

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО ХИМПОГЛОТИТЕЛЯ АММИАКА

Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, К.Г. Кузьминых, С.А. Смирнов

Елена Абрамовна Фарберова, Елена Александровна Тиньгаева *

Кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: elenafarb@gmail.com, teengaeva@mail.ru *

Константин Геннадьевич Кузьминых, Сергей Александрович Смирнов

Кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990

E-mail: kgkuz@mail.ru, po4tamoia@mail.ru

Настоящая работа посвящена исследованию зависимости свойств химпоглопителя аммиака от условий его синтеза. В качестве носителя химпоглопителя использовали гранулированный активный уголь АГ с предельным объемом сорбционного пространства 0,512 см³/г и объемом микропор 0,414 см³/г. В качестве активной по отношению к аммиаку добавки выбрана соль – сульфат меди (II). Образцы химпоглопителя получали путем импрегнирования углеродного носителя горячим раствором активного компонента. Пропиточный раствор готовили двумя методами-традиционным, растворяя навеску соли в горячей воде, и с применением ультразвуковой обработки. Установлено, что с увеличением общего содержания CuSO₄ в поглотителе до 9 % масс. доля связанной меди уменьшается, однако при содержании выше этого значения доля связанной (неактивной) формы меди (II) в химпоглопителе практически не изменяется. Наличие на поверхности активного угля кислородсодержащих функциональных групп основного характера приводит к взаимодействию их с ионами меди (II) пропиточного раствора и дезактивирует их по отношению к аммиаку. Показано изменение характера пористой структуры химпоглопителя при внесении активной добавки сульфата меди (II) на поверхность активного угля АГ от условий приготовления пропиточного раствора и скорости сушки полупродукта. Проведены исследования по использованию ультразвука в процессе приготовления раствора сульфата меди, применение которого приводит к формированию на поверхности носителя кристаллитов активной добавки значительно меньших размеров (1–5 нм) по сравнению с термическим методом приготовления раствора (8–12 нм). Емкость химпоглопителя по аммиаку при этом возрастает в 3,5–4,5 раза.

Ключевые слова: углеродный химпоглонитель аммиака, гранулированный активный уголь, ультразвуковая обработка, пористая структура, активная добавка, связанная и активная форма меди(II)

IMPROVEMENT OF PROCESS FOR PRODUCTION OF CARBON CHEMICAL ABSORBER FOR AMMONIA

E.A. Farberova, E.A. Tingaeva, K.G. Kuzminykh, S.A. Smirnov

Elena A. Farberova, Elena A. Tingaeva *

Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave., 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: elenafarb@gmail.com, teengaeva@mail.ru *

Konstantin G. Kuzminykh, Sergey A. Smirnov

Department of Engineering Chemistry, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolskiy ave, 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: kgkuz@mail.ru, po4tamoia@mail.ru

The present work is devoted to the study of the dependence of ammonia chemical absorber properties on the conditions of the absorber synthesis. As a chemical absorber carrier the granulated active carbon of AG type with sorption space maximum volume of 0.512 cm³/g and with micropore volume of 0.414 cm³/g was used. The copper sulfate (II) salt was taken as an ammonia-reactive additive. Samples of the chemical absorber were obtained by impregnating the carbon carrier with a hot solution of the active component. The impregnating solution was prepared by two methods: traditional one, with dissolving the salt sample in hot water and the second one, with the use of ultrasonic treatment. It was found that with an increase in CuSO₄ total content in the absorber to 9% by weight the proportion of bound (inactive) copper decreased; however, at the content above this value the share of bound (inactive) copper (II) form in the chemical absorber practically did not change. The presence of oxygen-containing functional groups with basic character on the active carbon surface leads to their interaction with copper (II) ions of the impregnating solution and deactivates them as related to ammonia. The change in the nature of the chemical absorber porous structure when adding a copper sulfate (II) active additive onto the surface of the active AG coal depending on conditions of impregnating solution preparation and the semi-product drying rate is shown. Studies on the use of ultrasound in the preparation of copper sulfate solution have been conducted. Such use leads to the formation of active additive crystallites on the carrier surface. These crystallites are of much smaller size (1–5 nm) in comparison with ones formed by the thermal method of solution preparation (8–12 nm). Herewith, the capacity of the chemical absorber as related to ammonia increases by 3.5–4.5 times.

