

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

DOI: 10.15593/2224-9400/2021.3.03

УДК 661.183.2

**А.Н. Цуканова¹, Е.А. Фарберова¹, Е.А. Першин¹,
Н.Б. Ходяшев¹, Н.В. Лимонов²**

¹Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

²АО «Сорбент», Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ АММИАКА И СЕРОВОДОРОДА

Одной из актуальных задач химической промышленности является создание эффективных средств защиты человека от выбросов вредных и отравляющих веществ. Для их улавливания используются различные сорбенты, катализаторы и поглотители. Применение химического поглотителя аммиака и сероводорода на основе гранулированного активированного угля в средствах индивидуальной защиты органов дыхания определяет высокие требования к качеству и эффективности данного продукта. Важным фактором, влияющим на свойства химического поглотителя, являются характеристики гранулированного активированного угленосителя. Любые изменения в технологии получения активированного угля приводят к изменению свойств поглотителя. В частности, изменения сырьевой базы в производстве гранулированных активированных углей являются причиной нестабильности качества химического поглотителя. В настоящей работе исследовано влияние пористой структуры и характеристик гранулированного активированного угленосителя на свойства химического поглотителя аммиака и сероводорода. Показано влияние состава сырьевых компонентов на формирование пористой структуры гранулированного активированного угленосителя и последующее качество химического поглотителя.

Использование в качестве связующего каменноугольной смолы различных производителей позволяет получать гранулированный активированный уголь с развитой пористой структурой и высокой механической прочностью. Установлено, что применение такого типа связующего оказывает существенное влияние на формирование пористой структуры активированного угля, что в свою очередь приводит к изменению основных характеристик получаемого на его основе химического поглотителя (содержания активной добавки сульфата меди (II), динамической активно-

сти по аммиаку и сероводороду). При этом предпочтительнее использовать связующее с меньшим значением плотности и массовой доли кокса.

Ключевые слова: *каменный уголь, полукокс, каменноугольная смола, гранулированный активированный уголь, химический поглотитель аммиака и сероводорода, сульфат меди (II), водорастворимая форма сернистой меди (II).*

**A.N. Tsukanova¹, E.A. Farberova¹, E.A. Pershin¹,
N.B. Hodyashev¹, N.V. Limonov²**

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²JSC«Sorbent», Perm, Russian Federation

INFLUENCE OF POROUS STRUCTURE AND PROPERTIES OF ACTIVATED CARBONS ON THE CHARACTERISTICS OF A CHEMICAL ABSORBER OF AMMONIA AND HYDROGEN SULFUR

One of the urgent tasks of the chemical industry is the creation of effective means of protecting humans from harmful and toxic substances. Various sorbents, catalysts and absorbers are used to capture them. The use of a chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide based on granular activated carbon in personal protective equipment for the respiratory system provides high requirements for the quality and effectiveness of this product. An important factor influencing the properties of the chemical scavenger is the characteristics of the granular activated carbon carrier. Any changes in the technology for producing activated carbon lead to a change in the properties of the absorber. In particular, the change in the raw material base in the production of granular activated carbons causes instability in the quality of the chemical absorber. In this work, the influence of the porous structure and characteristics of granular activated carbon-carrier on the properties of a chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide is investigated. The influence of the composition of the raw material components on the formation of the porous structure of the granular activated carbon-carrier and the subsequent characteristics of the chemical absorber is shown.

The use of a stone-strength resin from various manufacturers as a binder makes it possible to obtain granular activated carbon with a developed porous structure and high mechanical strength. It was found that the use of this type of binder has a significant effect on the formation of the main structures of activated carbon, which in turn leads to a change in the main characteristics of the resulting substance based on a chemical absorber (active additives of copper (II) sulfate, dynamic activity with respect to ammonia and hydrogen sulfide). In this case, it is preferable to use a binder with a lower density and coke fraction.

