

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.4.06

УДК 661.1

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

¹ Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

² АО «Сорбент», Пермь, Россия

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ АММИАКА И СЕРОВОДОРОДА

Использование 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. В настоящей работе исследовано влияние различных факторов на эффективность химпоглотителя при получении его по существующей технологии. Рассмотрены следующие ключевые факторы, которые могут оказывать значительное влияние на качество химпоглотителя: количество активной добавки сернокислой меди (II) в составе поглотителя, применение продуктов лесохимической и коксохимической промышленности в качестве связующего вещества при получении активированных углей (основы поглотителя).

Эмпирическим путем установлено, что сорбционная активность сорбента по аммиаку и сероводороду зависит от количества нанесенной на углеродную матрицу водорастворимой формы сульфата меди (II). Определено оптимальное количество химической добавки в составе поглотителя, которое позволяет получать продукт с высоким уровнем динамической активности по аммиаку и сероводороду, при этом исключается перерасход сырья – импрегнирующей добавки.

Методом корреляционного анализа установлено влияние сырьевых компонентов (композиционного связующего), используемых при получении гранулированных активированных углей, на формирование пористой структуры основы и качественные характеристики химического поглотителя аммиака и сероводорода. Использование композиционного связующего с высоким содержанием каменноугольной смолы в составе угольно-смоляной композиции приводит к получению активированного угля с меньшим объемом адсорбционного пространства и микропор, а также оказывает отрицательное влияние на адсорбционную активность поглотителя, получаемого на основе такого активированного угля. Также с помощью указанного метода обнаружена связь между уровнем эффективности сорбента и его гранулометрическим составом.

Ключевые слова: углеродный поглотитель аммиака и сероводорода, гранулированный активированный уголь, сульфат меди (II), активная форма сернокислой меди (II), связанная форма сернокислой меди (II).

**A.N. Tsukanova¹, E.A. Farberova¹,
N.B. Khodyashev¹, N.V. Limonov²**

¹ Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

² JSC «Sorbent», Perm, Russian Federation

INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON CHARACTERISTICS OF CHEMICAL AMMONIA AND HYDROGEN SULFUR ABSORBER

The use of a chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide based on granular activated carbon in personal protective equipment for the respiratory system determines high requirements for the quality and effectiveness of this product. In the present work, the influence of various factors on the efficiency of a chemical absorber is investigated when it is obtained using the existing technology. The following key factors are considered: the amount of active additive of copper (II) sulfate in the composition of the absorber, the use of products of the wood-chemical and coke-chemical industries as a binder in the production of activated carbons (the basis of the absorber).

It was empirically established that the sorption activity of the sorbent with respect to ammonia and hydrogen sulfide depends on the amount of water-soluble form of copper (II) sulfate applied to the carbon matrix. The optimal amount of a chemical additive in the composition of the absorber has been determined, which makes it possible to obtain a product with a high level of dynamic activity with respect to ammonia and hydrogen sulphide, while excluding the excessive consumption of raw materials - an impregnating additive.

Using the method of correlation analysis, the influence of the raw components of the composite binder used in the preparation of granular activated carbons on the formation of the porous structure of the base and the qualitative characteristics of the chemical absorber of ammonia and hydrogen sulfide has been established. The use of a composite binder with a high content of coal tar in the composition leads to the production of activated carbon with a smaller volume of adsorption space and micropores, and also has a negative effect on the adsorption activity of the absorber obtained on the basis of such activated carbon. Also, using this method, a relationship was found between the level of efficiency of the sorbent and its granulometric composition.

Keywords: *carbon absorber of ammonia and hydrogen sulfide, granular activated carbon, copper sulfate, active form of copper sulfate, bound form of copper sulfate.*

На сегодняшний день одной из приоритетных задач химической промышленности является создание эффективных средств защиты человека от выбросов в атмосферу вредных и отравляющих веществ.

Для улавливания аммиака и сероводорода из газоздушных смесей широко применяется химический поглотитель Купрамит, который представляет собой гранулированный активированный уголь с разви-

той пористой структурой, импрегнированный активной химической добавкой – сульфатом меди (II) [1].

Разработанный технологический процесс получения поглотителя реализуется на предприятиях химической промышленности с 1960-х гг. 20-го столетия и состоит из следующих основных стадий:

1. Приготовление горячего концентрированного водного раствора сульфата меди (II).

2. Пропитка гранулированного активированного угля приготовленным горячим пропиточным раствором.