Key words: ammonia carbon chemical absorber, granulose fissile carbon, ultrasonic processing, porous structure, active additive, copper (II) bound and fissile form

Для цитирования:

Фарберова Е.А., Тингаева Е.А., Кузьминых К.Г., Смирнов С.А. Усовершенствование технологии получения углеродного хемпоглопителя аммиака. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 117–123

For citation:

Farberova E.A., Tingaeva E.A., Kuzminykh K.G., Smirnov S.A. Improvement of process for production of carbon chemical absorber for ammonia. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 9. P. 117–123

ВВЕДЕНИЕ

Аммиак – газ, который попадает в атмосферный воздух с отходящими газами некоторых промышленных производств. Он токсичен, вызывает раздражение верхних дыхательных путей человека. ПДК его составляет 20 мг/м³ [1]. В связи с этим проблема очистки воздуха и промышленных выбросов [2], а также защита органов дыхания работающих от аммиака является весьма актуальной [3, 4].

Известны работы по удалению аммиака из загрязненного воздуха с помощью его хемосорбционного связывания на твердых сорбентах: пористом оксиде алюминия, силикагеле, модифицированном наночастицами переходных металлов [5,6]. В средствах индивидуальной защиты органов дыхания используются хемосорбенты аммиака, получаемые на основе активных углей (АУ), импрегнированных солями металлов, способных к образованию комплексов с аммиаком (CuSO₄, CuCl₂, NiCl₂, ZnCl₂ и др.) [7-11]. Известны способы получения сорбентов на основе углеродных волокон [12]. В работе [13] показано, что наиболее активной добавкой для поглощения аммиака из газовой фазы

является CuSO₄ по сравнению с другими соединениями, способными к комплексообразованию с аммиаком.

Поглощение аммиака осуществляется за счет его хемосорбционного взаимодействия с сульфатом меди на поверхности активного угля; при этом образуются координационные соединения состава [Cu(NH₃)₄]²⁺ и [Cu(NH₃)₃]²⁺.

При импрегнировании активного угля раствором сульфата меди (II) часть CuSO₄ размещается на поверхности транспортных пор АУ, а часть хемосорбционно закрепляется за счет поверхностных кислородсодержащих функциональных групп.

В работе [13] показано, что связанная форма CuSO₄ не участвует во взаимодействии с аммиаком и является балластом в хемосорбенте. В исследовании [13] сделана попытка выявить причины образования связанной меди и предложить способы снижения ее доли в общем содержании меди (II) в поглотителе.

Целью данной работы являлось усовершенствование способа получения хемпоглопителя аммиака и повышение его хемосорбционной способности по аммиаку.

В качестве основы поглотителя использовали гранулированный уголь марки АГ с размером гранул от 1-1,5 мм со следующими характеристиками: суммарный объем пор по воде – 0,97 см³/г; время защитного действия по бензолу – 56 мин; время защитного действия по хлористому этилу – 35 мин.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Пористая структура образцов определялась на быстродействующем анализаторе удельной поверхности и пористости *NOVA 1200e* методом физической адсорбции азота при 77 К [14]. Результаты анализа пористой структуры исследуемого образца АГ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика пористой структуры исследуемого образца АГ
 Table 1. The characteristic of a porous structure of the studied sample of AC

| Показатель | Обозначение | Значение показателя |
|--|------------------|---------------------|
| Удельная поверхность по БЭТ, м ² /г | S _{БЭТ} | 1020 |
| Поверхность микропор, м ² /г | S _{МИ} | 1166 |
| Предельный объем сорбционного пространства, см ³ /г | W _о | 0,512 |
| Объем мезопор, см ³ /г | V _{МЕ} | 0,0826 |
| Объем микропор, см ³ /г | V _{МИ} | 0,414 |
| Размер мезпор, нм | R _{МЕ} | 1,904 |
| Полуширина щели микропор пор, нм | R _{МИ} | 0,817 |
| Характеристическая энергия адсорбции, кДж/моль | E _о | 15,914 |

В углеродном скелете активного угля зачастую присутствуют атомы, связанные с углеродом химически: атомы водорода (до 1 масс. %), азота (до 0,5 масс. %) и кислорода, содержание которого может превышать 5 масс. %. Поверхностные оксиды основного и кислотного характера значительно влияют на полярные свойства поверхности и его адсорбционную способность. Природа основных групп до конца не выяснена. В ряде работ основные свойства поверхности АУ объясняют наличием поверхностных хинонных, бензпиреновых или хроменовых структур с локализацией положительного заряда на ионе карбония или атоме кислорода. Кислотные функциональные группы на поверхности АУ могут быть представлены метоксильными, карбоксильными, фенольными и др. [15].

