

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)

УДК 541.183.12
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-143-149>

Поступила в редакцию 27.02.2020
Received 27.02.2020

Е. Г. Косандрович, В. С. Солдатов, Л. Н. Шаченкова

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

ИНДИКАТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНИСТЫХ ИОНИТОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕСУРСА ФИЛЬТРОВ ХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Аннотация. На основе волокнистых ионитов получены индикаторные материалы для сорбатов щелочной и кислотной природы, предназначенные для визуализации времени отработки фильтровального слоя при ионитной очистке воздуха. Определены оптимальные условия их получения и эксплуатации, показана практическая применимость, обусловленная контрастностью и чувствительностью изменения окраски, для изготовления индикаторных патронов фильтров глубокой очистки воздуха в производстве средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов человека с целью своевременного выявления момента отработки волокнистых ионитов в составе ионообменных фильтров различных конструкций.

Ключевые слова: волокнистый ионит, сорбция, воздух, аммиак, диоксид серы, индикатор, ресурс работы

Для цитирования. Косандрович, Е. Г. Индикаторные материалы на основе волокнистых ионитов для визуализации ресурса фильтров химической очистки воздуха / Е. Г. Косандрович, В. С. Солдатов, Л. Н. Шаченкова // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім.навук. – 2020. – Т. 56, № 2. – С. 143–149. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-143-149>

E. G. Kosandrovich, V. S. Soldatov, L. N. Shachenkova

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

INDICATOR MATERIALS BASED ON FIBROUS ION EXCHANGERS FOR VISUALIZING OF THE SORPTION RESOURCE OF THE CHEMICAL AIR CLEANING FILTERS

Abstract. On the base of fibrous ion exchangers, indicator materials were obtained for sorbates of an alkaline and acidic nature, intended to visualize the working time of the filter layer during ion exchange air purification. The optimal conditions for their production and operation were determined. The practical applicability for the manufacture of indicator cartridges for filters of deep air purification and personal protective equipment for human respiratory organs and skin with the aim of timely visualizing of the sorption resource depletion, due to the contrast and sensitivity of the color change, was demonstrated.

Keywords: fibrous ion exchanger, sorption, air, ammonia, sulfur dioxide, indicator, service life

For citation. Kosandrovich E. G., Soldatov V. S., Shachenkova L. N. Indicator materials on the base of fibrous ion exchangers for visualizing of the sorption resource of the chemical air cleaning filters. *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. 143–149 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-2-143-149>

Введение. Применимость ионитов для извлечения из воздуха примесей кислотной и щелочной природы прямо следует из их химической природы и впервые упомянута в научной литературе в 1955 г. [1]. С того времени было опубликовано большое количество статей, патентов и обзоров [2–16], в которых описывались успешные научные результаты по возможности применения ионитов для очистки газовых сред от различных соединений (фактическое применение нашли только волокнистые иониты).

При практической реализации процессов ионитной очистки воздуха основной проблемой является точное определение сорбционного ресурса фильтров или фильтроэлементов, так как время их работы до регенерации или замены может составлять от нескольких часов до нескольких лет. Ранее нами были предложены подходы по теоретическому расчету этого параметра [17]. Часто теоретические расчеты с достаточной точностью сделать невозможно; например, при сильно изменяющейся концентрации целевого компонента. Поэтому в данной работе предложен прямой экспериментальный вариант решения этого вопроса, заключающийся в получении индикаторных ионитов (изменяют свой цвет при наличии удаляемого компонента), которые визуальнo (либо с использованием оптических датчиков) позволяют определить фактический момент выработки ресурса фильтра.