Keywords: *coal, semi-coke, coal tar, granular activated carbon, chemical absorbent of ammonia and hydrogen sulfide, copper (II) sulfate, water-soluble form of copper sulfate (II).*

Углеродные адсорбенты на сегодняшний день нашли применение для решения широкого спектра задач по обеспечению химической и биологической безопасности окружающей среды, инфраструктуры

и человека. В силу своих физико-химических свойств такие сорбционные материалы используются для санитарной очистки отходящих газов, очистки воздуха жилых и производственных помещений, в системах газоочистки на атомных электростанциях, в подготовке питьевой воды и обезвреживании сточных вод, для детоксикации почв, в золотодобывающей, нефте- и газоперерабатывающей промышленности, в производстве химических и фармацевтических препаратов, а также в средствах индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания. В качестве эффективных сорбентов для указанных областей используются активированные угли, катализаторы и химические поглотители на их основе [1–3].

В некоторых случаях адсорбционные технологии, основанные на использовании активированных углей, оказываются неэффективными для поглощения загрязняющих веществ из воздуха. Для этого требуется применение селективных сорбентов – углеродных хемпоглотителей [4]. Получение эффективных хемсорбентов требует соблюдения двух ключевых параметров: наличия матрицы в виде инертного высокопористого твердого тела и активной химической добавки, обуславливающей свойства химического поглотителя [5]. В качестве активных хемсорбционных добавок могут использоваться различные органические и неорганические соединения, позволяющие связывать токсичные вещества [6].

На сегодняшний день к числу приоритетных задач в сельском хозяйстве (животноводческие комплексы), химической отрасли (синтез аммиака и других химических веществ) и на очистных сооружениях водоканалов относится очистка воздуха от таких загрязняющих веществ, как аммиак и сероводород [7–10]. Для поглощения указанных веществ используют хемсорбционный метод очистки воздуха с применением химического поглотителя аммиака и сероводорода марки купрамит [11, 12]. Использование химического поглотителя аммиака и сероводорода на основе гранулированного активированного угля в средствах индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания определяет высокие требования к качеству и стабильной эффективности данного продукта.

Несмотря на имеющуюся отработанную десятилетиями технологию получения купрамита, малейшие изменения технологического процесса приводят к дестабилизации качества поглотителя. Одной из главных причин, объясняющих такую нестабильность, следует выделить смену сырьевой базы для получения основы поглотителя – гранулированного активированного угля (ГАУ). Так, в связи с сокращением

производства, а следовательно, и поставок лесохимических смол, используемых в качестве связующего при получении ГАУ, предприятия сорбционной промышленности вынуждены вести активные поиски новых альтернативных видов связующих веществ [13–15]. Данный фактор оказывает прямое влияние на характеристики активированного угля и, соответственно, на качество хемосорбента.

Целью настоящей работы является исследование влияния сырьевых компонентов на формирование пористой структуры и свойства активированного угля – основы химпоглотителя аммиака и сероводорода и определение зависимостей свойств поглотителя от характеристик углеродного носителя.

В связи с дефицитом лесохимических смол на рынке в настоящее время в производстве активированных углей в качестве связующего вещества предполагается использование каменноугольных смол различных производителей, отличающихся физико-химическими характеристиками. Постоянным в производстве гранулированных активированных углей остается состав угольной пыли: уголь марки ССОМСШ класса 0–50 мм от ОАО «УК «Кузбассразрезуголь Бачатский угольный разрез» и полукокс фракции 5–25 мм от ООО «Завод углеродистых материалов».

В качестве связующего исследованы две марки каменноугольной смолы двух производителей. Характеристики исходного сырья для получения лабораторных образцов активированного угля приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики используемых сырьевых компонентов

Наименование показателя	Значение показателя для каменноугольной смолы	
	Производитель 1	Производитель 2
Плотность, кг/м ³ , при 20 °С	1162	1151
Массовая доля воды, %	2,4	2,5
Массовая доля кокса, %	15,1	12,3
Значение показателя для каменного угля		
Влага общая, %	3,1	
Массовая доля летучих веществ, %	27,5	
Массовая доля зольных компонентов, %	5,4	
Значение показателя для полукокса		
Влага общая, %	7,6	
Массовая доля летучих веществ, %	6,5	
Зольность, %	3,9	
Массовая доля серы, %	0,19	

В лабораторных условиях изготовлены 6 образцов активированного угля серии АГ с размером частиц 1,0–1,5 мм. В табл. 2 приведены условия получения угольно-смоляной композиции для получения ГАУ.