Содержание кислородсодержащих функциональных групп кислотного и основного характера на поверхности АУ определяли химическим методом по взаимодействию пробы угля с растворами гидроксида натрия и хлороводородной кислоты [14]. Установлено, что используемый в работе образец активного угля на поверхности содержит преимущественно кислородсодержащие функциональные группы основного характера (1,2 ммоль-экв./г). Содержание групп кислотного характера (0,45 ммоль-экв./г) примерно в 3 раза ниже, чем основных групп.

В образцах поглотителя аммиака содержание общей и водорастворимой меди определяли методом титрования их кислотных и водных вытяжек раствором Трилона Б с концентрацией 0,1 н в присутствии мурексида и ацетатного буферного

раствора. Содержание связанной меди рассчитывали как разность между общим содержанием внесенного в образец CuSO₄ и содержанием водорастворимой формы. Чувствительность метода 5%.

Состояние поверхности полученных образцов поглотителя исследовано с использованием сканирующего электронного микроскопа *S-3400N* фирмы «Hitachi». Исследование фазового состава образца проводилось с использованием рентгеновского дифрактометра *XRD-7000* фирмы «Shimadzu». Чувствительность метода 2%.

Испытания полученных образцов поглотителя по аммиаку проводили в динамической колонке в неподвижном слое поглотителя длиной 20 мм при скорости подачи аммиака из баллона 10-12 см³/мин в течение 40 мин. Определение содержания аммиака проводили фотоколориметрическим методом в присутствии реактива Несслера [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе активного угля марки АГ получены образцы химвоспитателя с различным содержанием добавки путем импрегнирования активного угля горячим раствором CuSO₄, с последующим вылеживанием полученного полупродукта и его сушкой при температурах 100 и 200 °С. На рис. 1 представлена зависимость изменения доли связанной формы Cu(II) (*q*) от общего содержания CuSO₄ в образце (C_{общ}).

Показано, что температура сушки пропианных растворами сульфата меди образцов АУ оказывает незначительное влияние на соотношение в образцах связанной и активной форм сульфата меди.

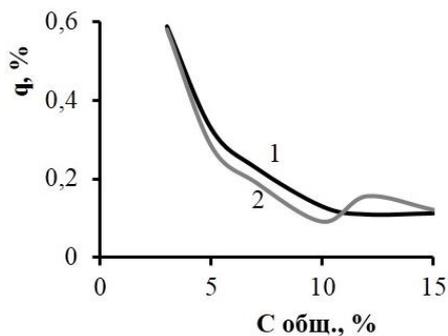


Рис.1. Зависимость доли связанной формы Cu(II) от содержания CuSO₄ в образце: 1 – температура сушки 100 °С; 2 – температура сушки 200 °С

Fig.1. Dependence of proportion of the bound Cu (II) form on the content of CuSO₄ in a sample: 1 – drying temperature is 100 °C; 2 – drying temperature is 200 °C

С увеличением общего содержания CuSO₄ в поглотителе до 9% масс. доля связанной меди уменьшается, однако при содержании выше этого значения доля связанной (неактивной) формы меди (II) в химпоглотителе практически не изменяется. Это может быть объяснено наличием на поверхности активного угля-носителя поглотителя кислородсодержащих функциональных групп основного характера [15, 17, 18], которые участвуют во взаимодействии с ионами меди (II) пропиточного раствора, что и приводит к дезактивации их по отношению к аммиаку. Этим объясняется наличие фазы гидросульфата меди (II) на поверхности поглотителя, что подтверждается данными рентгенофазового анализа.

Изучены характеристики пористой структуры полученных образцов поглотителя и показаны их зависимости от соотношения свободной и связанной форм меди в образце.

На рис. 2 приведена зависимость изменения параметров пористой структуры (ΔX) от доли связанной меди (q) в поглотителе, полученном с использованием раствора, приготовленного термическим методом.