Экспериментальная часть. В качестве основы для получения индикаторных материалов использовали широко применяемые в практике волокнистые иониты: 1) для примесей щелочной природы – композиционный сорбент, представляющий собой полиамфолит, импрегнированный ортофосфорной кислотой [18, 19]; 2) для примесей кислотной природы – анионит, содержащий в своей структуре функциональные группы третичного амина (диметиламинопропиламин) [20, 21]. Выбранные волокнистые иониты были импрегнированы различными изменяющими цвет индикаторами (выбор индикаторов был обусловлен необходимостью получения максимального цветового контраста при изменении окраски с учетом цвета самой ионитной основы; перечень использованных индикаторов представлен в таблице) и протестированы на сорбционной установке с использованием в качестве модельных загрязнителей аммиака и диоксида серы (установка позволяет осуществлять процесс сорбции в динамических условиях при различных параметрах процесса; методическое описание процедуры измерений и схема экспериментальной установки представлены в [22]).

Перечень и свойства индикаторов, использованных для получения волокнистых сорбентов, изменяющих свой цвет в процессе сорбции

The list and properties of indicators used to obtain fibrous sorbents that change their color during sorption

Номер образца	Индикатор	pH перехода	Цветовой переход
Эксперименты по сорбции аммиака			
1	Метиловый оранжевый	3,0–4,4	Красный → желтый
2	Бромфеноловый синий	3,0–4,6	Желтый → фиолетовый
3	Тимоловый синий	1,2–2,8	Красный → желтый
4	Бриллиантовый зеленый	0,0–2,6	Желтый → зеленый
5	Родамин С	0,1–1,2	Оранжевый → розовый
6	Метиловый фиолетовый	0,13–1,5–3,2	Желтый → синий → фиолетовый
Эксперименты по сорбции диоксида серы			
7	Нейтральный красный	6,8–8,0	Оранжевый ← желтый
8	Метиловый красный	4,4–6,2	Красный ← желтый
9	Фенолфталеин	8,2–10,0	Бесцветный ← красный
10	Феноловый красный	6,8–8,4	Желтый ← красный
11	Тимоловый синий	8,0–9,6	Желтый ← синий
12	Крезоловый красный	7,2–8,8	Желтый ← красный

В экспериментах индикаторный материал использовали в виде нетканого иглопробивного полотна диаметром 50 мм и толщиной 4–6 мм, на который подавался газовый поток температурой 25 °С, относительной влажностью 45–47 %, линейной скоростью 0,08 м/с, исходной концентрацией аммиака 13 мг/м³ (диоксида серы – 32 мг/м³). При достижении точки проскока (когда текущая концентрация целевого вещества за фильтрационным слоем составляла около 5 % от исходной концентрации; в абсолютных цифрах: для аммиака – 0,6–0,7 мг/м³; для диоксида серы – 1,5–1,7 мг/м³) эксперимент останавливали, образец извлекали из сорбционной ячейки и производили анализ изменения его цвета.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1, 2 представлены сорбционные кривые аммиака и диоксида серы на индикаторных материалах с метиловым оранжевым и феноловым красным соответственно. Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что сорбционные характеристики полученных индикаторных материалов и исходных волокнистых ионитов идентичны (представлено по одному рисунку, так как для всех изучаемых материалов они одинаковы). Это позволяет их использовать не только в качестве индикатора отработки ресурса, но и полноценного сорбционного слоя в фильтроэлементах очистки воздуха.

Характер изменения цвета полученных материалов представлен на рис. 3, 4. Видно, что за исключением бромфенолового синего, все выбранные индикаторы пригодны для получения индикаторных материалов, интенсивно и контрастно изменяющих окраску при насыщении аммиаком.