Таблица 2

Условия получения образцов активированного угля

Обозначение образца	Состав угольной пыли	Производитель связующего
АУ.1	Каменный уголь – 100 %	Производитель 1
АУ.2		Производитель 2
АУ.3	Каменный уголь – 75 % полукокс – 25 %	Производитель 1
АУ.4		Производитель 2
АУ.5	Каменный уголь – 50 % полукокс – 50 %	Производитель 1
АУ.6		Производитель 2

Процессы высокотемпературной обработки сырых гранул (карбонизация при температуре 500 °С и активация при температуре 900 °С в атмосфере перегретого водного пара) проводили во вращающейся лабораторной электропечи. Процесс активации полученных образцов полупродукта проводили до степени обгара гранул 50 % мас., при этом образцы достигали суммарного объема пор 0,82–0,89 см³/г. Ниже приведены значения скорости активации (г/(г·ч)) карбонизованных гранул лабораторных образцов, полученных в разных условиях: АУ.1 – 0,42; АУ.2 – 0,41; АУ.3, АУ.4 – 0,44; АУ.5 – 0,54; АУ.6 – 0,79. Как видно, в большей степени на процесс активации влияет количество введенного в угольно-смоляную композицию полукокса.

Физико-механические и адсорбционные характеристики полученных образцов активированного угля представлены в табл. 3. Данные показатели являются нормируемыми в производстве ГАУ и служат главным ориентиром для оценки их качества. Анализы физико-механических и сорбционных свойств образцов активированных углей и поглотителей на их основе выполнены согласно ГОСТ В 20777¹ и ТУ 2165-539-05795731–2012² соответственно.

¹ ГОСТ В 20777–75. Угли активные марок АГ-3У и АГ-5. Технические условия: утв. Постановлением Госстандарта России от 29.12.93 № 290. Введ. 1994-07-01.

² ТУ 2165-539-05795731–2012. Поглотители химические аммиака и сероводорода марок Купрамит и Купрамит-М. Технические условия / АО «Сорбент». Пермь, 2012.

Таблица 3

Физико-механические и адсорбционные характеристики образцов активированного угля

Наименование показателя	Значение показателя для образца активированного угля					
	АУ.1	АУ.2	АУ.3	АУ.4	АУ.5	АУ.6
Массовая доля золы, %	6,5	7,1	7,4	7,3	8,1	8,9
Массовая доля влаги, %	0,1	0,3	0,1	0,4	0,8	0,2
Насыпная плотность, г/дм ³	459	468	464	443	466	452
Прочность при истирании, %	92	92	92	91	93	92
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	0,82	0,83	0,83	0,86	0,85	0,89
Динамическая активность по бензолу, мин	69	67	65	61	63	66
Динамическая активность по хлорэтилу, мин	47	46	48	47	54	48

Как видно из табл. 3, полученные угли обладают высокой механической прочностью (90–92 %), низким содержанием зольных компонентов (6,5–8,9 %), высокой динамической активностью по бензолу (63–69 мин) и хлорэтилу (46–54 мин), что существенно превышает нормативные требования к данной марке углей.

Небольшое отличие образцов наблюдается в содержании зольных компонентов и суммарном объеме пор по воде. Так, увеличение доли полукокса в составе угольной пыли приводит к получению активированного угля с более высоким содержанием золы в составе и суммарным объемом пор по воде при том, что скорость активации таких образцов выше. Это косвенно может указывать на отличия параметров пористой структуры исследуемых образцов активированных углей.

На основе полученных лабораторных образцов активированных углей были изготовлены образцы поглотителя купрамит путем нанесения на их поверхность активной добавки сульфата меди (II) с концентрацией 350 г/дм³ и температурой 70–80 °С с последующими вылеживанием и термообработкой.