Очевидно, что при соотношении медь связанная/медь общая более 0,1 характер пористой структуры поглотителя практически не меняется. Резкое снижение основных параметров пористой структуры поглотителя по сравнению с активным углем наблюдается при соотношении форм меди (II) не более 0,1, что примерно соответствует общему содержанию меди (II) до 9,0% масс.

В промышленной технологии для получения химпоглотителя с содержанием 15-17% CuSO₄ используют раствор сульфата меди с концентрацией 2,40-2,47 моль/дм³.

Приготовление раствора такой высокой концентрации возможно только при температуре

80-90 °С, что связано с технологическими трудностями: длительный процесс растворения, необходимость интенсивного перемешивания, необходимость использования нагретого до температуры 80-90 °С растворителя.

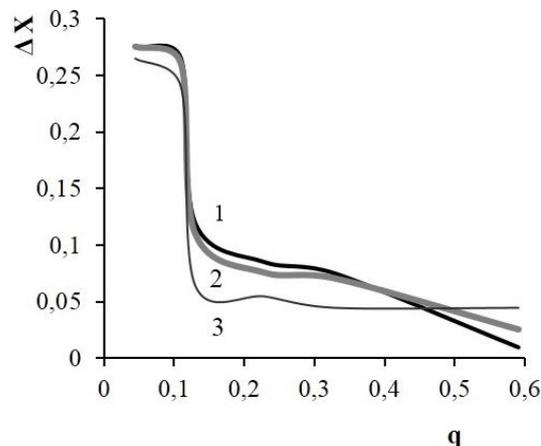


Рис.2. Зависимость изменения параметров пористой структуры поглотителя от доли связанной меди: 1 – изменение удельной поверхности; 2 - изменение объема микропор; 3 - изменение предельного объема сорбционного пространства

Fig.2. Dependence of changes in the parameters of the porous structure of the absorber on the proportion of bound copper: 1 – change in specific surface area; 2 - change in volume of micropores; 3 - change in the extreme volume of sorption space

Растворение – физико-химический процесс, который характеризуется переходами твердого вещества в раствор и протекает между твердой и жидкой фазами. Процесс растворения, завершающийся исчезновением твердой фазы, можно рассматривать, как перенос растворяемого веществ из твердой фазы в растворитель.

Для оптимизации условий приготовления концентрированного пропиточного раствора и повышения сорбционной емкости поглотителя исследована возможность использования ультразвука.

При воздействии на среду ультразвука уменьшается динамическая вязкость полярного растворителя (воды). Размеры пор и микротрещин, имеющих в твердой фазе, при этом увеличиваются. При возникновении ультразвукового знакопеременного давления ($\pm 5 \cdot 10^5$ Па) в жидкости, находящейся в трещине, создаются колебательные тангенциальные смещения микрообъемов растворителя вдоль стенок твердой фазы, которые переходят в однонаправленное движение раствора. Возникают быстрые течения: звуковой ветер, кавитация. Молекулярная диффузия практически сменяется достаточно быстрым конвективным массопереносом. Интенсификация процесса растворения, а равно и коэффициент диффузии зависят от значений амплитуды и частоты вынужденных колебаний жидкости.

Анализ диффузионного процесса при акустическом воздействии показывает, что на скорость процесса растворения влияют как выравнивание концентрации, происходящее под действием акустических течений и микротечений, так и снятие диффузионных ограничений на границе раздела сред, вызываемое кавитационными пузырьками [19-21].

Известно, что при использовании ультразвука при обычной температуре (0-25 °С) увеличивается предел растворимости в диапазоне трудно и практически нерастворимых веществ, причем концентрация насыщения может превышать известные константы в 5-30 раз [19-21].

Приготовление раствора осуществляли двумя методами: термическим и с использованием ультразвуковых колебаний с частотой 22 кГц (интенсивность ультразвукового излучения составляла 25 Вт/см²). Раствор сульфата меди (II) готовили, помещая навеску CuSO₄·5H₂O в емкость, заливали водой с температурой 20-25 °С, в систему вводили ультразвуковой излучатель с частотой излучения 22 кГц. Раствор обрабатывали ультразвуком до полного растворения соли. В процессе растворения при ультразвуковой обработке температура поднималась до 80 °С. Для сравнения готовили раствор сульфата меди (II) с такой же концентрацией традиционным методом – путем растворения соли при постоянном перемешивании и нагревании до температуры 80-90 °С.

