

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ АММИАКА И СЕРОВОДОРОДА

А.Н. Цуканова, Е.А. Фарберова, Н.Б. Ходяшев, К.Г. Кузьминых, А.Л. Казанцев, Н.В. Лимонов

Анжелика Николаевна Цуканова*, Елена Абрамовна Фарберова, Николай Борисович Ходяшев
Кафедра химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990
E-mail: angi.tsukanova@gmail.com *, elenafarb@gmail.com, vvv@pstu.ru

Константин Геннадьевич Кузьминых, Александр Леонидович Казанцев
Кафедра химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Комсомольский просп., 29, Пермь, Российская Федерация, 614990
E-mail: kgkuz@mail.ru, Itilamid@rambler.ru

Николай Викторович Лимонов
АО «Сорбент», ул. Гальперина, 6, Пермь, Российская Федерация, 614042
E-mail: nvlimonov@sorbent.su

Предложено модифицировать метод получения химического поглотителя аммиака и сероводорода с целью улучшения сорбционных характеристик. Исследована зависимость кинетики процесса кристаллизации растворов сульфата меди (II) с концентрацией 2,19 моль/дм³ и 2,38 моль/дм³ от способа приготовления пропиточного раствора: термического с нагревом до температуры 80 - 90 °С, с использованием ультразвуковых колебаний частотой 22 кГц и интенсивностью 3,5 Вт/см², а также термического метода с дополнительным введением в раствор 0,01% поверхностно-активных веществ (ПАВ) с неионогенными, анионогенными и катионогенными свойствами. Кристаллизацию сульфата меди осуществляли с использованием зондовой системы видео микроскопии. При охлаждении растворов, подвергавшихся воздействию ультразвука, наблюдается формирование кристаллов меньшего размера, введение ПАВ не влияет на размер кристаллов CuSO₄. Исследована зависимость физико-химических свойств раствора сульфата меди (II) концентрацией 1,17 моль/дм³ и 2,26 моль/дм³ от введения 0,01% ПАВ и изменения температуры раствора. Выявлено, что введение ПАВ позволяет эффективно снижать поверхностное натяжение раствора при температуре 80 °С и уменьшать краевой угол смачивания раствором гранулы активного угля. С применением перечисленных методов приготовлены пропиточные растворы сульфата меди (II) и изготовлены образцы химического поглотителя аммиака и сероводорода путем импрегнирования гранулированного активного угля полученными растворами. Доказано, что применение ПАВ и ультразвуковых колебаний в процессе приготовления пропиточного раствора позволяет увеличить количество активной формы меди на поверхности носителя при пропитке, что способствует увеличению динамической емкости хемосорбентов.

Ключевые слова: химический поглотитель аммиака и сероводорода, активные гранулированные угли, сульфат меди (II), активная форма меди (II), поверхностно-активные вещества, ультразвуковая обработка, термическая обработка

Для цитирования:

Цуканова А.Н., Фарберова Е.А., Ходяшев Н.Б., Кузьминых К.Г., Казанцев А.Л., Лимонов Н.В. Усовершенствование метода изготовления химического поглотителя аммиака и сероводорода. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2021. Т. 64. Вып. 3. С. 66–72

For citation:

Tsukanova A.N., Farberova E.A., Khodyashev N.B., Kuz'minykh K.G., Kazantsev A.L., Limonov N.V. Improvement of method for producing chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. [ChemChemTech].* 2021. V. 64. N 3. P. 66–72

IMPROVEMENT OF METHOD FOR PRODUCING CHEMICAL ABSORBER OF AMMONIA AND HYDROGEN SULFIDE

A.N. Tsukanova, E.A. Farberova, N.B. Khodyashev, K.G. Kuz'minykh, A.L. Kazantsev, N.V. Limonov

Anzhelika N. Tsukanova *, Elena A. Farberova, Nikolay B. Khodyashev

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

E-mail: angi.tsukanova@gmail.com *, elenafarb@gmail.com, vvv@pstu.ru

Konstantin G. Kuz'minykh, Aleksandr L. Kazantsev

Department of Chemical Technology, Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky ave., 29, Perm, 614990, Russia

