

БИОТЕХНОЛОГИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

DOI: 10.15593/2224-9400/2025.1.01
УДК 661.183.1

Научная статья

Е.А. Фарберова, Е.В. Чащина, Е.А. Тиньгаева

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИИ СЕРНИСТОГО АНГИДРИДА МОДИФИЦИРОВАННЫМ ВОЛОКНИСТЫМ ХЕМОСОРБЕНТОМ

Работа посвящена исследованию возможности создания углеродного волокнистого хемосорбента для поглощения сернистого ангидрида из воздуха в составе средств индивидуальной защиты органов дыхания при концентрациях 5–10 ПДК. Проведено исследование сорбции сернистого ангидрида модифицированным волокнистым хемосорбентом. В качестве носителя использована активная углеродная ткань с развитой системой пор и, как следствие, высокими сорбционными характеристиками. Определены параметры пористой структуры активной углеродной ткани, такие как предельный объем адсорбционного пространства, объем микропор, удельная площадь поверхности по методу БЭТ. В качестве активной по отношению к сернистому ангидриду добавки выбран йодид калия. Модифицированные образцы получали путем пропитки активной угольной ткани в избытке раствора химически активного компонента с разным содержанием йодида калия. Полученные образцы исследовали на динамическую активность по сернистому ангидриду при условиях: концентрация сернистого ангидрида в воздухе 0,05 мг/дм³ (5 ПДК) и 0,1 мг/дм³ (10 ПДК), удельная скорость газовой воздушного потока 0,15 дм³/мин·см², толщина слоя хемосорбента 0,6 мм. Рассмотрено влияние содержания активного компонента йодида калия на поверхности активированной угольной ткани на величину динамической активности по сернистому ангидриду. Установлена прямая корреляция между увеличением содержания добавки йодида калия в образцах и ростом динамической активности по сернистому ангидриду. Подтверждена возможность применения полученного волокнистого хемосорбента в средствах индивидуальной защиты органов дыхания, предназначенных для поглощения сернистого ангидрида из воздуха при концентрациях 5–10 ПДК.

Ключевые слова: сернистый ангидрид, средства индивидуальной защиты органов дыхания, активная угольная ткань, хемосорбент.

E.A. Farberova, E.V. Chashchina, E.A. Tingaeva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

SORPTION STUDY OF SULFUROUS ANHYDRIDE WITH MODIFIED FIBROUS CHEMISORBENT

The work is devoted to the study of the possibility of creating a carbon fibrous chemisorbent to absorb sulfur dioxide from the air as part of personal respiratory protection at concentrations in the range of 5-10 MPC. Sorption of sulphur dioxide by modified fibrous chemisorbent was studied. The carrier used is an active carbon cloth with a developed pore system and, as a result, high sorption characteristics. The parameters of the porous structure of active carbon fabric, such as sorption volume of adsorption space, the volume of micropores, and the specific surface area according to the BET method, were determined. Potassium iodide is selected as an additive active with respect to sulphur dioxide. Modified samples were prepared by impregnating active carbon cloth in excess of a solution of a reactive component with different potassium iodide contents. The obtained samples were tested for dynamic activity on sulfur dioxide under the following conditions: concentration of sulfur dioxide in the air 0.05 mg/dm^3 (5 MPC) and 0.1 mg/dm^3 (10 MPC), specific gas-air flow rate $0.15 \text{ dm}^3/\text{min}\cdot\text{cm}^2$, thickness of the chemisorbent layer 0.6 mm. Influence of content of active component of potassium iodide on surface of activated carbon cloth on value of dynamic activity on sulphur dioxide is considered. A direct correlation was established between an increase in the content of potassium iodide additive in samples and an increase in dynamic activity for sulfur dioxide. The possibility of using the obtained fibrous chemisorbent in respiratory protective equipment designed to absorb sulfur dioxide from the air at concentrations in the range of 5-10 MPC has been confirmed.