Исследована кинетика кристаллизации растворов, полученных термическим и ультразвуковым методами. При помощи программируемого циркуляционного термостата проводили охлаждение до температуры 25 °С со скоростью 2 °С/мин. В момент достижения температуры 80, 70, 60, 50, 40, 30 и 25 °С при помощи зондовой системы «PVM Lasentec V819» проводили анализ размеров частиц в суспензии. С помощью датчика, помещенного в суспензию, производилось фотографирование частиц. Система позволила определить линейные размеры (d), форму, количественный фракционный состав (N), средний числовой размер кристаллов.

При помощи зондовой системы обнаружено, что независимо от способа приготовления раствора (термический или ультразвуковой), кри-

сталлизация соли начинается при температуре менее 50 °С.

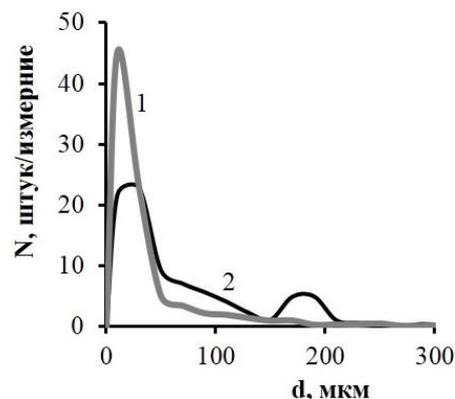


Рис. 3. Распределение частиц в суспензии при температуре 25 °С: 1 – с помощью обработки ультразвуком, 2- термическим способом приготовления исходного раствора.

Fig. 3. Distribution of particles in suspension at a temperature of 25 °С: 1 – by means of processing ultrasound, 2-by thermal way of preparation of initial solution

При охлаждении раствора сульфата меди, полученного с помощью ультразвука, в суспензии наблюдается образование твердых частиц сульфата меди (II) значительно меньшего размера, чем при кристаллизации из раствора, приготовленного термическим способом.

Уменьшение размеров частиц при кристаллизации из раствора, приготовленного в ультразвуковом поле, может быть связано с увеличением скорости зарождения центров кристаллизации и диспергированием растущих кристаллов.

С применением полученных разными способами растворов изготовлены образцы поглотителя. Пропитанные активные угли подвергали сушке при различных условиях: при подъеме температуры до 200 °С за 3 мин и при подъеме температуры до 200 °С за 200 мин. Скорость процесса сушки пропитанного поглотителя влияет как на распределение активной добавки на поверхности носителя, так и на размеры кристаллов активного компонента.

В табл. 2 представлены результаты исследования пористой структуры и сорбционных свойств по аммиаку образцов поглотителей, полученных при разных условиях.

Таблица 2

Зависимость свойств пористой структуры химпоглотителя от метода его получения

Table 2. Dependence of properties of a porous structure of the chemical absorber on a method of its preparation

| Образец | | Характеристика пористой структуры | | | | | Поглощение аммиака | |
|--------------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| Метод получения раствора | Сушка | S _{бэт} , м ² /г | W ₀ , см ³ /г | V _{ми} , см ³ /г | V _{ме} , см ³ /г | R _{ми} , нм | Емкость, мг/г | Степень поглощения, % |
| Термич. Уз | 200 °С, | 564 | 0,298 | 0,237 | 0,061 | 0,88 | 13,49 | 5,1 |
| | 3 мин | 628 | 0,328 | 0,262 | 0,05 | 0,89 | 59,99 | 22,8 |
| Термич. Уз | 200 °С, | 638 | 0,335 | 0,263 | 0,072 | 0,86 | 19,51 | 7,25 |
| | 200 мин | 649 | 0,343 | 0,274 | 0,057 | 0,91 | 67,53 | 26,3 |

Поглотитель, полученный из раствора сульфата меди УЗ-обработки, имеет более развитую, пористую структуру. Это может быть объяснено тем, что при пропитке активного угля раствором, полученным с применением УЗ, на поверхности носителя формируются частицы активной добавки, имеющие значительно меньшие размеры, чем при использовании традиционно приготовленного раствора. Это подтверждается данными электронной микроскопии.

