиламинопропиламин, потенциометрическое титрование, изопиестика, диоксид серы, сорбция, очистка воздуха.

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

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

**CATALYTIC PREPARATION METHOD AND SORPTION PROPERTIES  
OF THE FIBROUS ANION EXCHANGER WITH TERNARY AMINO GROUPS**

A new method for the catalytic preparation (using copper salts) of the anion exchanger with ternary amino groups has been developed. The best conditions for synthesis of this ion exchanger, such as catalyst and aminating agent (dimethylamino propylamine) concentrations and process time, have been found. The acid-base properties of functional groups have been determined by potentiometric titration. By the analysis of isopiestic curves, water-holding capacity of the anion exchanger has been estimated and these results used for determination of the anion exchanger applicability for air purification. The experimental sorption results show the practical applicability of the ion exchanger for air purification from acidic impurities (on the example of sulfur dioxide sorption) in a wide range of relative humidity.

*Keywords:* synthesis, fibrous anion exchanger, polyacrylonitrile, dimethylamino propylamine, potentiometric titration, isopiestic, sulfur dioxide, sorption, air purification.

**Введение.** Волокнистые аниониты используются для очистки воздуха и воды от примесей различной природы, органического катализа [1–6]. Разработанный и производимый в Институте физико-органической химии (ИФОХ) НАН Беларуси анионит на основе полиакрилонитрильного (ПАН) волокна с третичными аминогруппами, выпускаемый под торговой маркой ФИБАН А-5, зарекомендовал себя как эффективный материал для очистки воздуха от примесей кислотной природы [7] и воды [8]. Основным недостатком такого рода материалов является их длительный синтез при достаточно высоких концентрациях реагентов: для получения приемлемых для практического использования обменных емкостей необходимо использовать аминирующие агенты высокой концентрации (выше 50 мас.%) при длительности самого процесса 10 ч и более. Поэтому вопрос поиска способов, которые способствуют уменьшению времени процесса синтеза и/или концентрации аминирующих реагентов, является актуальным.

Нами ранее установлено [9], что гидроксилламин катализирует реакцию аминирования нитрильных групп полиакрилонитрильного волокна. При этом известно [10], что соли некоторых металлов (алюминия, железа и др.) оказывают каталитическое влияние при аминировании нитрильных групп акрилонитрила, но данных по получению волокнистых ПАН ионитов с использованием металлов, как компонентов реакционной смеси, в литературе не встречено. В связи с этим настоящая работа посвящена разработке нового способа каталитического синтеза анионита с третичными аминогруппами на основе ПАН волокна, исследованию его физико-химических и сорбционных свойств в процессах очистки воздуха от диоксида серы.

**Экспериментальная часть.** *Синтез ионитов.* Иониты получали путем каталитического аминирования водным раствором диметиламинопропиламина (ДМАПА) полиакрилонитрильного волокна Нитрон С (сополимер 92,5% акрилонитрила, 6% метилакрилата и 1,5% итаконовой кислоты) производства Новополоцкого ПО «Полимир». 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.

*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  $pH \approx 8$ . 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) [11]. 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.

*Потенциометрическое титрование.* Кислотно-основные свойства изучены методом потенциометрического титрования, изложенным в [12], с использованием многих навесок на фоне 1М KCl. В герметичные сосуды помещали отдельные навески ионита массой 0,5 г, заливали 30 мл 1М раствора KCl и определенное количество 1М раствора титранта – KOH или HCl. Сосуды 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 [11], 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 [13].

*Сорбция паров воды (изопиестика).* Изопиестические кривые получены в статических условиях путем выдерживания образцов над растворами солей, создающими над поверхностью определенное значение относительной влажности, по экспериментальной методике [14] с интерпретацией данных при помощи модели преобладающих гидратов [15].

*Сорбция диоксида серы.* Исследование поглощения  $\text{SO}_2$  проводили на сорбционной установке, позволяющей проводить процесс в динамических условиях, при различной относительной влажности очищаемого воздуха. Методическое описание процедуры измерений и схема экспериментальной установки представлены в работе [16].