Keywords: *sulfurous anhydride, respiratory protective equipment, active carbon tissue, chemisorbent.*

Введение. Экологическая обстановка, связанная с выбросами отходящих газов в атмосферу промышленными предприятиями, а также загрязнения производственных помещений требуют разработки эффективных методов очистки воздуха и защиты органов дыхания персонала от токсичных компонентов. Одним из токсичных газов-загрязнителей является диоксид серы (сернистый ангидрид), который при попадании в атмосферу окисляется в серный ангидрид под действием солнечного света, а затем во влажной атмосфере возможно образование серной кислоты [1]. Время существования оксидов серы и продуктов их трансформации в атмосфере составляет по данным различных исследований от нескольких часов до нескольких суток, за это время воздушными потоками они могут быть перенесены на большие расстояния [2].

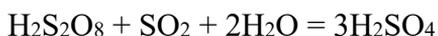
Сернистый газ относится к 3 классу опасности с ПДК в воздухе рабочей зоны (максимальной разовой) 10 мг/м³ (0,01 мг/дм³). Даже кратковременное воздействие сернистого газа на организм человека может нанести существенный вред не только органам дыхания, но и организму в целом.

В результате деятельности ряда промышленных производств (предприятий электроэнергетической отрасли, транспортных предприятий, предприятий металлургической, радиоэлектронной, нефтегазовой, пищевой промышленности) в качестве побочного продукта может образовываться диоксид серы.

Известны разные методы поглощения сернистого ангидрида из газов и воздуха.

Мокрые методы обезвреживания сернистого газа основаны на применении растворов гидроксида натрия; карбоната натрия; аммиака; соединений кальция, цинка и магния [3, 4]. Сухие методы заключаются в применении твердых сорбентов, таких как карбонаты, активированный уголь, пиролюзит и сорбенты на основе торфа. Сухая регенерация этих сорбентов затруднена, мокрая осуществляется обработкой растворами щелочи или соды [5].

В некоторых случаях используют восстановительную способность сернистого газа. Для его обезвреживания применяют метод окисления сернистого ангидрида пероксодисерной кислотой, что приводит к образованию серной кислоты [3, 4]:



Наиболее широкое распространение в большинстве стран получили адсорбционные способы очистки дымовых газов от сернистого ангидрида с использованием в качестве сорбента недорогих и недефицитных материалов (известь, известняк, каолин) [6].

Несмотря на наличие на предприятиях очистных сооружений, попадание в рабочую зону малых концентраций сернистого ангидрида, зачастую неизбежно, поэтому в таких ситуациях требуется защита органов дыхания персонала.

Существуют различные средства индивидуальной защиты органов дыхания от сернистого ангидрида [7, 8]. К ним относятся противогазы и респираторы. Противогазы применяют для защиты органов дыхания при высоких концентрациях вредных веществ в воздухе рабочей зоны, а респираторы – при низких в пределах 5–10 ПДК.

Коллективом авторов, возглавляемым профессором А.А. Эннаном, для сорбции сернистого ангидрида проведены исследования по возможности использования ионообменных волокнистых материалов (ИВС) [9]. Благодаря легкопроницаемой структуре ионообменных волокон они обеспечивают большую доступность функциональных групп поглощаемому веществу и высокую скорость сорбционного процесса.

Для сорбции кислых газов и аммиака тем же коллективом предложено использовать в качестве химически активных добавок карбонаты щелочных металлов, азотсодержащие органические основания, комплексные соединения хлорида никеля с моноэтаноламином и сульфата меди с полиэтиленполиамином, которые наносят на поверхность иглопробивного синтетического материала-носителя методом импрегнирования [10, 11].

В России в промышленных респираторах в качестве шихты используют хемосорбенты на основе дробленных и гранулированных активированных углей. Объем используемых в настоящее время в респираторных патронах сорбционных материалов имеет достаточно большую массу, что не всегда комфортно в условиях их длительного использования в течение всей рабочей смены сотрудниками предприятий. В связи с этим возникает задача создания хемосорбционного материала с высокими защитными свойствами, позволяющими снизить массу респиратора и повысить комфортность его использования.

В данной работе представлены результаты исследований по разработке волокнистого углеродного хемосорбента для поглощения сернистого ангидрида, содержащегося в воздухе в концентрациях на уровне 5–10 ПДК.