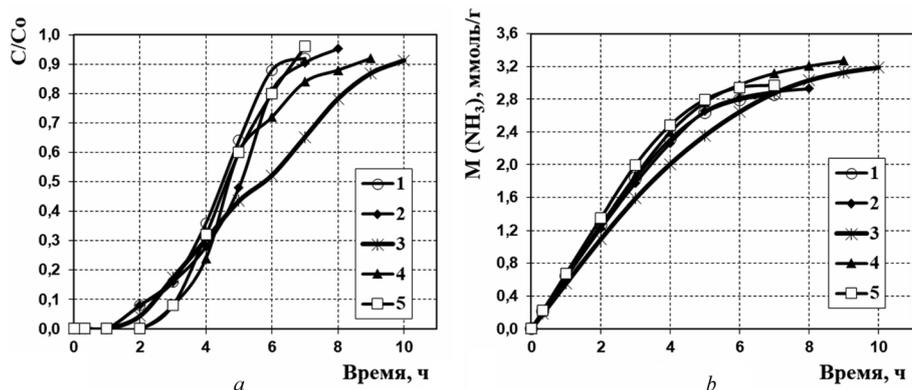


Рис. 1. Кривые проскока (a) и сорбции (b) аммиака на индикаторном материале с метиловым оранжевым. Относительная влажность, %: 1 – 35, 2 – 45, 3 – 55, 4 – 65, 5 – 75. Условия эксперимента: температура – 20–22 °С; скорость фильтрации – 0,08 м/с; исходная концентрация NH_3 – 23–25 мг/м³; толщина фильтрационного слоя – 4 мм

Fig. 1. Curves of slip (a) and sorption (b) of ammonia on the indicator material with methyl orange. Relative humidity, %: 1 – 35, 2 – 45, 3 – 55, 4 – 65, 5 – 75. Experimental conditions: temperature – 20–22 °C; filtration speed – 0.08 m/s; initial concentration of NH_3 – 23–25 mg/m³; filtration layer thickness – 4 mm

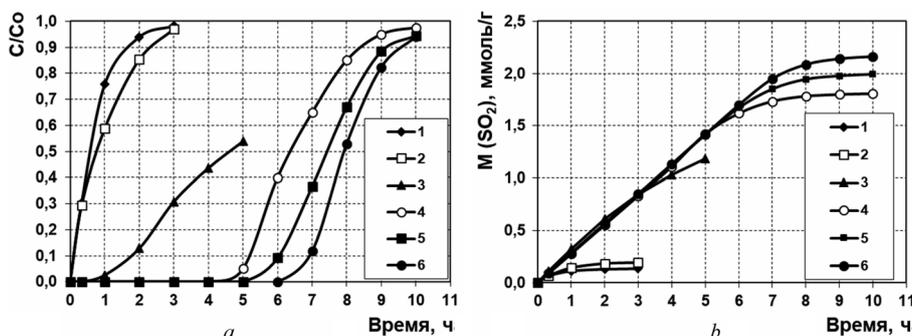


Рис. 2. Кривые проскока (a) и сорбции (b) диоксида серы на индикаторном материале с феноловым красным. Относительная влажность, %: 1 – 35, 2 – 40, 3 – 45, 4 – 50, 5 – 55, 6 – 60. Условия проведения исследований: температура – 20–24 °С; скорость фильтрации – 0,08 м/с; исходная концентрация SO_2 – 30–35 мг/м³; толщина фильтрационного слоя – 6 мм

Fig. 2. Curves of slip (a) and sorption (b) of sulfur dioxide on the indicator material with phenol red. Relative humidity, %: 1 – 35, 2 – 40, 3 – 45, 4 – 50, 5 – 55, 6 – 60. Research conditions: temperature – 20–24 °C; filtration speed – 0.08 m/s; initial SO_2 concentration – 30–35 mg/m³; filter layer thickness – 6 mm

На наш взгляд, преимущественно следует использовать индикаторы с низким значением рН перехода окраски (тимоловый синий, бриллиантовый зеленый, метиловый фиолетовый), так как такие индикаторные сорбенты будут более чувствительны (меньший индукционный период при появлении аммиака за фильтрационным слоем ионита), а также будут характеризоваться низким расположением точки изменения цвета на кривой проскока загрязнителя, что особенно важно при глубокой очистке воздуха.