На рис. 4 представлена микрофотография поверхности образца поглотителя, пропитка которого осуществлялась УЗ способом.

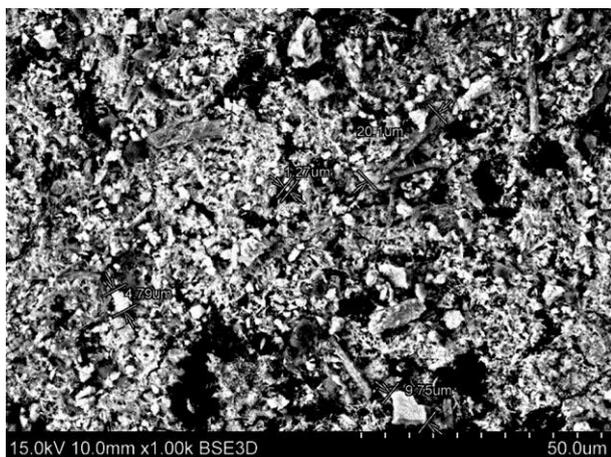


Рис.4. Электронная микрофотография поперечного среза образца поглотителя, полученного УЗ способом, увеличение 150X
Fig. 4. Electronic microphotograph of a cross cut of a sample of the adsorbent received by the ultrasonic way, magnification is 150X

Показано, что при использовании раствора, приготовленного УЗ способом, формируются кристаллы активного компонента, размер которых находится в пределах 1-5 нм, тогда как при пропитке раствором, приготовленным термическим способом, основную массу составляют кристаллы

величиной 8-12 нм. Емкость поглотителя, прошедшего УЗ обработку, по аммиаку возрастает в 3,5-4,5 раза по сравнению с поглотителем, полученным традиционным методом.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования по изучению влияния условий синтеза химпоглотителя аммиака на основе активного угля на изменение характера его пористой структуры по сравнению со структурой носителя. Показано, что резкое снижение основных параметров пористой структуры поглотителя по сравнению с активным углем наблюдается при соотношении связанной (неактивной) формы меди (II) к общему содержанию сульфата меди не более 0,1, что соответствует общему содержанию сульфата меди (II), не превышающему 9,0% масс. Дальнейшее увеличение содержания активной добавки практически не влияет на пористость химпоглотителя.

С целью повышения сорбционной емкости химпоглотителя по аммиаку проведены исследования по оптимизации процесса приготовления пропиточного раствора с использованием ультразвука. Установлено, что пропиточный раствор, приготовленный путем растворения кристаллического сульфата меди (II) в воде при воздействии ультразвука, обеспечивает получение химпоглотителя с более развитой пористой структурой, при этом частицы активной добавки на поверхности носителя имеют значительно меньшие размеры (1-5 нм), чем при использовании традиционно приготовленного пропиточного раствора (8-12 нм).

Сорбционная емкость химпоглотителя по аммиаку, полученного с применением пропиточного раствора ультразвуковой обработки, составила 59,99-67,53 мг NH₃/г поглотителя, что в 3,5-4,5 раза больше по сравнению с поглотителем, полученным традиционным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера». 2015. 527 с.
2. Пашковский П.С., Жильцов А.Н., Жильцов Н.П. Образование паров аммиака при аварийных выбросах. *Науч. вестн. НИИГД Респиратор*. 2017. № 2 (54). С. 51-58.
3. Кошелев В.Е., Тарасов В.И. Просто о непростом в применении средств защиты дыхания. Пермь: Стиль-МГ. 2007. 280 с.
4. Олонцев В.Ф., Олонцев В.В. Научные основы создания фильтрующих противогазов. Пермь: Пермский ЦНТИ. 2005. 177 с.
5. Горшунова В.П., Спиридонов Б.А., Федянин В.И. Сорбция аммиака пористым оксидом алюминия, модифицированным наночастицами некоторых переходных металлов. *Вестн. ВГТУ*. 2009. Т. 5. № 12. С. 136-137.