E-mail: kgkuz@mail.ru, Itilamid@rambler.ru

Nikolay V. Limonov

AO «Sorbent», Galperina st., 6, Perm, 614042, Russia

E-mail: nvlimonov@sorbent.su

The method of obtaining a chemical adsorbent of ammonia and hydrogen sulfide is proposed to be modified to improve sorption characteristics. The dependence of the kinetics of the process was studied - crystallization of solutions of copper (II) sulfate with a concentration of 2.19 mol/dm³ and 2.38 mol/dm³ depending on the method of preparation of the impregnating solution: thermal with heating to a temperature of 80 - 90 °C, using ultrasonic oscillations with a frequency of 22 kHz and an intensity of 3.5 W/cm², and the dependence of the studied thermal method with the additional introduction of 0.01% surfactants into the solution with nonionic, anionic and cationogenic properties. Crystallization of copper sulfate was performed using a probe video microscopy system. The formation of smaller crystals is observed upon cooling of the solutions subjected to ultrasound. The introduction of surfactants did not affect the size of the crystals of copper (II) sulfate. The dependence of the physicochemical properties of a solution of copper (II) sulfate at a concentration of 1.17 mol/dm³ and 2.26 mol/dm³ on the introduction of 0.01% surfactant and a change in the temperature of the solution was studied. It was found that the introduction of a surfactant can effectively reduce the surface tension of the solution at a temperature of 80 °C and reduce the contact angle of the solution of activated carbon granules. Impregnating solutions of copper (II) sulfate are prepared using the above methods and samples of a chemical adsorbent of ammonia and hydrogen sulfide are made by impregnating granular activated carbon with the obtained solutions. It is proved that the use of surfactants and ultrasonic vibrations during the preparation of an impregnating solution allows to increase the amount of active form of copper on the surface of the carrier during impregnation, which helps to increase the dynamic capacity of chemisorbents.

Key words: chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide, active granular carbons, copper (II) sulfate, active form of copper (II), surfactants, ultrasonic treatment, heat treatment

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время потребность человека в использовании средств индивидуальной защиты органов дыхания значительно возросла в связи с высокими темпами развития химической, нефтехимической, фармацевтической промышленности и ряда других отраслей.

С целью улавливания вредных и отравляющих веществ как для индивидуальной, так и для коллективной защиты, широко используют метод хемосорбционного связывания на твердых пористых сорбентах – химпоглопителях [1]. Такой тип

связывания предполагает образование на поверхности адсорбента химической связи с молекулами газообразных веществ [2]. В качестве пористой основы используются силикагель, алюмосиликаты, пористые металлы, полимеры, композиционные и углеродные [3] материалы.

Известны различные способы импрегнирования твердых носителей активными компонентами. Наиболее широкое распространение в промышленности получили такие методы нанесения активной фазы, как пропитка избытком раствора активного компонента с последующим отделением

использованного раствора от пропитанного носителя, химическое осаждение добавки на поверхность носителя из газовой фазы, метод синтеза активного компонента на поверхности носителя [4, 5]. Однако, выше указанные методы не всегда характеризуются высокой степенью воспроизводимости, не позволяют контролировать содержание активной фазы, приводят к перерасходу материалов и образованию жидких и газообразных отходов. Одним из самых эффективных следует признать метод пропитки твердого носителя заданным объемом раствора активного компонента адсорбционным способом с учетом степени заполнения пор сорбента, обеспечивающий равномерное распределение активного компонента на носителе и позволяющий контролировать его содержание в поглотителе.

Для хемпоглопителей наиболее эффективным методом получения является импрегнирование пористого материала растворами различных солей металлов в зависимости от области применения поглотителя [6].

Одним из наиболее широко применяемых хемосорбентов является хемпоглотитель аммиака и сероводорода, используемый в средствах коллективной и индивидуальной защиты органов дыхания [7, 8].

Метод изготовления химического поглотителя аммиака и сероводорода основан на импрегнировании активных гранулированных углей серии АГ водными растворами сульфата меди (II) заданных концентраций с последующей термообработкой. При пропитке активного угля раствором сульфата меди (II) часть CuSO_4 химически связывается с поверхностными кислородсодержащими функциональными группами. Основная часть размещается на поверхности гранул активного угля в виде кристаллов сульфата меди (II) различного размера [1].