Поскольку масса 1 м² активированной угольной ткани (АУТ) составляет около 0,3 кг, использование такого хемосорбента позволит значительно снизить массу сменных фильтрующих конструкций в респираторе и, как следствие, уменьшить общую нагрузку при использовании изделия.

Известны различные методы модификации поверхности активной угольной ткани, как физические (термическая обработка) [12], так и химические: окисление растворами азотной кислоты, импрегнирование химически активными веществами, гидроксидами и оксидами [13–17].

В качестве носителя волокнистого хемосорбента могут быть применены тканые и нетканые материалы, изготовленные на основе химических (полиакрилонитрил, полиэфир, полипропилен и др.) или природных волокон (вискоза, хлопок), а также активированные углеродные волокнистые (АУВ) сорбенты и ионообменные волокна [18, 19]. Такие материалы могут служить эффективными хемосорбентами для очистки воздуха от химически опасных веществ при их концентрациях 5–10 ПДК.

Данная работа посвящена исследованию возможности создания углеродного волокнистого хемосорбента для поглощения сернистого ангидрида из воздуха при концентрациях в интервале 5–10 ПДК, которые могут быть предложены для использования в устройствах защиты органов дыхания от сернистого ангидрида, в частности в респираторах облегченного типа.

Методики эксперимента. Определение сернистого ангидрида проводилось фотометрическим методом, который основан на образовании окрашенного продукта в результате реакции сернистого ангидрида с фуксинформальдегидным реактивом (предел обнаружения 0,0003 мг в анализируемом объеме раствора; предел обнаружения в воздухе 0,6 мг/м³) [20].

Параметры пористой структуры активной угольной ткани: предельный объем адсорбционного пространства (W_0 , см³/г), объем микропор ($V_{ми}$, см³/г); удельную площадь поверхности по методу БЭТ ($S_{БЭТ}$, м²/г) определяли с использованием быстродействующего автоматического анализатора сорбции газов NOVA 1200e фирмы Quantachrome по азоту при температуре жидкого азота (77К). Использовалось программное обеспечение NovaWin.

Определение времени защитного действия (ВЗД) образцов волокнистых хемосорбентов по сернистому ангидриду проводилось по схеме, представленной на рис. 1. Время защитного действия волокнистого хемосорбента определялось как время от момента подачи на него газовой смеси, содержащей 0,05 или 0,1 мг/дм³ сернистого ангидрида при скорости потока 0,15 дм³/мин·см², до момента появления предельно допустимой концентрации за слоем фильтра по тест-веществу метиловому оранжевому при изменении окраски его раствора в воде (ГОСТ 12.4.159–90).

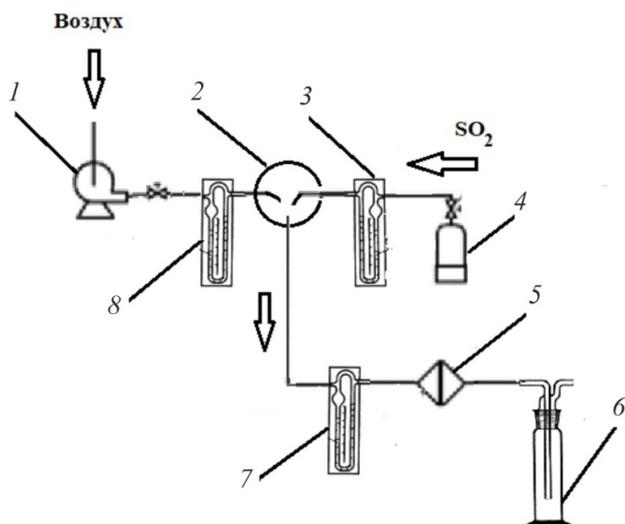
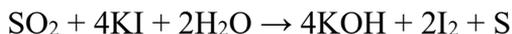


Рис. 1. Принципиальная схема динамической установки для определения динамической активности по диоксиду серы: 1 – компрессор; 2 – смеситель; 3, 7, 8 – реометры; 4 – баллон с SO₂; 5 – фильтр с испытуемым материалом; 6 – дроссель

Результаты и обсуждение. В качестве основы хемосорбента в данной работе исследовали образцы АУТ, полученные путем двухступенчатого термического модифицирования вязкого полотна.