**Результаты и их обсуждение.** В табл. 1 приведены результаты скрининговых исследований по влиянию солей различных металлов на физико-химические характеристики ионитов, которые получены из водного реакционного раствора 50 мас.% ДМАПА + 3 мас.% ДЭТА + 1 мас.% соли металла при времени синтеза 6 ч. На их основании можно сделать вывод, что присутствие в реакционной смеси большинства выбранных солей практически не оказывает влияния на обменную емкость синтезированных ионитов (обменная емкость по аминогруппам ( $E_b$ ) составляет около 2,5 м-экв/г, что практически соответствует  $E_b$  ионитов, синтезированных без применения солей).

Таблица 1. Результаты скрининговых исследований по каталитическому влиянию солей различных металлов на обменную емкость получаемых ионитов

Номер образца	Соль*	$E_a$ , м-экв/г	$E_b$ , м-экв/г
1	–	0,1	1,9
2	$\text{CuSO}_4$	0,8	6,0
3	$\text{FeSO}_4$	0,2	2,5
4	$\text{FeCl}_3$	0,1	2,6
5	$\text{AgNO}_3$	0,2	3,0
6	$\text{SnCl}_2$	0,2	2,5
7	$\text{AlCl}_3$	0,2	2,6
8	$\text{MnSO}_4$	0,2	2,7
9	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$	0,2	2,5

Примечание. \*Приведены формулы без гидратной воды, так как расчет количества реагента в реакционном растворе проводился на безводную соль.

В случае использования соли меди,  $E_b$  синтезированного ионита в ~3 раза превышает емкость ионита, синтезированного в реакционном растворе без солей. Это свидетельствует о том, что в изучаемой системе при аминировании нитрильных групп ПАН волокна диметиламинопропиламиноом соль меди выступает в роли катализатора. В связи с этим нами было более детально изучено влияние концентрации сульфата меди и ДМАПА в реакционном растворе, а также продолжительности синтеза на обменную емкость получаемых ионитов (табл. 2) при прежних условиях (модуль реактора 5; температура  $95 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ; концентрация кросс-агента (ДЭТА) 3 мас.%).

Таблица 2. Результаты экспериментов по влиянию концентрации каталитического агента (сульфата меди), аминизирующего агента (ДМАПА) и времени синтеза на обменную емкость получаемых ионитов

Номер образца	$\text{CuSO}_4$ , мас.%	ДМАПА, мас.%	Время синтеза, ч	$E_a$ , м-экв/г	$E_b$ , м-экв/г
1	0	50	6	0,1	1,9
2	0	50	12	0,9	4,9
3	0,1	50	3	0,7	1,4
4	0,1	50	6	1,0	4,1
5	0,1	50	9	0,9	5,5
6	0,5	20	6	1,0	3,0
7	0,5	35	6	1,0	4,4
8	0,5	50	3	0,7	1,9
9	0,5	50	6	0,8	5,5
10	0,5	50	9	0,9	6,4
11	1,0	50	3	0,5	2,1
12	1,0	50	6	0,9	5,9
13	1,0	50	9	0,8	6,4
14	3,0	50	6	1,0	6,5
15	5,0	50	6	1,0	6,5

Полученные результаты свидетельствуют: 1) даже незначительное количество сульфата меди (0,1 мас.%) в реакционной смеси оказывает каталитическое воздействие (обменная емкость по аминогруппам почти в 2 раза выше по сравнению с синтезируемыми ионитами без сульфата меди при одинаковых условиях проведения процесса); 2) при увеличении количества сульфата меди больше 0,5 мас.% обменная емкость получаемых ионитов практически не изменяется; 3) при уменьшении концентрации аминирующего агента (ДМАПА) в реакционной смеси практически симбатно уменьшается емкость получаемых анионитов. Все это в совокупности, а также оценка механической прочности синтезированных волокон позволяет сделать вывод, что оптимальный ионит получается при составе реакционной смеси 50 мас.% ДМАПА + 3 мас.% ДЭТА + 0,5 мас.%  $\text{CuSO}_4$  и времени синтеза 6 ч.