REFERENCES

1. The list and codes of the substances polluting free air. SPb.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2015.527 p. (in Russian).
2. Pashkovsky P.S., Zhiltsov A.N., Zhiltsov N.P. Formation of vapors of ammonia at the emergency emissions. *Nauch. Vestn. NIIGD Respirator*. 2017. N 2 (54). P. 51-58 (in Russian).
3. Koshelev V.E., Tarasov V.I. Just about not prime in use of means of protection of respiration. Perm: Stil-MG. 2007. 280 p. (in Russian).
4. Olontsev V.F., Olontsev V.V. Scientific bases of creation of the filtering gas masks. Perm: Perm Centre for scientific and technical information. 2005. 177 p. (in Russian).
5. Gorshunova V.P., Spiridonov B.A., Fedyanin V.I. An ammonia sorption the porous adamant modified by nanoparticles of some transitional metals. *Vestn. VGTU*. 2009. V. 5. N 12. P. 136-137 (in Russian).

6. **Горшунова В.П., Хаустова М.М.** Исследование сорбции аммиака силикагелями разной пористости. *Vestn. VGTU*. 2010. Т. 6. № 11. С. 19-21.
7. **Bandosz T.J., Petit C.** On the reactive adsorption of ammonia on activated carbons modified by impregnation with inorganic compounds. *J. Colloid Interface Sci.* 2009. V. 338. N 2. P. 329-345.
8. **Petit C., Karwacki C., Peterson G., Bandosz T.J.** Interactions of Ammonia with the Surface of Microporous Carbon Impregnated with Transition Metal Chlorides. *J. Phys. Chem.* 2007. V. 111. N 34. P. 12705-12714.
9. **Глушанков К.В., Фарберова Е.А., Кобелева А.Р.** Исследование влияния процесса сушки поглотителя Купрамит на его активность. Тез. докл. XVIII регион. науч.-практ. конф. студентов и молодых учёных «Химия. Экология. Биотехнология – 2016». Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2016. С. 89-90.
10. **Глушанков К.В., Кобелева А.Р., Фарберова Е.А.** Влияние ультразвуковой обработки на свойства поглотителя аммиака, предназначенного для средств индивидуальной защиты органов дыхания. Тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников «Химия. Экология. Урбанистика». Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2017. С. 472-476.
11. **Олонцев В.Ф., Минькова А.А., Генералова К.Н.** Нанопористые углеродные волокнистые адсорбенты и хемосорбенты для применения в сорбционной и экологической технике. *Vestn. Perm. naц. issled. politekh. un-ta. Khim. tekhnol. i biotekhnol.* 2013. № 1. С. 179-190.
12. Активные угли. Эластичные сорбенты, катализаторы, осушители и химические поглотители на их основе: Каталог. Под общ. ред. В.М. Мухина. М.: Изд. дом «Руда и металлы». 2003. 280 с.
13. **Фарберова Е.А., Тиньяева Е.А., Кобелева А.Р.** Поглотитель аммиака и сероводорода на основе активных углей и исследование его свойств. *Бутлеров. сообщ.* 2017. Т. 50. № 6. С. 41-47.
14. **Фарберова Е. А., Тиньяева Е.А., Кобелева А.Р.** Технология получения активных углей и их применение. Пермь: Изд. ПНИПУ. 2018. 148 с.
15. **Тарковская И.А.** Окисленный уголь. Киев: Наукова думка. 1981. 197 с.
16. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. 272 с.
17. **Солдатов А.И.** Структура и свойства поверхности углеродных материалов. *Vestn. Chelyab. gos. un-ta.* 2011. № 1. С. 67-71.
18. **Беляева О.В., Краснова Т.А., Семёнова С.А., Гладкова О.С.** Взаимодействие O₂, O₃, H₂O₂ с активированным углем. *Химия твёрдого топлива.* 2011. № 6. С. 61- 69.
19. **Герасимов Д.В., Сучкова Е.П.** Теоретические основы применения УЗ для обработки пищевых систем с целью регулирования содержания биологически активных компонентов. *Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер. Проц. и апп. пищ. пр-ва.* 2014. № 3. С. 53-60.
20. **Мясников С.К., Чипрякова А.П., Кулов Н.Н.** Кинетика, энергетические характеристики и интенсификация кристаллизационных процессов при химическом осаждении ионов жесткости. *Теор. основы хим. технологии.* 2013. Т. 47. № 5. С. 1-20.