Активная угольная ткань (АУТ) представляет собой материал с развитой пористой структурой ($S_{БЭТ} = 860 \text{ м}^2/\text{г}$, $W_0 = 0,49 \text{ см}^3/\text{г}$, $V_{\text{ми}} = 0,43 \text{ см}^3/\text{г}$), обладающий высокими сорбционными характеристиками.

В качестве активной добавки выбран йодид калия, проявляющий свойства восстановителя при взаимодействии с сернистым ангидридом, который при этом восстанавливается до элементарной серы, а йодид-ион окисляется до свободного йода. Взаимодействие сернистого ангидрида и йодида калия протекает в соответствии с уравнением реакции



Получена серия образцов методом пропитки АУТ растворами, содержащими йодид калия. Образцы высушены, определено содержание йодида калия, проведены испытания их по поглощению сернистого ангидрида при условиях: концентрация сернистого ангидрида в воздухе $0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (5 ПДК) и $0,1 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (10 ПДК), удельная скорость газовой воздушного потока $0,15 \text{ дм}^3/\text{мин} \cdot \text{см}^2$, толщина слоя хемосорбента $0,6 \text{ мм}$.

В таблице представлены результаты ВЗД образцов волокнистых хемосорбентов с добавкой йодида калия по сернистому ангидриду. На рис. 2 отображен характер изменения ВЗД от содержания KI в хемосорбенте.

Результаты испытания образцов хемосорбентов
по сернистому ангидриду

Содержание добавки KI, %	Время защитного действия по SO ₂ , мин	
	при 5 ПДК	при 10 ПДК
14,7	211	107
16,2	331	168
17,5	360	182
18,9	362	178
21,4	375	192

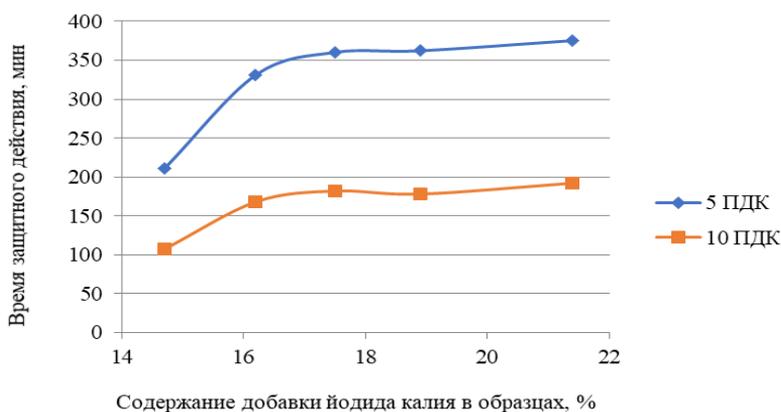


Рис. 2. Зависимость ВЗД по SO₂ от содержания KI в хемосорбенте

Из таблицы следует, что увеличение содержания добавки йодида калия в образцах хемосорбента с 14,7 до 21,4 % приводит к росту ВЗД по SO₂ при 5 ПДК на 77,8 %, а при 10 ПДК на 79,4 %. На рис. 2 видно, что при любой концентрации SO₂ в газовой смеси существенное увеличение ВЗД наблюдается до содержания добавки в хемосорбенте 17,5 %. Дальнейшее увеличение содержания KI в хемосорбенте нецелесообразно.

Продукты взаимодействия серы и йод оседают и прочно закрепляются на поверхности АУТ. Применение предлагаемого хемосорбента в респираторных патронах типа Р позволит снизить его массу в ~15 раз.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность создания эффективного поглотителя диоксида серы на основе активированной угольной ткани. Определено оптимальное содержание добавки йодида калия в хемосорбенте 17,5 %.