Анализ результатов потенциометрического титрования выбранного нами оптимального образца показал, что ионит содержит четыре типа ионообменных групп: два вида катионообменных ( $\text{pK}_{\text{a}1} = 11,2$ ,  $\Delta\text{pK}_{\text{a}1} = 1,0$ ;  $\text{pK}_{\text{a}2} = 12,7$ ,  $\Delta\text{pK}_{\text{a}2} = 1,0$ ) и два вида анионообменных групп ( $\text{pK}_{\text{a}3} = 4,6$ ,  $\Delta\text{pK}_{\text{a}3} = 1,5$ ;  $\text{pK}_{\text{a}4} = 9,8$ ,  $\Delta\text{pK}_{\text{a}4} = 1,0$ ). Полученные данные свидетельствуют о том, что данный ионит перспективен для использования в процессах очистки воздуха, так как содержит в своем составе достаточно сильные аминогруппы с  $\text{pK}_{\text{a}4} = 9,8$ .

Применимость ионитов для газоочистки обуславливается также их способностью поглощать пары воды из воздуха, так как вода, содержащаяся в фазе полимера, является диффузионной средой для поглощаемого компонента, участник или продукт взаимодействия большинства реакций способствует ионизации функциональных групп. Поэтому нами была снята изопиестическая кривая (равновесная кривая сорбции паров воды в статических условиях) для полученного материала. Результаты проделанного эксперимента представлены на рис. 1.

Расчетные показатели (количества свободной и гидратной воды и общая кривая сорбции паров воды) получены с использованием предложенной нами ранее модели преобладающих гидратов [15], суть которой состоит в следующем: 1) набухший ионит рассматривается как идеальная смесь свободных молекул воды, гидратов и негидратированных функциональных групп (общее количество воды в ионите выражается суммой гидратной и свободной воды), при этом система подчиняется закону Рауля (модифицированному для применения к системам с ограниченным набуханием); 2) растворение сорбата возможно только в свободной воде, содержащейся в фазе ионита, при этом концентрация сорбата в свободной воде подчиняется закону Генри и имеет такое же значение константы Генри, как и для систем вода–газ. Из этого следует, что содержание свободной воды в ионите является одним из ключевых факторов, обуславливающих возмож-

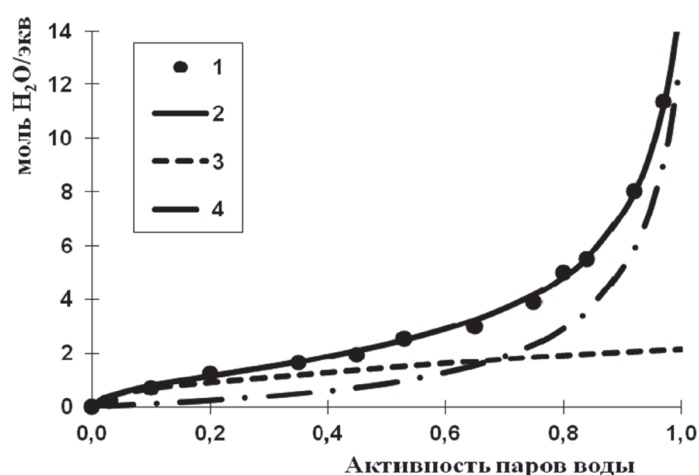


Рис. 1. Изопиестическая кривая синтезированного анионита ( $E_a = 0,8$  м-экв/г,  $E_b = 5,5$  м-экв/г):  
 1 – экспериментальные точки; 2 – расчетная кривая сорбции паров воды; 3 – расчетное количество гидратной воды;  
 4 – расчетное количество свободной воды

Fig. 1. Isopiestic curve of the synthesized anion exchanger ( $E_a = 0.8$  milliequivalents/g,  $E_b = 5.5$  milliequivalents/g):  
 1 – experimental points; 2 – calculated sorption curve for water vapour; 3 – calculated amount of hydrate water;  
 4 – calculated amount of free water