21. **Фролов В.В., Мозговой И.В.** Ультразвуковая интенсификация химических процессов в потоке. *Технич. науки – от теории к практике.* 2013. № 24. С. 117-121.
6. **Gorshunova V.P., Khaustova M.M.** Ammonia sorption research silica gels of different porosity. *Vestn. VGTU*. 2010. V. 6. N 11. P. 19-21 (in Russian).
7. **Bandosz T.J., Petit C.** On the reactive adsorption of ammonia on activated carbons modified by impregnation with inorganic compounds. *J. Colloid Interface Sci.* 2009. V. 338. N 2. P. 329-345.
8. **Petit C., Karwacki C., Peterson G., Bandosz T.J.** Interactions of Ammonia with the Surface of Microporous Carbon Impregnated with Transition Metal Chlorides. *J. Phys. Chem.* 2007. V. 111. N 34. P. 12705-12714.
9. **Glushankov K.V., Farberova E.A., Kobeleva A.R.** Research of impact of process of drying of the Kupramit absorber on its activity. Theses of reports XVIII region. scient. pract. conf. students and young scientists "Chemistry. Ecology. Biotechnology – 2016". Perm: Publishing house PNIPU. 2016. P. 89-90 (in Russian).
10. **Glushankov K.V., Kobeleva A.R., Farberova E.A.** The impact of ultrasonic processing on properties of the absorber of the ammonia intended for individual protection equipment of respiratory organs. Theses of reports Russ. scient.pract. conf. young scientists, graduate students, school and university students "Chemistry. Ecology. Urbanistics". Perm: Publishing house PNIPU. 2017. P. 472-476 (in Russian).
11. **Olontsev V.F., Minkova A.A., Generalova K.N.** Nanoporous carbon fibrous adsorbents and chemisorbents for application in the sorption and ecological equipment. *Vestn. Perm. Nats. Issled. Politekhn. Un-ta. Khim. Tekhnol. Biotekhnol.* 2013. N 1. P. 179-190 (in Russian).
12. The active carbon. Elastic sorbents, catalysts, dehumidifiers and chemical absorbers on their basis: The catalog. Ed. by V.M. Mukhin. M.: Izd. dom «Ruda i metalli». 2003. 280 p. (in Russian).
13. **Farberova E.A., Tingaeva E.A., Kobeleva A.R.** The absorber of ammonia and hydrogen sulfide on the basis of the fissile coals and a research of its properties. *Butlerov. Soobshch.* 2017. V. 50. N 6. P. 41-47 (in Russian).
14. **Farberova E.A., Tingaeva E.A., Kobeleva A.R.** Technology of producing activated carbons and their application. Perm: Publishing house PNIPU. 2018. 148 p. (in Russian).
15. **Tarkovskaya I.A.** The oxidized coal. Kiev: Naukova dumka. 1981. 197 p. (in Russian).
16. Collection of methods for determining the concentrations of pollutants in industrial emissions. L.: Hydrometeoizdat. 1987. 272 p. (in Russian).
17. **Soldatov A.I.** Structure and properties of a surface of carbon materials. *Vestn. Chelyab.Gos. Un-ta.* 2011. N 1. P. 67-71 (in Russian).
18. **Belyayeva O.V., Krasnova T.A., Semyonov S.A., Gladkova O.S.** Interaction of O₂, O₃, H₂O₂ with an absorbite. *Khim. Tverdogo Topлива.* 2011. N 6. P. 61 - 69 (in Russian).
19. **Gerasimov D.V., Suchkova E.P.** Theoretical bases of application of ultrasound for processing of food systems for the purpose of regulation of maintenance of the biologically fissile components. *Nauch. Zhurn. NIU ITMO. Ser. Prots. App. Pishch. Pr-va.* 2014. N 3. P. 53-60 (in Russian).
20. **Myasnikov S.K., Chipryakova A.P., Kulov N.N.** A kinetics, power characteristics and an intensification of crystallization processes at a chemical deposition of ions of a rigidity. *Teor. Osnovy Khim. Tekhnoli.* 2013. V. 47. N 5. P. 1-20 (in Russian).
21. **Frolov V.V., Mozgovoy I.V.** An ultrasonic intensification of chemical processes in a stream. *Tekhnich. Nauki – ot Teorii k Praktike.* 2013. N 24. P. 117-121 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 05.12.2018

Принята к опубликованию (Accepted) 12.07.2019