Список литературы

1. Маляренко, В.А. Введение в инженерную экологию энергетики: учеб. пособие / В.А. Маляренко. – Харьков: САГА, 2008. – 185 с.
2. Алферова, Т.В. Экология энергетики: курс лекций / Т.В. Алферова, О.М. Попова; Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого. – Гомель, 2008. – 123 с.
3. Носков, А.С. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики / А.С. Носков, З.П. Пай; АН СССР. – Новосибирск, 1996. – 155 с.
4. Носков, А.С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А.С. Носков, М.А. Савинкина, П.Я. Анищенко; АН СССР. – Новосибирск, 1990. – 590 с.
5. Родионов, А.И. Технологические проблемы экологической безопасности / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. – 800 с.
6. Эшмухамедов, М.А. Очистка газовых выбросов от диоксида серы с помощью активированного гранулированного сорбента / М.А. Эшмухамедов, Т.В. Понамарева, Е.Г. Раевская // Химическая безопасность. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 170–182.
7. Кудрявцева, Л.Ю. Хемосорбционные материалы для газопылезащитных респираторов / Л.Ю. Кудрявцева, Е.А. Фарберова, Г.К. Ивахнюк // Журн. прикл. хим. – 1997. – Т. 70, № 5. – С. 751–754.
8. Средства защиты населения. Порядок выбора, хранения, накопления и использования: учеб. пособие / П.Л. Шишкин [и др.]; Урал. ин-т ГПС МЧС России. – Екатеринбург, 2017. – 132 с.
9. Байденко, В.И. Разработка и применение волокнистых хемосорбентов в практике индивидуальной противогазовой защиты / В.И. Байденко, А.А. Эннан, Ю.С. Захаренко // Вісник Одеського національного університету. Хімія. – 2003. – Т. 8, № 7-8. – С. 24–39.
10. Хемосорбция оксида серы (IV) волокнистыми материалами, импрегнированными полиэтиленполиамином / Р.Е. Хома, А.А. Эннан, Р.М. Дубовский, Н.Н. Абрамова // Вісник Одеського національного університету. Хімія. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 92–101.
11. Волокнистый хемосорбент оксида серы (IV) на основе комплексных соединений сульфата меди (II) с полиэтиленполиамином / А.А. Эннан, Р.Е. Хома, Р.М. Дубовский, В.В. Гриднев, Т.В. Михайлова // Вісник Одеського національного університету. Хімія. – 2016. – № 23, 2. – С. 95–105.
12. Меньшова, И.М. Углеродные волокна и адсорбционные процессы / И.М. Меньшова, Ю.М. Аверина, Е. Заболотная // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – № 66, 3. – С. 52–58.
13. Мелешко, А.И. Углерод. Углеродные волокна. Углеродные композиты / А.И. Мелешко, С.П. Половников. – М.: Сайнспресс, 2007. – 192 с.

14. Перепелкин, К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной и легкой промышленности / К.Е. Перепелкин // Российский химический журнал. – 2002. – № XLVI. – С. 31–48.

15. Земскова, Л.А. Модифицированные углеродные волокна: сорбенты, электродные материалы, катализаторы / Л.А. Земскова // Вестник ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 39–52.

16. Органоминеральные композиты оксид меди/хитозан/углеродное волокно, полученные методом электроосаждения / Л.А. Земскова, А.В. Войт, Т.А. Кайдалова [и др.] // Журн. прикл. хим. – 2012. – Т. 85, № 8. – С. 1273–1281.

17. Композиционные сорбенты на основе синтетического оксида марганца и углеродного волокна / Л.А. Земскова, А.В. Войт, Н.Н. Баринов [и др.] // Журн. неорг. химии. – 2016. – Т. 61, № 12. – С. 1628–1634.

18. Эннан, А.А. Импрегнированные волокнистые хемосорбенты / А.А. Эннан, В.И. Байденко, Ю.С. Захаренко // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2011. – № 1. – С. 50–56.

19. Генис, А.В. Химические волокна / А.В. Генис, А.В. Кузнецов // Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки: науч.-практ. сем. – Минск, 2015. – С. 27–45.

20. Павловская, Г.С. Методические указания на определение вредных веществ в воздухе / Г.С. Павловская, В.Г. Овечкин; ЦРИА «Морфлот». – М., 1981. – 256 с.