Экспериментальные результаты позволяют нам разделить полученные материалы на три группы: 1) индикаторный материал, интенсивно изменяющий окраску (индикатор: феноловый красный); 2) контрастность изменения цвета индикаторного материала недостаточна для отчетливой визуализации (индикаторы: нейтральный красный, метиловый красный, тимоловый синий, крезоловый красный); 3) индикаторный материал не изменил окраску (индикатор: фенолфталеин). Это свидетельствует о том, что для получения материалов, чувствительных к кислотным сорбатам, следует использовать индикаторы с интервалом перехода окраски 7,0÷8,5 (в нашем случае это феноловый красный, тимоловый синий, крезоловый красный), так как при более высоком значении рН перехода (например, для фенолфталеина) ионит изначально не окрашивает индикатор в щелочной области, а при более низком значении рН (например, для метилового красного) не происходит изменения цвета индикатора в кислотную область при насыщении SO_2 . Следует учитывать также

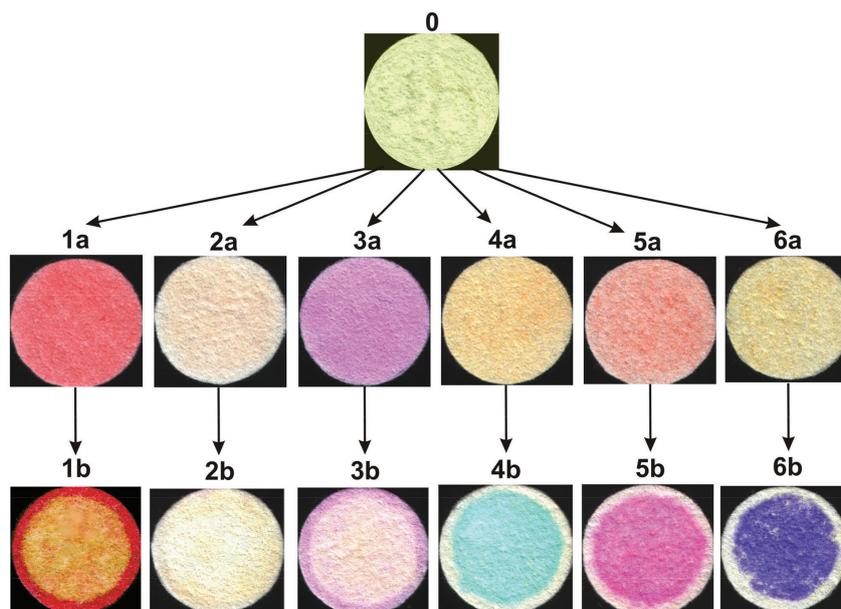


Рис. 3. Изменение цвета индикаторного материала для сорбатов щелочной природы: *0* – цвет исходного ионита; *a* – цвет индикаторного материала до сорбции; *b* – цвет индикаторного материала после сорбции (ободок по окружности с неизменной окраской – место зажима материала в сорбционную ячейку для исключения проскока сорбата по краевой части); индикаторы: 1 – метиловый оранжевый, 2 – бромфеноловый синий, 3 – тимоловый синий, 4 – бриллиантовый зеленый, 5 – родамин С, 6 – метиловый фиолетовый

Fig. 3. Color change of the indicator material for alkaline sorbates: *0* – color of the initial ion exchanger; *a* – color of indicator material before sorption; *b* – color of the indicator material after sorption (rim around the circumference with unchanged color – the area of clamping of the material into the sorption cell to prevent sorbate from slipping along the edge); indicators: 1 – methyl orange, 2 – bromophenol blue, 3 – thymol blue, 4 – brilliant green, 5 – rhodamine C, 6 – methyl violet