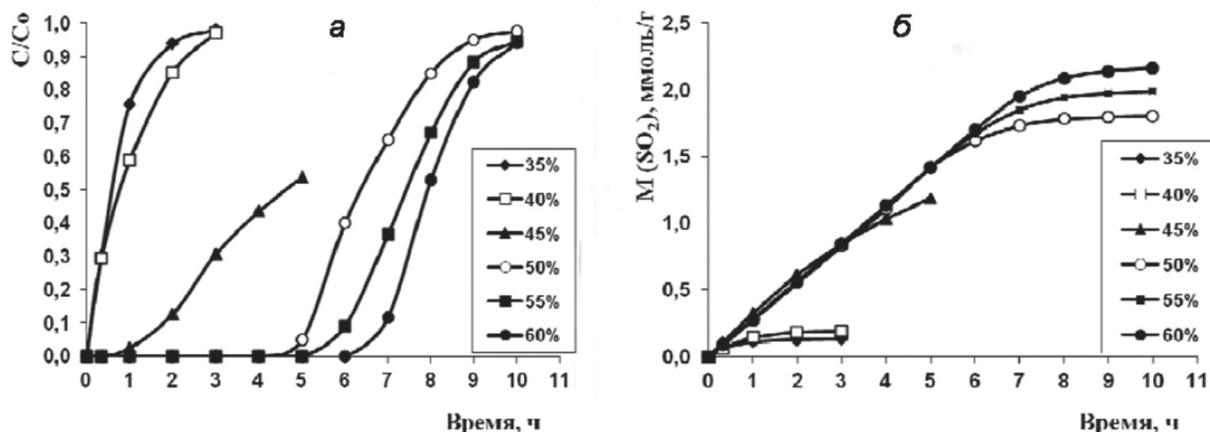


Рис. 2. Кривые проскока (а) и сорбции (б) диоксида серы на волокнистом ионите с третичными аминогруппами ( $E_a = 0,8$  м-экв/г,  $E_b = 5,5$  м-экв/г) при различной относительной влажности воздуха.

Условия эксперимента: температура – 20–22 °С, скорость фильтрации – 0,08 м/с;

исходная концентрация  $\text{SO}_2$  – 33–35 мг/м<sup>3</sup>; толщина фильтрационного слоя – 6 мм

Fig. 2. Breakthrough (a) and sorption (b) curves of sulfur dioxide on the fibrous ion exchanger with tertiary amino groups ( $E_a = 0.8$  milliequivalents/g,  $E_b = 5.5$  milliequivalents/g) at various humidities of air. Conditions of the experiment: temperature – 20–22 °C, filtration rate – 0.08 m/s; initial  $\text{SO}_2$  concentration – 33–35 mg/m<sup>3</sup>; filtration layer thickness – 6 mm

ность и эффективность очистки воздуха ионитами, в связи с чем все иониты характеризуются значением критической влажности, т. е. влажности, ниже которой ионит не поглощает примеси из воздуха (когда в фазе ионита практически отсутствует свободная вода).

Полученные результаты показывают, что в ионите с относительной влажностью 35–40% в значительном количестве появляется свободная вода, что может свидетельствовать о работоспособности материала при сорбции из воздуха токсичных загрязнителей кислотной природы при этих влажностях и выше. Кроме того, нами установлено, что история получения образца (т. е. состав реакционной смеси при синтезе и получаемая обменная емкость) не оказывает влияния на вид изопиестической кривой и распределение между свободной и гидратной водой (следует из анализа изопиестических кривых образцов № 4, 7, 9, 12, 14, табл. 2; сами кривые в статье не приводятся, так как они идентичны изопиестической кривой, рис. 1). Это свидетельствует о том, что способность поглощать воду из воздуха обусловлена не общей обменной емкостью ионообменных материалов (в пределах 4,1–6,5 м-экв/г), а типом противоиона и строением функциональной группы.