Известно, что катион меди (II) является эффективным комплексообразователем при поглощении аммиака из газовой среды [9]. Поглощение аммиака происходит благодаря хемосорбционному взаимодействию с сульфатом меди на поверхности пористой матрицы, при этом образуются координационные соединения состава $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ [10].

Механизм поглощения сероводорода имеет иной характер. На поверхности активного угля благодаря кислороду происходит окисление сероводорода до серы и воды [11]. Фиксация серы происходит в мезопорах активного угля, однако данный процесс протекает с низкой скоростью. Увеличение скорости данного процесса возможно за счет

введения каталитической добавки, роль которой может выполнять CuSO_4 [12]. Кроме того, сульфат меди (II) связывает сероводород в сульфид меди (II).

Растворимость сульфата меди (II) в воде существенно зависит от температуры. Так, при $15\text{ }^\circ\text{C}$ в 1 дм^3 воды растворяется 187 г соли, а при $80\text{ }^\circ\text{C}$ – растворимость увеличивается почти в 2 раза (349 г/дм^3). Известно, что при получении хемпоглотителя с высокой динамической активностью как по аммиаку, так и по сероводороду требуется внесение активной добавки в количестве не менее 13 % мас., что предполагает использование концентрированных растворов сульфата меди (II), которые могут быть получены только при температурах $80\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$.

В процессе импрегнирования активного угля горячим раствором сульфата меди (II) происходит кристаллизация соли на поверхности носителя. Размеры образующихся кристаллов зависят от многих факторов: концентрации пропиточного раствора, кислотности готового раствора, содержания примесей, характера поверхности носителя и его пористости [13].

Использование концентрированных растворов при высоких температурах зачастую не позволяет равномерно нанести добавку на поверхность активного угля, так как большая часть соли на поверхности гранул находится в виде кристаллов крупных размеров.

Целью данной работы является усовершенствование способа изготовления химического поглотителя аммиака и сероводорода, повышение показателей динамической емкости.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Кристаллизацию сульфата меди из водного раствора осуществляли с использованием зондовой системы видео микроскопии «PVM Lasantec V819» фирмы «Mettler Toledo». Горячий раствор помещали в реактор с рубашкой, в которой циркулировала охлаждающая жидкость. Циркуляция жидкости в рубашке реактора осуществлялась с использованием программируемого термостата «Lauda ProLine RP 855», предварительно запрограммированного таким образом, чтобы обеспечить необходимую скорость охлаждения. Для фиксации изображений использовали программное обеспечение «PVM On-line Image Acquisition», для обработки полученных снимков использовали программное обеспечение «Lasantec PVM Stat Acquisition».

Массовую долю общей и активной форм меди в образцах хемпоглотителя аммиака и сероводорода анализировали методом выщелачивания

сернокислой меди раствором смеси кислот и воды, соответственно, с последующим ее определением титриметрическим методом. Массовую долю связанной формы меди определяли, как разность между общей и активной медью.

Динамическую емкость химволглотителей по аммиаку и сероводороду определяли на динамической установке в неподвижном слое поглотителя заданной высоты при скорости газовой воздушного потока 1,575 дм³/мин при концентрациях аммиака и сероводорода 0,135 ммоль/дм³.

Поверхностное натяжение (ПН) растворов сульфата меди и краевой угол смачивания (КУС) гранул активного угля раствором определяли на процессорном тензиометре К100 методами кольца Дью Нуи и пластины Вильгельми [14].

Раствор готовили ультразвуковым методом с помощью ультразвукового технологического аппарата серии «Волна» УЗТА-0,8/22-ОМУ при частоте УЗ-колебаний 22 кГц и интенсивности УЗ-излучения 3,5 Вт/см² до полного растворения соли в воде, при этом по мере растворения температура раствора достигала 80-90 °С.