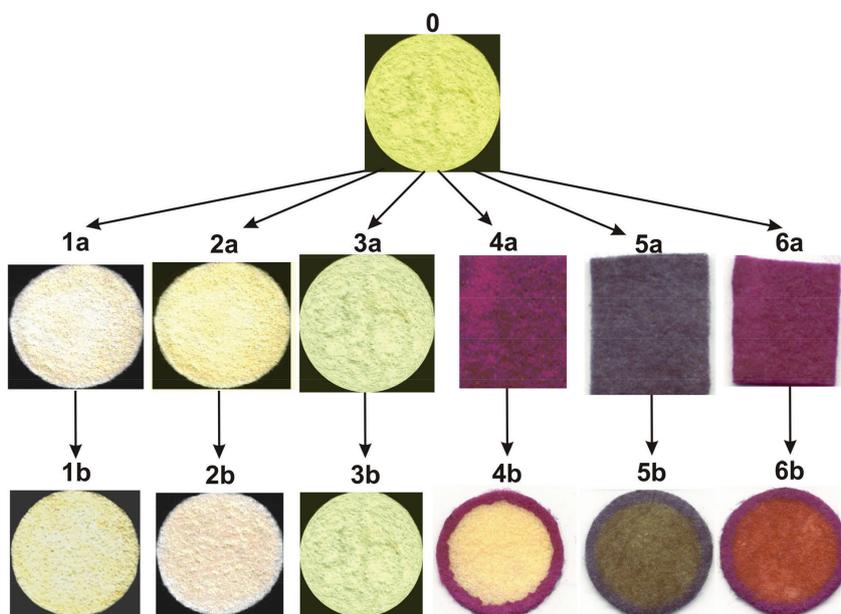


Рис. 4. Изменение цвета индикаторного материала для сорбатов кислотной природы: *0* – цвет исходного ионита; *a* – цвет индикаторного материала до сорбции; *b* – цвет индикаторного материала после сорбции (ободок по окружности с неизменной окраской – место зажима материала в сорбционную ячейку для исключения проскока сорбата по краевой части); индикаторы: 1 – нейтральный красный, 2 – метиловый красный, 3 – фенолфталеин, 4 – феноловый красный, 5 – тимоловый синий, 6 – крезоловый красный

Fig. 4. Color change of the indicator material for acidic sorbates: *0* – color of the initial ion exchanger; *a* – color of indicator material before sorption; *b* – color of the indicator material after sorption (rim around the circumference with unchanged color – the area of clamping of the material into the sorption cell to prevent sorbate from slipping along the edge); indicators: 1 – neutral red, 2 – methyl red, 3 – phenolphthalein, 4 – phenol red, 5 – thymol blue, 6 – cresol red

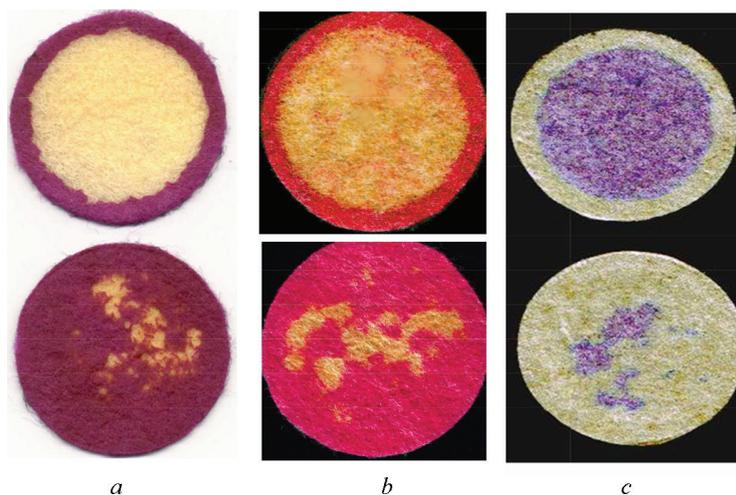


Рис. 5. Изменение цвета лицевого (верх) и выходного (низ) слоев оптимальных индикаторных материалов для кислотных и щелочных загрязнителей в точке проскока сорбата за слой ионита (*a* – феноловый красный (SO_2); *b* – метиловый оранжевый (NH_3); *c* – метиловый фиолетовый (NH_3))

Fig. 5. Color change of the front (top) and output (bottom) layers of optimal indicator materials for acidic and alkaline pollutants at the point of sorbate breakthrough behind the ion exchanger layer (*a* – phenol red (SO_2); *b* – methyl orange (NH_3); *c* – methyl violet (NH_3))

кислотно-основные свойства самого индикатора, так как для тимолового синего и крезолового красного рН перехода находится в оптимальной области, однако интенсивного изменения окраски после сорбции не произошло, что, по всей видимости, связано с химическим взаимодействием данных индикаторов с функциональными группами полимера (сами индикаторы являются кислотными и прореагировали с аминогруппами ионита; такого явления не наблюдается для фенолового красного, который является основанием).