Для образцов активированных углей и химических поглотителей на его основе определены характеристики пористой структуры и проанализировано их влияние на сорбционные свойства поглотителей (табл. 4).

Таблица 4

Параметры пористой структуры образцов активированного угля

Наименование показателя	Значение показателя для образца активированного угля и химического поглотителя на его основе													
	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6								
	АУ.1	АУ.2	АУ.3	АУ.4	АУ.5	АУ.6	ПГ.1	ПГ.2	ПГ.3	ПГ.4	ПГ.5	ПГ.6		
Содержание активной добавки, %	-	13,9	-	13,4	-	12,8	-	12,6	-	12,8	-	12,3	-	12,3
Динамическая активность по аммиаку, мин	-	42	-	44	-	41	-	41	-	39	-	37	-	37
Динамическая активность по сероводороду, мин	-	51	-	54	-	53	-	55	-	51	-	46	-	46
Удельная площадь поверхности по методу БЭТ, m^2/g	938	621	993	656	866	570	882	562	810	529	846	585	846	585
Суммарный объем пор, cm^3/g	0,82	0,75	0,83	0,77	0,83	0,73	0,86	0,83	0,85	0,78	0,89	0,78	0,89	0,78
Пределный объем адсорбционного пространства V_0 , cm^3/g	0,500	0,340	0,530	0,356	0,478	0,321	0,491	0,322	0,480	0,321	0,508	0,362	0,508	0,362
Доля изменения предельного объема адсорбционного пространства, %	-	32	-	33	-	33	-	34	-	33	-	29	-	29
Объем микропор $V_{мк}$, cm^3/g	0,452	0,294	0,465	0,299	0,421	0,274	0,422	0,271	0,400	0,262	0,413	0,283	0,413	0,283
Объем мезопор $V_{мс}$, cm^3/g	0,044	0,039	0,050	0,037	0,067	0,052	0,071	0,059	0,102	0,074	0,113	0,092	0,113	0,092
Объем макропор $V_{ма}$, cm^3/g	0,320	0,410	0,300	0,414	0,352	0,409	0,368	0,508	0,370	0,459	0,382	0,418	0,382	0,418
Истинная плотность, g/cm^3	2,054	2,114	2,061	2,143	2,046	2,137	2,061	2,146	2,055	2,147	2,065	2,134	2,065	2,134
Кажущаяся плотность, g/cm^3	0,644	0,815	0,660	0,811	0,666	0,838	0,645	0,772	0,647	0,800	0,658	0,801	0,658	0,801

Характеристики пористой структуры активированных углей и химических поглотителей на их основе рассчитывали на основании изотерм низкотемпературной адсорбции азота, полученных на быстродействующем анализаторе определения удельной поверхности «NOVA 1200e».

Из табл. 4 видно, что увеличение доли полукокса снижает удельную площадь поверхности по БЭТ АУ на 15–20 %, объем микропор – на 10–15 %. Объем мезопор и макропор, напротив, существенно возрастает: объем мезопор – более чем в 2,5 раза, объем макропор – на 20–30 %.

Следует отметить, что использование КУС производителя 2 позволяет получать активированные угли с более развитой пористой структурой. Смола производителя 2 характеризуется меньшей плотностью и меньшим показателем массовой доли кокса в сравнении с КУС производителя 1.

При одинаковых условиях проведения процесса пропитки активированных углей образцы получаемых поглотителей имеют различное содержание водорастворимой сернокислой меди (II). Выявлено, что при увеличении доли полукокса в углеродной пыли в процессе получения ГАУ на готовом носителе закрепляется меньшее количество активной добавки, однако при этом отмечается четкая тенденция к увеличению объема мезопор в образцах поглотителя.

Примечательно, что для каждого образца поглотителя характерна примерно одинаковая величина снижения значения предельного объема адсорбционного пространства относительно основы – на 29–34 %. При этом суммарный объем пор большинства поглотителей уменьшился на 7–12 %, что в свою очередь может указывать на распределение активной добавки в объеме адсорбционного пространства.