Приготовление раствора с применением ПАВ осуществляли термическим методом, но дополнительно в раствор вводили 0,01 % мас. ПАВ неионогенного (синтанолАЛМ-2–ПАВ-С, кокамидпропилдиметиламин – ПАВ-К) [15], катионогенного (бензалкония хлорид – ПАВ-Б) характеров [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Традиционно химический поглотитель аммиака и сероводорода получают путем пропитки активного угля раствором сульфата меди (II), приготовленного термическим методом. В данной работе исследовано влияние способа приготовления пропиточного раствора – традиционного термического, ультразвукового и с использованием ПАВ – на свойства химического поглотителя.

Проведены исследования кинетики процесса кристаллизации сульфата меди (II) из растворов с концентрацией 2,19 моль/дм³, полученных вышеперечисленными методами. Приготовленные горячие растворы сульфата меди охлаждали до температуры 25 °С со скоростью 2 °С/мин. При понижении температуры на 10 °С с помощью зондовой системы «PVM Lasentec V819» проводили анализ размера частиц в растворе с фиксацией изображений на снимках. Данная система позволила определить линейные размеры, форму, количественный фракционный состав, средний числовой размер кристаллов.

Таблица 1

Среднечисловой размер и количество регистрируемых частиц сульфата меди (II) в растворах с температурой 25 °С, приготовленных различными методами

Table 1. Average size and number of recorded particles of copper (II) sulfate in solutions with a temperature of 25 °С, prepared by various methods

Метод приготовления пропиточного раствора	Среднечисловой размер частиц		Количество регистрируемых частиц	
	мкм	% изм.	шт/измерение	% изм.
ТО	67,64	-	395,88	-
УЗ	61,56	-9,0	558,99	+41,2
ПАВ-С	75,54	+11,7	419,38	+5,9
ПАВ-К	76,23	+12,7	332,07	-16,1
ПАВ-Б	64,33	-4,9	417,75	+5,5

Начало процесса кристаллизации сульфата меди (II) происходит при охлаждении растворов сульфата меди в температурном интервале от 50 °С до 40 °С независимо от метода приготовления раствора. При охлаждении раствора, приготовленного под воздействием ультразвуковых колебаний, до температуры 25 °С, происходит формирование кристаллов соли меньшего размера, нежели при охлаждении раствора, приготовленного традиционным термическим методом. Такое уменьшение размеров частиц можно объяснить повышением скорости формирования центров кристаллизации и диспергированием растущих кристаллов [1, 17, 18].

Введение в раствор сульфата меди (II) неионогенных ПАВ-С и ПАВ-К приводит к увеличению размера частиц при кристаллизации раствора на 11-13 %, при этом количество регистрируемых частиц снижается для раствора с ПАВ-К на 16,1%, а при использовании ПАВ-С наблюдается увеличение числа частиц на 5,9%. Введение в раствор катионогенного ПАВ-Б приводит к уменьшению размера частиц и росту их числа.

Результаты табл. 1 свидетельствуют о различном влиянии представителей одной и той же группы ПАВ на процесс кристаллизации сульфата меди (II). Причем, если в случае введения ПАВ-К преобладает образование более крупных частиц за счет уменьшения числа мелких частиц по сравнению с термическим методом без использования ПАВ, то в присутствии ПАВ-С наблюдается несколько иной процесс: рост среднечислового размера частиц с одновременным увеличением их общего числа. Последнее, как показывают литературные сведения [19], имеет место, если в качестве отдельных центров кристаллизации могут выступать частицы ПАВ.

Присутствие в процессе кристаллизации катионного ПАВ-Б приводит к уменьшению среднего размера частиц с одновременным ростом их числа, что позволяет утверждать о влиянии данного ПАВ на рассматриваемый процесс. Причиной уменьшения размеров кристаллизующихся частиц сульфата меди (II) может являться адсорбция ПАВ-Б на поверхности кристаллов, что снижает скорость их дальнейшего роста.

Одной из причин снижения скорости роста кристаллов является изменение поверхностной энергии на границе раздела фаз. Другой причиной служит торможение процесса массопереноса из-за адсорбированного слоя ПАВ на поверхности кристаллов.

Проведены исследования по изучению влияния температуры раствора сульфата меди (II), а также введения ПАВ различного типа на изменение поверхностного натяжения (ПН) [20, 21] раствора и краевого угла смачивания (КУС) гранулы активного угля раствором при концентрациях соли 1,17 моль/дм³ и 2,26 моль/дм³.