Далее нами проведены эксперименты по сорбции диоксида серы из воздуха в динамических условиях. Результаты представлены на рис. 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что ионит эффективно сорбирует диоксид серы из воздуха в широком диапазоне относительной влажности. При этом критической влажностью является 40–45%, что хорошо коррелирует с результатами изопиестических экспериментов. Ионит практически полностью реализует свою обменную емкость по аминогруппам при относительной влажности более 50–55%, что свидетельствует о его практической применимости в процессах очистки воздуха от кислотных загрязнений в качестве активной насадки промышленных воздухоочистных установок или в средствах индивидуальной защиты органов дыхания человека.

**Заключение.** Разработан новый способ каталитического (с использованием солей меди) синтеза анионита, содержащего в своей структуре третичные аминогруппы. Подобраны оптимальные условия получения ионита (концентрация катализатора – 0,5 мас.%, концентрация аминировующего агента (диметиламинопропиламин) – 50 мас.%, время процесса – 6 ч). Методом потенциометрического титрования с использованием многих навесок определены количество и тип функциональных групп, их кислотно-основные параметры. На основе анализа изопиестических кривых охарактеризована водоудерживающая способность анионита, необходимая для оценки возможности его применения в газоочистке. Установлена инвариантность вида изопиестической

кривой и распределения свободной и гидратной воды от истории синтеза ионита в пределах обменных емкостей 4,1–6,5 м-экв/г. Показана практическая применимость ионита в процессах очистки воздуха от кислотных загрязнений (на примере диоксида серы) в широком диапазоне относительной влажности.

### Список использованных источников

1. 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.
2. Zverev, M. P. Fibre chemisorbents - material for environmental protection. A review / M. P. Zverev // *Fibre Chemistry*. – 2002. – Vol. 34, no. 6. – P. 456–465.
3. Zverev, M. P. Technical and economical justification of the use of VION chemisorptive fibres / M. P. Zverev // *Fibre Chemistry*. – 1993. – Vol. 25, no. 6. – P. 498–504.
4. 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.
5. 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, no. 4. – P. 252–262.
6. Новые каталитические системы на основе волокнистых ионитов / Ю. Г. Егиазаров [и др.] // *Химия в интересах устойчивого развития*. – 2001. – № 9. – С. 417–431.
7. 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.
8. Волокнистые иониты ФИБАН – получение, модификация и применение / А. П. Поликарпов [и др.] // *Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. общ-ва им. Д. И. Менделеева)*. – 2015. – Т. LIX, № 3. – С. 102–111.
9. Каталитический способ получения полиамфолитов на основе полиакрилонитрильного волокна / П. В. Нестеронок [и др.] // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2014. – № 4. – С. 80–87.
10. Зильберман, Е. Н. Реакции нитрилов / Е. Н. Зильберман. – М.: Химия. – 1972. – 448 с.
11. Бабко, А. К. Количественный анализ / А. К. Бабко, И. В. Пятницкий. – М.: ГНТИ хим. лит-ры, 1956. – 736 с.
12. Soldatov, V. S. Potentiometric titration of ion exchangers / V. S. Soldatov // *React. and Funct. Polym.* – 1998. – No. 38. – P. 73–112.
13. 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.
14. Косандрович, Е. Г. Волокнистый аминокарбоксильный сорбент для очистки воздуха от примесей диоксида серы / Е. Г. Косандрович, О. Н. Дорошкевич // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук*. – 2014. – №1. – С. 91–94.
15. Soldatov, V. Hydration of ion exchangers: thermodynamics and quantum chemistry calculations. II. An improved variant of the Predominant Hydrates model / V. Soldatov, V. Zelenkovskii, E. Kosandrovich // *React. and Funct. Polym.* – 2016. – No. 102. – P. 147–155.
16. 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. Soldatov V.S., "Syntheses and the main properties of FIBAN fibrous ion exchangers", *Solvent extraction and ion exchange*, 2008, vol. 26, pp. 457–513.
2. Zverev M.P., "Fibrous chemisorbents - material for environmental protection. A review", *Fibre Chemistry*, 2002, vol. 34, no. 6, pp. 456–465.
3. Zverev M.P., "Technical and economical justification of the use of VION chemisorptive fibres", *Fibre Chemistry*, 1993, vol. 25, no. 6, pp. 498–504.
4. Kotze M.H., "The status of ion exchange fibers for metallurgical application", *Journal of the minerals, metals and materials society*, 1992, May, pp. 46–50.
5. Druzhinina T.V. and Nazar'ina L.A., "Chemisorption fibres based on graft copolymers: fabrication and properties. A review", *Fibre Chemistry*, 1999, vol. 31, no. 4, pp. 252–262.
6. Egiazarov Yu.G., "Novel catalytic systems based on fibrous ion exchangers", *Khimiya v interesakh ustoichivogo razvitiya* [Chemistry for Sustainable Development], 2001, no. 9, pp. 417–431.
7. Kosandrovich E.G and Soldatov V.S. "Fibrous ion exchangers", *Ion exchange technology I: theory and materials*, in Inamuddin and Mohammad Luqman (ed.), Chapter 9, Springer, United Kingdom, 2012, pp. 299–371.
8. Polikarpov A.P., Shunkevich A.A., Grachek V.I. and Medyak G.V., "Fibrous ion exchangers FIBAN – synthesis, modification and application", *Rossiiskii khimicheskii zhurnal* [Russian Chemical Society Journal], 2015, vol. LIX, no. 3, pp. 102–111.
9. Nesteronok P.V., Kosandrovich E.G., Shachenkova L.N. and Korshunova T.A., "Catalytic method for preparation of polyampholytes from polyacrylonitrile fiber", *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 2014, no. 4, pp. 80–87.