Далее представлена серия графиков, позволяющих наглядно оценить общие тенденции зависимостей характеристик поглотителей ПГ.1-ПГ.6 от параметров пористой структуры активированных углей АУ.1-АУ.6 (рис. 1, 2).

На рис. 1, 2 видно, что количество нанесенной активной химической добавки и характеристики динамической активности по аммиаку и сероводороду поглотителя уменьшаются при увеличении суммарного объема пор активированного угля – носителя. Оптимальные значения динамической активности по аммиаку и сероводороду характерны для поглотителя, полученного на образце активированного угля с суммарным объемом пор – 0,83 см³/г. Общая тенденция к увеличению массо-

вой доли водорастворимой меди и динамической активности по обоим тест-веществам для поглотителей наблюдается при увеличении объема микропор активированного угля, и снижении объема мезопор.

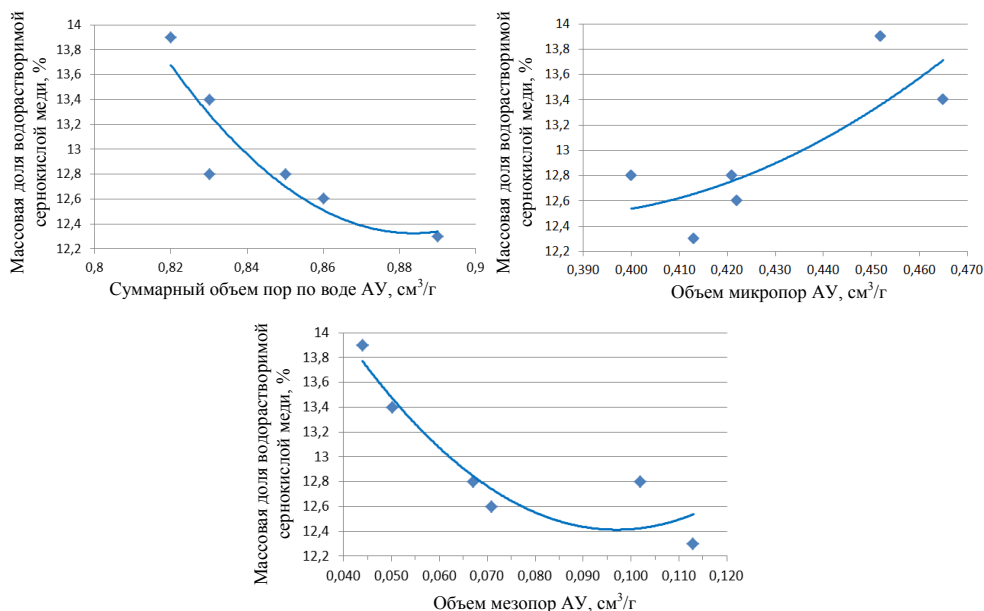


Рис. 1. Корреляционная зависимость массовой доли активной добавки в поглотителе от суммарного объема пор, объема микро- и мезопор основы