Таблица 2

Влияние температуры и присутствие ПАВ в растворе сульфата меди (II) на поверхностное натяжение и краевой угол смачивания гранулы
Table 2. The effect of temperature and the presence of surfactants in a solution of copper (II) sulfate on the surface tension and the contact angle of the granules

Температура раствора, °С	Наличие ПАВ в растворе	Характеристики растворов сульфата меди (II) при концентрациях, моль/дм ³			
		1,17		2,26	
		ПН	КУС	ПН	КУС
50	-	45,17	63,12	-	-
	ПАВ-С	26,14	24,63	27,18	67,26
	ПАВ-К	28,06	36,56	29,92	73,56
	ПАВ-Б	30,07	49,80	-	-
80	-	44,58	63,07	35,45	75,38
	ПАВ-С	26,08	37,10	25,03	60,34
	ПАВ-К	26,41	42,20	30,46	60,33
	ПАВ-Б	26,87	41,69	-	-

Как следует из табл. 2, ПН раствора сульфата меди (II) и КУС гранулы активного угля при концентрации 1,17 моль/дм³ практически не зависят от температуры раствора для соответствующих условий (отсутствие или присутствие ПАВ). В то же время, введение любого типа ПАВ в раствор приводит к снижению ПН раствора в 1,5-1,7 раза, также наблюдается снижение КУС гранулы активного угля раствором, что должно оказывать влияние на характер распределения кристаллов сульфата меди (II) и в итоге на свойства химического

поглотителя аммиака и сероводорода. Введение ПАВ-С и ПАВ-К в концентрированный раствор сульфата меди (концентрация 2,26 моль/дм³) также приводит к снижению ПН и КУС.

С использованием пропиточных растворов, приготовленных различными методами, изготовлены образцы химического поглотителя аммиака и сероводорода. В качестве пористой матрицы использовали активный гранулированный уголь серии АГ с суммарным объемом пор по воде 0,83 см³/г, прочностью 86% и с размером гранул 1,0-1,5 мм. Суммарный объем пор по воде определяли путем заполнения водой пор сорбента размером от 0,5 до 10⁴ нм; прочность определяли по изменению гранулометрического состава при механическом истирании навески угля стальным стержнем в стальном барабане, вращающемся с определенной скоростью.

Образцы поглотителя получены путем однократной пропитки раствором сульфата меди (II) с концентрацией 2,3 моль/дм³. В работе использованы реактивы классификации «ч.д.а.». Термообработку пропитанных образцов проводили в сушильном шкафу при температуре 160 °С. Характеристики образцов поглотителя представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние способа приготовления раствора сульфата меди (II) на характеристики поглотителя
Table 3. The influence of the method of preparation of a solution of copper sulfate (II) on the characteristics of the adsorbent

Наименование показателя	Результаты испытаний при различных методах приготовления раствора			
	ТО	УЗ	К	С
Массовая доля связанной сернистой меди, %	3,4	3,2	3,9	3,3
Массовая доля активной сернистой меди, %	12,3	14,1	15,4	13,3
Доля активной формы сернистой меди от общего содержания, %	78,3	81,5	79,8	80,1
Динамическая емкость по аммиаку, моль/дм ³	0,68	0,95	0,81	0,77
Динамическая емкость по сероводороду, моль/дм ³	0,56	0,59	0,59	0,54

Примечание: ТО – образец поглотителя, полученный термическим методом приготовления пропиточного раствора, УЗ – ультразвуковым методом, К – с введением в раствор 0,01% масс. ПАВ-К, С – с введением в пропиточный раствор 0,01% масс. ПАВ-С

Note: TO - a sample of the adsorbent obtained by thermal method of preparing the impregnation solution, US - by ultrasonic method, K - with introduction of 0.01% wt.% into the solution SAS-K, C - with introduction of 0.01% wt. SAS-C

Результаты табл. 3 показывают, что способ приготовления раствора сульфата меди (II) для пропитки активного угля серии АГ оказывает существенное влияние на характеристики поглотителя. Ультразвуковая обработка раствора и введение неионогенных ПАВ синтанола АЛМ-2 и кокамидопропилдиметиламина увеличивают массовое содержание как активной, так и общей сернокислой меди (II), что приводит к увеличению динамической емкости поглотителя по аммиаку. Наиболее высокий показатель поглощения аммиака реализуется при использовании ультразвукового метода приготовления пропиточного раствора, что может быть объяснено формированием кристаллов соли меньших размеров по сравнению с другими рассматриваемыми методами.