10. Zil'berman E.N. *Reaktsii nitrilov* [Reactions of nitriles], Khimiya, Moscow, RU, 1972.
11. Babko A.K. and Pyatnitskii I.V., *Kolichestvennyi analiz* [Quantitative analysis], GNTI Khimicheskoi literatury, Moscow, RU, 1956.
12. Soldatov V.S., "Potentiometric titration of ion exchangers", *Reactive and Functional Polymers*, 1998, no. 38, pp. 73–112.
13. Nesteronok P.V. and Soldatov V.S., "A method for determination of polyampholytes' acidity parameters", *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 2013, no. 2, pp. 31–36.
14. Kosandrovich E.G. and Doroshkevich O.N., "Fibrous amino carboxylic sorbent for air purification from sulfur dioxide", *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 2014, no. 1, pp. 91–94.
15. Soldatov V.S., Zelenkovskii V.M. and Kosandrovich E.G., "Hydration of ion exchangers: thermodynamics and quantum chemistry calculations. II. An improved variant of the Predominant Hydrates model", *Reactive and Functional Polymers*, 2016, no. 102, pp. 147–155.
16. Kosandrovich E.G. and Soldatov V.S., "Ammonia sorption from air by FIBAN K-1 sulphonic cation exchanger", *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series], 2004, 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, профессор, зав. лаб., Институт физико-органической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

### Для цитирования

Каталитический способ получения и сорбционные свойства волокнистого анионита с третичными аминогруппами / Е. Г. Косандрович [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2017. – № 1. – С. 82–88.

### Information about the authors

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

*Shachenkova Larisa Nikolaevna* – Ph.D., senior researcher, Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (13, Surganov Str., 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. (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: petr.nester@gmail.com.

*Yakubel Volga Nikolaevna* – junior researcher, Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: niolda69@yandex.ru.

*Soldatov Vladimir Sergeevich* – Academician, Dr.Sci. (Chemistry), Professor, head of the laboratory, Institute Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus. (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by.

### For citation

Kosandrovich E. G., Yakubel V. N., Nesteronok P. V., Shachenkova L. N., Soldatov V. S. Catalytic preparation method and sorption properties of the fibrous anion exchanger with ternary amino groups. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, chemical series, 2017, no. 1, pp. 82–88.