References

1. V.A. Maljarenko, Vvedenie v inzheneruju jekologiju jenergetiki: Uchebnoe posobie [Introduction to Energy Engineering Ecology: A Textbook]. SAGA, Har'kov. 2008. 185 p.

2. T.V. Alferova, O.M. Popova, Jekologija jenergetiki: kurs lekcij [Ecology of energy: course of lectures]. Gomel'skij gos. tehn. un-t im. P.O. Suhogo, Gomel', 2008. 123 p.

3. A.S. Noskov, Z.P. Paj, Tehnologicheskie metody zashhity atmosfery ot vrednyh vybrosov na predpriyatijah jenergetiki [Technological methods of protecting the atmosphere from harmful emissions at energy enterprises]. AN SSSR, Novosibirsk, 1996. 155 p.

4. A.S. Noskov, M.A. Savinkina, P.Ja. Anishhenko, Vozdejstvie TJeS na okruzhajushhiju sredu i sposoby snizhenija nanosimogo ushherba [Impact of thermal power plants on the environment and ways to reduce the damage caused]. AN SSSR, Novosibirsk, 1990. 590 p.

5. A.I. Rodionov, V.N. Klushin, V.G. Sister, Tehnologicheskie problemy jekologicheskoy bezopasnosti [Technological problems of environmental safety]. Izd-vo N.Bochkarevoj, Kaluga, 2000. 800 p.

6. M. A. Jeshmuhamedov, T. V. Ponamareva, E. G. Raevskaja, Ochistka gazovyh vybrosov ot dioksida sery s pomoshh'ju aktivirovannogo granulirovannogo sorbenta [Cleaning of gas emissions from sulfur dioxide using activated granular sorbent]. *Himicheskaja bezopasnost'* [Chemical safety]. 2020, vol. 4, no. 1, pp. 170–182.

7. L.Ju. Kudrjavceva, E.A. Farberova, G.K. Ivahnjuk, Hemosorbcionnye materialy dlja gazopylezashhitnyh respiratorov [Chemisorption materials for gas-dust respirators]. *Zhurn.prikl.him.* 1997, vol. 70, no. 5, pp. 751–754.

8. Shishkin, P. L. Sredstva zashhity naselenija. Porjadok vybora, hranenija, nakoplenija i ispol'zovanija [Tekst] : ucheb. posobie [Means of population protection. Procedure for selection, storage, accumulation and use [Text]: textbook. manual]. Special'nost' 20.05.01 Pozharnaja bezopasnost'. Napravlenie podgotovki 20.03.01 Tehnosfernaja bezopasnost'. Napravlenie podgotovki 38.03.04 Gosudarstvennoe i municipal'noe upravlenie / P. L. Shishkin [i dr.]. – Ekaterinburg : Ural'skij institut GPS MChS Rossii, 2017. 132 p.

9. V. I. Bajdenko, A.A. Jennan, Ju.S. Zaharenko, Razrabotka i primenenie voloknistyh hemosorbentov v praktike individual'noj protivogazovoj zashhity [Development and application of fibrous chemisorbents in the practice of individual gas protection]. *Visnik Odes'kogo nacional'nogo universitetu. Himija.* 2003, vol. 8, no. 7-8, pp. 24–39.

10. R.E. Homa, A.A. Jennan, R.M. Dlubovskij, N.N. Abramova, Hemosorbcija oksida sery (IV) voloknistymi materialami, impregnirovannymi polijetilenpoliaminom [Chemisorption of sulfur (IV) oxide by fibrous materials impregnated with polyethylenepolyamine]. *Visnik Odes'kogo nacional'nogo universitetu. Himija.* 2016, vol. 21, no. 1, pp. 92–101.

11. A.A. Jennan, R.E. Homa, R.M. Dlubovskij, V.V. Gridnev, T.V. Mihajlova, Voloknistyj hemosorbent oksida sery (IV) na osnove kompleksnyh soedinenij sul'fata medi (II) s polijetilenpoliaminom [Fibrous chemisorbent of sulfur (IV) oxide based on complex compounds of copper (II) sulfate with polyethylenepolyamine]. *Visnik Odes'kogo nacional'nogo universitetu. Himija.* 2016, no. 23, 2, pp. 95–105.