В случае поглощения сероводорода влияние способа приготовления раствора сульфата меди (II) в меньшей степени оказывает влияние на характеристику динамической емкости поглотителя. Учитывая, что механизм поглощения сероводорода имеет иной характер по сравнению с поглощением аммиака, и преобладающую роль играют поверхностные процессы окисления и связывания H_2S , относительно небольшое увеличение динамической емкости реализуется в случае ультразвуковой обработки и введения в кристаллизуемый раствор ПАВ-К. Наиболее вероятно, что для указанных методов подготовки растворов реализуются процессы кристаллизации частиц сульфата с более высокой доступной поверхностью.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований показано, что применение пропиточного раствора,

полученного в ультразвуковом реакторе, позволило повысить динамическую емкость поглотителя по аммиаку в 1,4 раза. Введение неионогенных ПАВ синтанола АЛМ-2 и кокамидопропилдиметиламина в раствор сульфата меди (II) приводит к увеличению динамической емкости поглотителя по аммиаку в 1,1-1,2 раза.

Динамическая емкость по сероводороду практически не зависит от способа приготовления пропиточного раствора сульфата меди (II).

Работа выполнена в рамках проекта по лоту шифр № 202005-595-001 по теме: «Поддержка и развитие ЦКП "Центр наукоёмких химических технологий и физико-химических исследований" научным оборудованием для обеспечения реализации исследовательских программ и проектов по перспективным научным направлениям Пермского Научно-образовательного центра "Рациональное недропользование"» (шифр заявки «2020-05595-0001-009»). Уникальный идентификатор проекта RFMEFI62120X0038.

The work was carried out within the framework of the project for lot code No. 202005-595-001 on the topic: "Support and development of the Center for Collective Use" Center for Science-Intensive Chemical Technologies and Physicochemical Research "with scientific equipment to ensure the implementation of research programs and projects in promising scientific areas of the Perm Scientific and Educational Center "Rational Subsoil Use" "(application code" 2020-05595-0001-009 "). Unique project identifier RFMEFI62120X0038.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кузьминых К.Г., Смирнов С.А. Усовершенствование технологии получения углеродного хемпоглотителя аммиака. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 9. С. 117-123.
2. Ветошкин А.Г. Теоретические основы защиты окружающей среды. Пенза: Изд-во ПГАСА. 2002. 290 с.
3. Астракова Т.В. Усовершенствование пористой структуры и адсорбционных свойств промышленных активных углей. *Катализ в пром-ти*. 2012. № 1. С. 64-68.
4. Нестеров О.Н., Егорова С.Р., Бекмухамедов Г.Э., Катаев А.Н., Ламберов А.А., Гильманов Х.Х. Изучение влияния вакуумной и атмосферной пропитки на распределение активного компонента и промотора микросферического алюмохромового катализатора. *Вестн. Казан. технол. ун-та*. 2011. № 8. С. 39-45.
5. Коваленко Г.А., Рудина Н.А., Перминова Л.В., Скрыпник О.В. Выбор условий пропитки корунда для приготовления нанесенных Ni-катализаторов синтеза равномерного слоя углеродных нановолокон. *Кинетика и катализ*. 2010. Т. 51. № 5. С. 788-797. DOI: 10.1134/S0023158410050198.