Пример изменения окраски лицевого и выходного слоя индикаторных материалов в точке проскока ($C/C_0 = 0,05$) представлен на рис. 5.

Полученные индикаторные материалы достаточно чувствительны к проскоку целевого вещества, сигнализируя об этом локальным изменением окраски в зонах проскока на выходе из фильтрационного слоя, что свидетельствует об их применимости в практике ионитной очистки воздуха.

Заключение. На основе волокнистых ионитов получены индикаторные материалы для сорбатов щелочной и кислотной природы, предназначенные для визуализации времени отработки фильтровального слоя при ионитной очистке воздуха. Разработанные материалы могут быть использованы на практике для изготовления индикаторных патронов фильтров глубокой очистки воздуха в производстве средств индивидуальной защиты органов дыхания и кожных покровов человека с целью своевременного выявления момента выработки ресурса активной части ионообменных фильтров различных конструкций.

Список использованных источников

1. IEC Report on the Cincinnati ACS Meeting // Industrial and engineering chemistry. – 1955. – Vol. 47, N 5. – P. 7A–16A. <https://doi.org/10.1021/ie50545a001>
2. Soldatov, V. S. Application of fibrous ion exchangers in air purification from acidic impurities / V. S. Soldatov, I. S. Elinson, A. A. Shunkevich // Hydrometallurgy'94. – Springer, Dordrecht, 1994. – P. 837–855. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1214-7_57
3. Air pollution control with fibrous ion exchangers / V. S. Soldatov [et al.] // Chemistry for the protection of the environment. – 2 (Eds.). – Springer, Boston, MA, 1996. – P. 55–66. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0405-0_7
4. Türkölmez, S. Application of ion exchange resins for air deodorization. Part I / S. Türkölmez // Wasser Luft und Betrieb. – 1965. – Vol. 9, N 11. – P. 737–743.
5. Türkölmez, S. Application of ion exchange resins for air deodorization. Part II / S. Türkölmez // Wasser Luft und Betrieb. – 1965. – Vol. 9, N 12. – P. 812–816.
6. Gostomczyk, M. A. Investigation of sorption of acid gases by anion exchangers / M. A. Gostomczyk, J. Kuroпка // Environ. Prot. Eng. – 1977. – N 1–2. – P. 135–144.
7. Богатырев, В. К. Иониты в смешанном слое / В. К. Богатырев. – Л.: Химия, 1968. – 209 с.