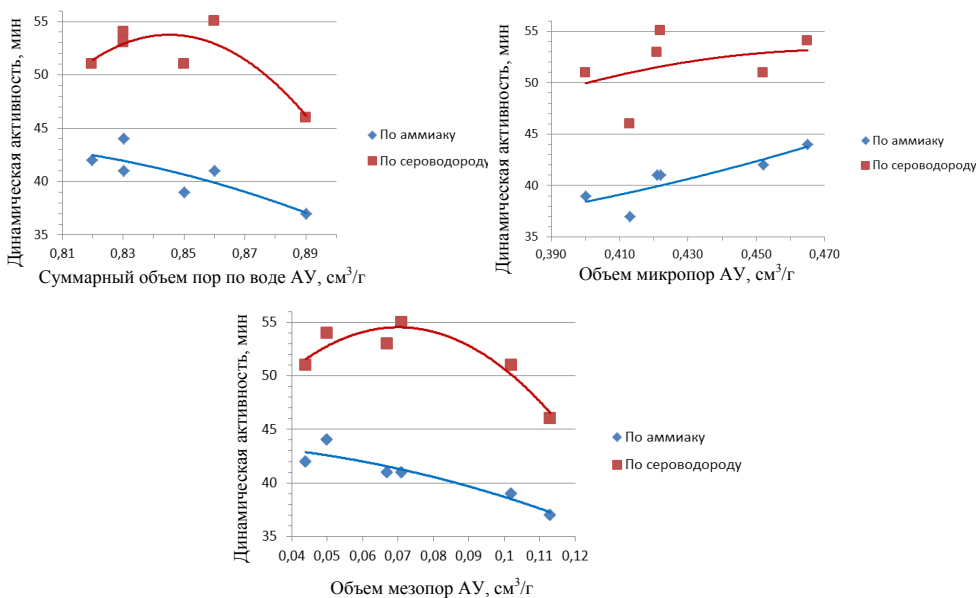


Рис. 2. Корреляционная зависимость динамической активности поглотителя по аммиаку и сероводороду от суммарного объема пор, объема микро- и мезопор основы

Оптимальный уровень динамической активности отмечается при объеме микропор активированного угля $0,465 \text{ см}^3/\text{г}$, мезопор – $0,050 \text{ см}^3/\text{г}$, характерных для образца активированного угля АУ.2.

Согласно полученным результатам исследования распределения пор по размерам, наибольший объем сорбционного пространства в образцах активированного угля и поглотителя составляют микропоры полушириной $0,525\text{--}0,625 \text{ нм}$. Затем графики резко смещаются в сторону уменьшения объема для пор большего размера. При этом в интервале значений полуширины пор от 1 до $1,5 \text{ нм}$ снова отмечается небольшое увеличение их объема с последующим снижением. Данные зависимости характерны для всех исследуемых образцов.

Пористая структура образцов поглотителя характеризуется распределением пор по размерам, аналогичным основе. Нанесение сульфата меди на поверхность активированного угля снижает объем пор полушириной $0,525\text{--}0,625 \text{ нм}$ на $35\text{--}50 \%$ от исходного объема пор основы.

В результате проведенных исследований показано, что увеличение доли полукокса в составе углеродной пыли (каменный уголь + полукокс) повышает скорость активации, но при этом приводит к снижению удельной площади поверхности по БЭТ и объема микропор и, напротив, к увеличению объема мезопор и макропор в активированном угле. Количество внесенной водорастворимой формы сернокислой меди в состав химпоглотителя и его динамическая активность по аммиаку и сероводороду повышается при увеличении удельной площади поверхности по БЭТ и объема микропор АУ, а также при уменьшении суммарного объема пор, объема мезопор и объема макропор АУ.

Список литературы

1. Мухин В.М. Углеродные адсорбенты как функциональные материалы для решения экологических проблем // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – № 5 (31). – С. 572–575.
2. Мухин В.М. Пути решения экологических проблем в нефтяном комплексе // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – № 1 (54). – С. 65–67.
3. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Кобелева А.Р. Технология получения активных углей и их применение: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 147 с.
4. Курилкин А.А., Мухин В.М. Получение активных углей по технологии ускоренного формирования пористой структуры и исследование их адсорбционных свойств // Успехи в химии и химической технологии. – 2014. – Т. 28, № 5 (154). – С. 33–36.

5. Стайлз Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика / пер. с англ. Л.А. Абрамовой, А.В. Кучерова; под ред. А.А. Слинкина. – М.: Химия, 1991. – 232 с.

6. Влияние метода подготовки растворов сульфата меди (II) на свойства химического поглотителя аммиака и сероводорода / А.Н. Цуканова, Н.Б. Ходяшев, Е.А. Фарберова, К.Г. Кузьминых // Перспективы инновационного развития химической технологии и инженерии: тез. и материалы междунар. науч. конф. – Сумгаит, 2019. – С. 132–134.