REFERENCES

1. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kuz'minyh K.G., Smirnov S.A. Improvement of the technology of obtaining carbon chemical absorber ammonia. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [ChemChemTech]. 2019. V. 62. N 9. P. 117-123 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196209.5946.
2. Vetoshkin A.G. Theoretical foundations of environmental protection. Penza: Izd-vo PGASA. 2002. 290 p. (in Russian).
3. Astrakova T.V. Improvement of porous structure and adsorption properties of industrial active carbons. *Kataliz Prom.* 2012. N 1. P. 64-68 (in Russian).
4. Nesterov O.N., Egorova S.R., Bekmukhamedov G.E., Kataev A.N., Lamberov A.A., Gilmanov Kh.Kh. Study of the effect of vacuum and atmospheric impregnation on the distribution of the active component and promoter of microspherical aluminum chromium catalyst. *Vestn. Kazan. Tekhnol. Un-ta*. 2011. N 8. P. 39-45 (in Russian).
5. Kovalenko G.A., Rudina N.A., Perminova L.V., Skrypnik O.V. Choice of conditions for impregnation of corundum for preparation of supported Ni-catalysts for synthesis of a uniform layer of carbon nanofibers. *Kinet. Kataliz*. 2010. V. 51. N 5. P. 788-797 (in Russian). DOI: 10.1134/S0023158410050198.