8. Urano, K.. Application of ion exchange resins in air purification / Urano Kohei, Mizuuchi Akira // *Kobunshi High Polym. Jap.* – 1972. – Vol. 21, N 11. – P. 594–601.
9. Hashida, J. Investigation of ion exchange resins, adsorbing gases / J. Hashida // *Bull. Osaka Munic. Techn. Res. Inst.* – 1974. – Vol. 50, N 1. – P. 117.
10. Иониты в цветной металлургии / К. Б. Лебедев [и др.]. – М.: Металлургия, 1975. – 352 с.
11. Вулих, А. И. Новая сфера применения ионитов – очистка газов / А. И. Вулих, А. А. Аловьяйников, Г. А. Никандров // *Ионный обмен* / под ред. М. М. Сенявин. – М.: Наука, 1981. – С. 214–229.
12. Аширов, А. Ионнообменная очистка сточных вод, растворов и газов / А. Аширов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.
13. Чикин, Г. А. Иониты в газосорбционных технологиях / Г. А. Чикин, О. Н. Мягкой // *Ионообменные методы очистки веществ* / под ред. Г. А. Чикин, О. Н. Мягкой. – Воронеж: Воронеж. ун-т, 1984. – С. 326–367.
14. Вулих, А. И. Применение ионообменных смол для сорбции и очистки газов / А. И. Вулих, В. А. Богатырев, А. А. Аловьяйников // *Журн. всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева.* – 1970. – Т. 14, № 4. – С. 425–429.
15. Soldatov, V. S. Ion exchangers for air purification / V. S. Soldatov, E. G. Kosandrovich // *Ion exchange and solvent extraction Series.* – 2011. – Vol. 20. – P. 45–115. <https://doi.org/10.1201/b10813-3>
16. Косандрович, Е. Г. Сорбция паров уксусной кислоты из воздуха волокнистыми анионитами с третичными и четвертичными аминогруппами / Е. Г. Косандрович, Л. Н. Шаченкова, В. С. Солдатов // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси.* – 2019. – Т. 63, № 5. – С. 548–553. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-5-548-553>
17. Математическое описание сорбции этиламинов из воздуха волокнистыми катионитами в условиях ограниченной проницаемости сорбата / Е. Г. Косандрович [и др.] // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.* – 2020. – Т. 56, № 1. – С. 7–14. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-7-14>
18. Поликарпов, А. П. Сорбция аммиака неткаными материалами на основе ФИБАН / А. П. Поликарпов, Е. Г. Косандрович, А. А. Шункевич // *Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф.: Новые высокоэффективные нетканые материалы, г. Серпухов (ОАО НИИИМ), РФ, 19–20 ноября 2008.* – Серпухов, 2008. – С. 84–90.
19. Дорошкевич, О. Н. Очистка воздуха от аммиака, моно-, ди- и триэтиламина композиционным волокнистым сорбентом / О. Н. Дорошкевич, Е. Г. Косандрович // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.* – 2014. – № 5. – С. 22–26.
20. Волокнистые аниониты ФИБАН А-5: получение, модификация и применение / А. П. Поликарпов [и др.] // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2016): сб. материалов XIX Междунар. науч.-практ. форума, 23–27 мая 2016 года.* – Иваново: ИВГПУ, 2016. – Ч. 1-1. – С. 68–75.
21. Каталитический способ получения и сорбционные свойства волокнистого анионита с третичными аминогруппами / Е. Г. Косандрович [и др.] // *Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук.* – 2017. – № 1. – С. 82–88.
22. 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. IEC Report on the Cincinnati ACS Meeting. *Industrial and engineering chemistry*, 1955, vol. 47, no. 5, pp. 7A–16A. <https://doi.org/10.1021/ie50545a001>
2. Soldatov V. S., Elinson I. S., Shunkevich A. A. Application of fibrous ion exchangers in air purification from acidic impurities. *Hydrometallurgy'94*. Springer, Dordrecht, 1994, pp. 837–855. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1214-7_57
3. Soldatov V. S., Elinson I. S., Shunkevich A. A., Pawlowski L., Wasag H. Air pollution control with fibrous ion exchangers. *Chemistry for the protection of the environment*. 2 ed. Springer, Boston, MA, 1996, pp. 55–66. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0405-0_7
4. Türkölmez S. Application of ion exchange resins for air deodorization. Part I. *Wasser Luft und Betrieb*, 1965, vol. 9, no. 11, pp. 737–743.
5. Türkölmez S. Application of ion exchange resins for air deodorization. Part II. *Wasser Luft und Betrieb*, 1965, vol. 9, no. 12, pp. 812–816.
6. Gostomczyk M. A., Kuroпка J. Investigation of sorption of acid gases by anion exchangers. *Environment Protection Engineering*, 1977, no. 1–2, pp. 135–144.
7. Bogatyrev V. K. *Ionites in a mixed layer*. Leningrad, Khimiya Publ., 1968, 209 p. (in Russian).
8. Urano K., Mizuuchi A. Application of ion exchange resins in air purification. *Kobunshi High Polym. Jap.* 1972, vol. 21, no. 11, pp. 594–601.
9. Hashida J. Investigation of ion exchange resins, adsorbing gases. *Bull. Osaka Municipal Technical Research Institute*, 1974, vol. 50, no. 1, pp. 117.
10. Lebedev K. B., Kazantsev E. I., Rozmanov V. M., Pakholkov V. S., Chemezov V. A. *Ionites in non-ferrous metallurgy*. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 352 p. (in Russian).
11. Vulikh A. I., Alovyaaynikov A. A., Nikandrov G. A. A new field of application of ion exchangers is gas purification. Senyavin M. M. (ed.) *Ion exchange*. Moscow, Nauka Publ., 1981, pp. 214–229 (in Russian).
12. Ashirov A. *Ion-exchange treatment of wastewater, solutions and gases*. Leningrad, Khimiya Publ., 1983. 295 p. (in Russian).
13. Chikin G. A., Soft O. N. Ionites in gas sorption technologies. *Ion-exchange methods of purification of substances*. Voronezh, Voronezh University, 1984, pp. 326–367 (in Russian).
14. Vulikh A. I., Bogatyrev V. A., Alovyaaynikov A. A. The use of ion exchange resins for sorption and purification of gases. *Zhurnal Vsesoyuznogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva* [Journal of the All-Union Chemical D.I. Mendeleev Society], 1970, vol. 14, no. 4, pp. 425–429 (in Russian).