12. I.M. Men'shova, Ju.M. Averina, E. Zabolotnaja E. Uglerodnye volokna i adsorbcionnye process [Carbon fibers and adsorption processes]. *Izv. vuzov. Himija i him. tehnologija.* 2023, no. 66, 3, pp. 52–58.

13. A.I. Meleshko, S.P. Polovnikov, Uglerod. Uglerodnye volokna. Uglerodnye kompozity [Carbon. Carbon fibers. Carbon composites]. *Sajnspress, Moskva,* 2007. 192 p.

14. K.E. Perepelkin. Sovremennye himicheskie volokna i perspektivy ih primenenija v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti [Modern chemical fibers and prospects for their application in textile and light industry]. *Rossijskij himicheskij zhurnal.* 2002, no. XLVI, pp. 31–48.

15. Zemskova L. A., Modificirovannye uglerodnye volokna: sorbenty, jelektrodnye materialy, katalizatory [Modified carbon fibers: sorbents, electrode materials, catalysts]. *Vestn. DVO RAN.* 2009, no. 2, pp. 39–52.

16. Zemskova L.A., Vojt A.V., Kajdalova T.A. i dr. Organomineral'nye kompozity oksid medi/hitozan/uglerodnoe volokno, poluchennye metodom jel'ektroosazhdenija [Copper oxide/chitosan/carbon fiber organomineral composites obtained by electrodeposition]. Zhurn.prikl.him. 2012, vol. 85, no. 8, pp. 1273-1281.

17. Zemskova L.A., Vojt A.V., Barinov N.N. i dr. Kompozicionnye sorbenty na osnove sinteticheskogo oksida marganca i uglerodnogo volokna [Composite sorbents based on synthetic manganese oxide and carbon fiber]. Zhurn. neorg. himii. 2016, vol. 61, no. 12, pp. 1628-1634.

18. A.A. Jennan, V.I. Bajdenko, Ju.S. Zaharenko, Impregnirovannye voloknistye hemosorbenty [Impregnated fibrous chemisorbents]. 1, 50–56 (2011).

19. A.V. Genis, A.V. Kuznecov, Himicheskie volokna [Chemical fibers]. Nauchno-prakticheskij seminar «Volokna i voloknistye materialy special'nogo naznacheniya. Issledovaniya i razrabotki». Minsk, 2015, pp. 27–45.

20. G.S.Pavlovskaja, V.G. Ovechkin, Metodicheskie ukazaniya na opredele-nie vrednyh veshhestv v vozduhe [Guidelines for the determination of harmful substances in the air], CRIA «Morflot», Moskva, 1981. 256 p.

Об авторах

Елена Абрамовна Фарберова (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com);

Екатерина Вячеславовна Чашина (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: ekaterinakornilova95@yandex.ru);

Елена Александровна Тиньгаева (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология», Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: teengaeva@mail.ru).

About the authors

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – PhD in Chemistry, associate professor of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, e-mail: elenafarb@gmail.com).

Ekaterina V. Chaschina (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, e-mail: ekaterinakornilova95@yandex.ru).

Elena A. Tingaeva (Perm, Russian Federation) – PhD in Chemistry, associate professor of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614000, e-mail: teengaeva@mail.ru).

Поступила: 22.01.2025

Одобрена: 05.02.2025

Принята к публикации: 12.02.2025

Финансирование. Работа выполнена с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования «Центр наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» и научно-образовательного центра технологии сорбентов и катализаторов ПНИПУ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Фарберова, Е.А. Исследование сорбции сернистого ангидрида модифицированным волокнистым хемосорбентом / Е.А. Фарберова, Е.В. Чащина, Е.А. Тиньгаева // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2025. – № 1. – С. 5–16.

Please cite this article in English as:

Farberova E.A., Chashchina E.V., Tingaeva E.A. Sorption study of sulfurous anhydride with modified fibrous chemisorbent. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2025, no. 1, pp. 5-16 (*In Russ*).