6. Булчевский Е.А., Лавренов А.В., Дуплякин В.К. Сорбенты типа «соль в пористой матрице» в процессе переработки углеводородов. *Рос. хим. ж.* 2007. Т. LI. Вып. 4. С. 85-91.
7. Агеева С.В., Ксандров Н.В., Ожогина О.Р. Модификация активного угля хлоридом меди (II) для увеличения его адсорбционной емкости по аммиаку. *Современ. пробл. науки и образования.* 2013. № 3. С. 446–447.
8. Лейкин Ю.А., Мясоедов Б.Ф., Лосев В.В., Кириллов Е.А. Модифицированные сорбенты для селективного извлечения аммиака и его производных. *Хим. физика.* 2007. Т. 25. № 10. С. 18-32.
9. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кобелева А.Р., Старостин А.Г., Глушанков К.В. Поглотитель аммиака и сероводорода на основе активных углей и исследование его свойств. *Бутлеров. сообщ.* 2017. Т. 50. № 6. С. 41-47.
10. Пыльчикова Ю.Ю., Кольцова О.В., Ершов М.А., Скворцов В.Г. Синтез, строение и свойства новых биогенных препаратов на основе солей меди (II). Чебоксары: Чуваш. гос. пед. ун-т. 2014. 107 с.
11. Старцев А.Н. Низкотемпературное каталитическое разложение сероводорода с получением водорода и двухатомной газообразной серы. *Кинетика и катализ.* 2016. Т. 57. Вып. 4. С. 516-528. DOI: 10.1134/S002315841604011X.
12. Драгунский А.В., Дударев В.И. Электрохимическое нанесение меди на углеродные пористые материалы. *Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнол.* 2015. № 1. С. 55-59.
13. Вассерман И.М. Производство минеральных солей. Л.: Госхимиздат. 1954. 348 с.
14. Письменко В.Т., Калюкова Е.Н. Коллоидная химия. Ульяновск: УлГТУ. 2003. 72 с.
15. Кудряшова О.С., Денисова С.А., Попова М.А. Фазовые равновесия в системах вода–сульфаты щелочных металлов или аммония–синтанол. *Журнал неорг. химии.* 2013. Т. 58. № 2. С. 286–289. DOI: 10.1134/S0036023612120121.
16. Заболотных С.А., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах H₂O – сульфолон – HCl (H₂SO₄) и H₂O – додецилсульфат натрия–HCl (H₂SO₄). *Журнал физ. химии.* 2016. Т. 90. № 10. С. 1458–1464. DOI: 10.1134/S0036024416100319.
17. Воропай А.Н., Додонов В.Г., Самаров А.В. Влияние ультразвука на размеры частиц аморфного гидроксида никеля, полученного на пористом углеродном носителе. *Вестн. Кемеров. гос. ун-та.* 2014. Т. 3. № 3. С. 181-184.
18. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. 2010. 203 с.
19. Промышленная кристаллизация. Т. XX. Под общ. ред. В. И. Панова. М.: Химия. 1968. 124 с.
20. Логинова М.Е., Гаймалетдинова Г.Л., Нурғалиев А.Р., Сенин С.А. Влияние разных классов ПАВ на изменение поверхностного натяжения водных растворов. *Булатовские чтения.* 2018. С. 166-168.
21. Якубик Д.Г., Воропай А.Н., Захаров Ю.А. Влияние ПАВ и ультразвуковой обработки на сорбционные характеристики системы «Пористый углерод – гидроксид никеля». *Вестн. Кемеров. гос. ун-та.* 2015. Т. 1. № 1. С. 45-49.
6. Bulchevskiy E.A., Lavrenov A.V., Duplyakin V.K. Sorbents of "salt in porous matrix" type during hydrocarbon processing. *Ros. Khim. Zhurn.* 2007. V. LI. N 4. P. 85-91 (in Russian).
7. Ageeva S.V., Ksandrov N.V., Ozhogina O.R. Modification of active carbon with copper (II) chloride to increase its adsorption capacity for ammonia. *Sovremen. Probl. Nauki Obrazov.* 2013. N 3. P. 446–447 (in Russian).
8. Leykin Yu.A., Myasoedov B.F., Losev V.V., Kirillov E.A. Modified sorbents for selective extraction of ammonia and its derivatives. *Khim. Fizika.* 2007. V. 25. N 10. P. 18-32 (in Russian).
9. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kobleleva A.R., Starostin A.G., Glushankov K.V. Scavenger of ammonia and hydrogen sulphide based on active carbons and study of its properties. *Butlerov. Soobshch.* 2017. V. 50. N 6. P. 41-47 (in Russian).
10. Pyl'chikova Yu.Yu., Kol'tsova O.V., Ershov M.A., Skvortsov V.G. Synthesis, the building and properties of new biogenous medicines on the basis of salts of copper (II). Cheboksary: Chuvash. gos. ped. un-t. 2014. 107 p. (in Russian).
11. Startsev A.N. Low-temperature catalytic decomposition of hydrogen sulfide to produce hydrogen and diatomic sulfur gas. *Kinet. Katal.* 2016. V. 57. N 4. P. 516-528 (in Russian). DOI: 10.1134/S002315841604011X.
12. Dragunskiy A.V., Dudarev V.I. Electrochemical application of copper on carbon porous materials. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Prikladn. Khim. Biotekhnol.* 2015. N 1. P. 55-59 (in Russian).
13. Vasserman I.M. Production of mineral salts. L.: Goskhimizdat. 1954. 348 p. (in Russian).
14. Pis'menko V.T., Kalyukova E.N. Colloidal Chemistry. Ul'yanovsk: UIGTU. 2003. 72 p. (in Russian).
15. Kudryashova O.S., Denisova S.A., Popova M.A. Phase equilibrium in alkali metal or ammonium-synthanol water-sulfates systems. *Russ. J. Inorg. Chem.* 58(2). 286–289 (2013). (in Russian). DOI: 10.1134/S0036023612120121.
16. Zabolotnykh S.A., Lesnov A.E., Denisova S.A. Phase and extraction equilibrium in H₂O systems - sulfonol - HCl (H₂SO₄) and H₂O - dodecyl sulfate - HCl (H₂SO₄). *Zhurn. Fiz. Khim.* 2016 V. 90. N 10. P. 1458–1464 (in Russian). DOI: 10.1134/S0036024416100319.
17. Voropay A.N., Dodonov V.G., Samarov A.V. The effect of ultrasound on the particle size of amorphous nickel hydroxide produced on a porous carbon carrier. *Vestn. Kemerov. Gos. Un-ta.* 2014. V. 3. N 3. P. 181-184 (in Russian).
18. Khmelev V.N., Slivin A.N., Barsukov R.V. Application of high intensity ultrasound in industry. *Biysk: Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta.* 2010. 203 p. (in Russian).
19. Industrial crystallization. V. XX. Ed. by V.I. Panova. M.: Khimiya. 1968. 124 p. (in Russian).
20. Loginova M.E., Gaymaletdinova G.L., Nurgaliev A.R., Senin S.A. Influence of different classes of surfactant on change of surface tension of aqueous solutions. *Bulatov Chiteniya.* 2018. P.166-168 (in Russian).
21. Yakubik D.G., Voropay A.N., Zakharov Yu.A. Influence of surfactant and ultrasonic treatment on sorption characteristics of the system "Porous Carbon - Nickel Hydroxide". *Vestn. Kemerov. Gos. Un-ta.* 2015. V. 1. N 1. P. 45-49 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 03.06.2020
 Принята к опубликованию (Accepted) 10.12.2020