7. Лянг А.В. Разработка новых химических поглотителей и фильтров СИЗОД на их основе для использования в чрезвычайных ситуациях: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / С.-Петербург. гос. технол. ин-т. – СПб., 2007. – 278 с.

8. Криволапов И.П., Колдин М.С., Щербаков С.Ю. Исследование эффективности очистки воздуха в животноводческих комплексах от аммиака и сероводорода // ТППП АПК. – 2016. – № 3 (11). – С. 9–18.

9. Смолин Н.И., Жеребцов Б.В. Существующие методы и технические средства очистки воздуха от сероводорода // Современная техника и технологии. – 2013. – № 9 (25). – С. 7.

10. Bagreev A., Badosz T. Carbonaceous materials for gas phase desulfurization: role of surface heterogeneity // Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. FuelChem. – 2004. – № 49 (2). – P. 817–821.

11. Усовершенствование технологии получения углеродного химпоглотителя аммиака / Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, К.Г. Кузьминых, С.А. Смирнов // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62, вып. 9. – С. 117–123.

12. Получение и исследование модифицированного фуллеренами химического поглотителя аммиака на основе активного угля / Е.А. Спиридонова, В.В. Самонин, М.Л. Подвизников, В.Ю. Морозова // Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93, № 5. – С. 683–690.

13. Цуканова А.Н., Зорина Е.И., Лимонов Н.В. Получение активных гранулированных углей нового поколения // Химия. Экология. Урбанистика: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Пермь, 2019. – Т. 2. – С. 423–427.

14. Исследование возможности использования альтернативных видов связующих при производстве гранулированных активных углей / А.С. Ширкунов, Е.А. Фарберова, В.Г. Рябов, Н.В. Лимонов, Е.И. Зорина, Е.М. Великий // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 5. – С. 316–320.

15. Чучалина А.Д., Ширкунов А.С., Рябов В.Г. Исследование применимости тяжелых нефтяных остатков в качестве связующих для получения гранулированных активных углей // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 340–344.

References

1. Mukhin V.M. Uglerodnye adsorbenty kak funktsional'nye materialy dlia resheniia ekologicheskikh problem [Carbon adsorbents as functional materials for solving environmental problems]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2015, no. 5 (31), pp. 572-575.
2. Muhin V.M. Puti resheniia ekologicheskikh problem v neftianom komplekse [Ways to solve environmental problems in the oil complex]. *Jekspozicija Neft' Gaz*, 2017, no. 1 (54), pp. 65-67.
3. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kobeleva A.R. Tekhnologiya polucheniia aktivnykh uglei i ikh primenenie : uchebnoe posobie [Technology of obtaining activated carbons and their application: a tutorial]. Ministerstvo obrazovaniia i nauki Rossijskoj Federacii, FGBOU VO PNIPU, 2018, 147 p.
4. Kurilkin A.A., Muhin V.M. Poluchenie aktivnykh uglei po tekhnologii uskorenogo formirovaniia poristoi struktury i issledovanie ikh adsorbtsionnykh svoistv [Production of activated carbons by the technology of accelerated formation of a porous structure and study of their adsorption properties]. *Uspehi v himii i himicheskoi tekhnologii*, 2014, vol. 28, no. 5 (154), pp. 33-36.
5. Styles A.B. Nositeli i nanesennye katalizatory. Teoriia i praktika [Supports and Supported Catalysts. Theory and practice]. Moscow, Khimiia, 1991, 232 p.
6. Tsukanova A.N., Hodyashev N.B., Farberova E.A., Kuz'minyh K.G. Vliianie metoda podgotovki rastvorov sul'fata medi (II) na svoistva khimicheskogo poglotitel'ia ammiaka i serovodoroda [Influence of the method of preparing solutions of copper (II) sulfate on the properties of a chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide]. *Perspektivy innovacionnogo razvitiia himicheskoi tekhnologii i inzhenerii, Tezisy i materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii*, 2019, pp. 132-134.
7. Lyang A.V. Razrabotka novykh khimicheskikh poglotitelei i fil'trov SIZOD na ikh osnove dlia ispol'zovaniia v chrezvychainykh situatsiiakh [Development of new chemical absorbers and RPE filters based on them for use in emergency situations]. Ph. D thesis. Saint Petersburg, 2007, 278 p.
8. Krivolapov I.P., Koldin M.S., Tscherbakov S.Yu. Issledovanie effektivnosti ochistki vozdukha v zhivotnovodcheskikh kompleksakh ot ammiaka i serovodoroda [Study of the efficiency of air purification in livestock complexes from ammonia and hydrogen sulphide]. *TPP APK*, 2016, no. 3 (11), pp. 9-18.
9. Smolin N.I., Zherebtsov B.V. Sushchestvuiushchie metody i tekhnicheskie sredstva ochistki vozdukha ot serovodoroda [Existing methods and technical means of air purification from hydrogen sulphide]. *Sovremennaja tekhnika i tekhnologii*, 2013, no. 9 (25), pp. 7.
10. Bagreev A., Bandosz T. Carbonaceous materials for gas phase desulfurization: role of surface heterogeneity *Prepr. Pap.-Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem*, 2004, no. 49 (2), pp. 817-821.

11. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kuz'minyh K.G., Smirnov S.A. Usovershenstvovanie tekhnologii polucheniia uglerodnogo khimpoglotitelia ammiaka [Improvement of the technology for producing a carbon chemical absorbent of ammonia]. *Izvestija vuzov. Himija i himicheskaja tehnologija*, 2019, vol. 62, no. 9, pp. 117-123.

12. Spiridonova E.A., Samonin V.V., Podvyaznikov M.L., Morozova V.Yu. Poluchenie i issledovanie modifitsirovannogo fullerenami khimicheskogo poglotitelia ammiaka na osnove aktivnogo uglia [Preparation and investigation of a fullerene-modified chemical absorber of ammonia based on activated carbon]. *Zhurnal prikladnoj himii*, 2020, vol. 93, no. 5, pp. 683-690.

13. Tsukanova A.N., Zorina E.I., Limonov N.V. Poluchenie aktivnykh granulirovannykh uglei novogo pokoleniia [Obtaining of a new generation of activated granular carbon]. *Himija. Jekologija. Urbanistika. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii s mezhdunarodnym uchastiem*, 2019, vol. 2, pp. 423-427.

14. Shirkunov A.S., Farberova E.A., Ryabov V.G., Limonov N.V., Zorina E.I., Velikij E.M. Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniia al'ternativnykh vidov sviazuiushchikh pri proizvodstve granulirovannykh aktivnykh uglei [Investigation of the possibility of using alternative types of binders in the production of granular activated carbons]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2013, no. 5, pp. 316-320.

15. Chuchalina A.D., Shirkunov A.S., Ryabov V.G. Issledovanie primeni-mosti tiazhelykh nefதியnykh ostatkov v kachestve sviazuiushchikh dlia polucheniia granulirovannykh aktivnykh uglei [Investigation of the applicability of heavy oil residues as binders for the production of granular activated carbons]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*, 2014, no. 5, pp. 340-344.

Получено 19.07.2021

Об авторах

Цуканова Анжелика Николаевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Химия и биотехнология» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: angi.tsukanova@gmail.com).

Фарберова Елена Абрамовна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры «Химия и биотехнология» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Першин Егор Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Химия и биотехнология» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: egorpershin96@gmail.com).

Ходяшев Николай Борисович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Химия и биотехнология» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: nhodyashev@yandex.ru).

Лимонов Николай Викторович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, технический директор АО «Сорбент» (614042, г. Пермь, ул. Гальперина, 6; e-mail: nvlimonov@sorbent.su).

About the authors

Anzhelika N. Tsukanova (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: angi.tsukanova@gmail.com).

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Egor A. Pershin (Perm, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: egorpershin96@gmail.com).

Nikolaj B. Khodjashev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Chemistry and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990; e-mail: nhodyashev@yandex.ru).

Nikolaj V. Limonov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, technical director of JSC «Sorbent» (6, Halperina str., Perm, 614042; e-mail: nvlimonov@sorbent.su).