15. Soldatov V. S., Kosandrovich E. G. Ion exchangers for air purification. *Ion exchange and solvent extraction Series*, 2011, vol. 20, pp. 45–117. <https://doi.org/10.1201/b10813-3>
16. Kosandrovich E. G., Shachenkova L. N., Soldatov V. S. Sorption of vapors of acetic acid from the air by fibrous anion exchangers with ternary and quaternary amino groups. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2019 vol. 63, no. 5, pp. 548–553 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2019-63-5-548-553>
17. Kosandrovich E. G., Shachenkova L. N., Pushkarchuk A. L., Bez'yazychnaya T. V., Soldatov V. S. Mathematical description of sorption of ethylamines from air by fibrous cation exchangers in the conditions of sorbate limited permeability. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2020, no. 1, pp. 7–14 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2020-56-1-7-14>
18. Polikarpov A. P., Kosandrovich E. G., Shunkevich A. A. FIBAN-based non-woven ammonia sorption. *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf.: Novye vysokoeffektivnye netkanye materialy, g. Serpukhov (OAO NIINM), RF, 19–20 noyabrya 2008* [Collection reports of the International scientific and technical conference “New highly efficient nonwoven materials”, Serpukhov (NIINM OJSC), Russia, November 19–20]. Serpukhov, 2008, pp. 84–90 (in Russian).
19. Doroshkevich, O. N., Kosandrovich E. G. Air purification from ammonia, mono-, di- and triethylamine with a composite fibrous sorbent. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2014, no. 5, pp. 22–26 (in Russian).
20. Polikarpov A. P., Shunkevich A. A., Medyak G. V., Akulich Z. I., Grachek V. I. Fibrous anion exchangers Fiban A-5, Synthesis, Modification and Application. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoistva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX-2016): sb. materialov KhIX Mezhdunar. nauch.-prakt. foruma, 23–27 maya 2016 goda* [Physics of fibrous materials: structure, properties, high technology and materials (SMARTEX-2016): collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Forum, May 23–27, 2016]. Ivanovo, Ivanovo State Pedagogical University, 2016, part. 1-1, pp. 68–75 (in Russian).
21. Kosandrovich E. G., Yakubel O. N., Nesteronok P. V., Shachenkova L. N., Soldatov V. S. Catalitical method of synthesis and sorption properties of the fibrous anion exchanger with tertiary amino groups. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2017, no. 1, pp. 82–88 (in Russian).
22. Kosandrovich E. G., Soldatov V. S. Ammonia sorption from air by FIBAN K-1 fibrous sulphonic cation exchanger. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2004, no. 3, pp. 95–98 (in Russian).

Информация об авторах

Косандрович Евгений Генрихович – канд. хим. наук, доцент, зав. лаб. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kosandrovich@ifoch.bas-net.by

Солдатов Владимир Сергеевич – академик, д-р хим. наук, профессор, гл. науч. сотрудник. Институт физико-органической химии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Сурганова, 13, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by

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

Information about the authors

Evgenii G. Kasandrovich – Ph. D. (Chemistry), Associate Professor, 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: kosandrovich@ifoch.bas-net.by

Vladimir S. Soldatov – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Senior Researcher. Institute of Physical Organic Chemistry, National Academy of Sciences of Belarus (13, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by

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