3. Вылеживание пропитанного угля в течение заданного времени для равномерного распределения активной химической добавки на поверхности углеродной матрицы.

4. Термическая обработка для удаления избытка влаги.

5. Рассев для выделения целевой фракции поглотителя.

Данная технология имеет модифицированную форму: процесс пропитки проводится в два этапа с последующей термообработкой после каждой пропитки, что позволяет наносить на поверхность углеродной матрицы большее количество активной формы сернистой меди (II). Стоит отметить, что двухступенчатая технология в производстве поглотителя имеет недоказанную эффективность, поскольку чрезмерное заполнение сорбционного пространства сорбента активным компонентом приводит к блокировке транспортных пор и микропор носителя кристаллами сульфата меди (II), что снижает способность поглотителя по отношению к аммиаку и сероводороду.

Несмотря на имеющуюся отработанную десятилетиями технологию получения Купрамита, малейшие изменения при получении носителя (активированного угля) приводят к дестабилизации качества поглотителя. В качестве основной причины, объясняющей эту нестабильность качества Купрамита, следует выделить смену сырьевой базы для получения углеродной 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 поиски альтернативных видов связующих веществ [2–4]. Данный фактор напрямую влияет на качественные характеристики активированного угля – основы поглотителя и соответственно на качество получаемого поглотителя.

В работах [5–10] исследованы возможности получения химических поглотителей аммиака и сероводорода на основе активированных

углей, модифицированных соединениями меди, никеля, бария, кобальта, кальция, магния, цинка. Показано, что при сравнении комплексообразующих свойств ионов металлов по отношению к аммиаку соли меди имеют преимущество, поскольку образуют наиболее прочные аммиакатные комплексы.

Целью данной работы является исследование влияния различных факторов на качественные характеристики поглотителя аммиака и сероводорода и определение наиболее значимых из них, обеспечивающих получение эффективного продукта.

К числу основных факторов, способных влиять на свойства поглотителя, можно отнести следующие: содержание активной (водорастворимой) сернокислой меди (II), качественные характеристики основы поглотителя – активированного угля и состав связующего вещества, используемого для получения ГАУ.

Для выявления оптимального количества водорастворимой сернокислой меди (II) в составе химического поглотителя в лабораторных условиях изготовлены образцы сорбента с различным содержанием активной химической добавки. Получение образцов осуществляли методом однократной пропитки активированного угля растворами сульфата меди (II) с температурой 70 °С различной концентрации с последующим вылеживанием в течение 6 ч и термообработкой в сушильном шкафу при температуре 160 °С. В качестве основы использовали гранулированный активированный уголь серии АГ с основным размером гранул 1,0–1,5 мм, суммарным объемом пор по воде не менее 0,82 см³/г и прочностью не менее 85 %. Характеристики полученных образцов поглотителя приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики лабораторных образцов химического поглотителя, полученных импрегнированием активного угля растворами сульфата меди (II) различных концентраций

Показатель	Значение показателя для образца				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Расчетное количество внесенной сернокислой меди (II), %	23	20	17	14	11
Массовая доля общей сернокислой меди (II), %	18,3	17,6	16,4	14,9	11,2
Массовая доля активной (водорастворимой) сернокислой меди (II), %	15,4	13,8	12,5	10,2	7,7

Окончание табл. 1

Показатель	Значение показателя для образца				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Массовая доля неактивной (связанной) сернокислой меди (II), %	2,9	3,8	3,9	4,7	3,5
Динамическая активность по аммиаку, мин	33	36	33	25	20
Динамическая активность по сероводороду, мин	28	30	29	24	25

Количество общей и водорастворимой сернокислой меди (II) определяли путем обработки навески поглотителя смесью кислот и водой, соответственно с последующим определением количества химической добавки методом объемного титрования. Количество связанной формы добавки определяли нахождением разницы между величиной общей и водорастворимой сернокислой меди (II).

Динамическую активность образцов поглотителя по аммиаку и сероводороду определяли на динамическом приборе путем пропускания газозвушной смеси через слой поглотителя заданной высоты до появления проскоковой концентрации газа за слоем сорбента при заданных скорости потока и концентрациях аммиака и сероводорода в потоке.

В работе [11] показано, что сорбционные свойства поглотителя зависят от количества водорастворимой формы сульфата меди. На рисунке представлен график зависимости динамической активности поглотителя по аммиаку и сероводороду от количества активной формы сернокислой меди (II) для полученных образцов.

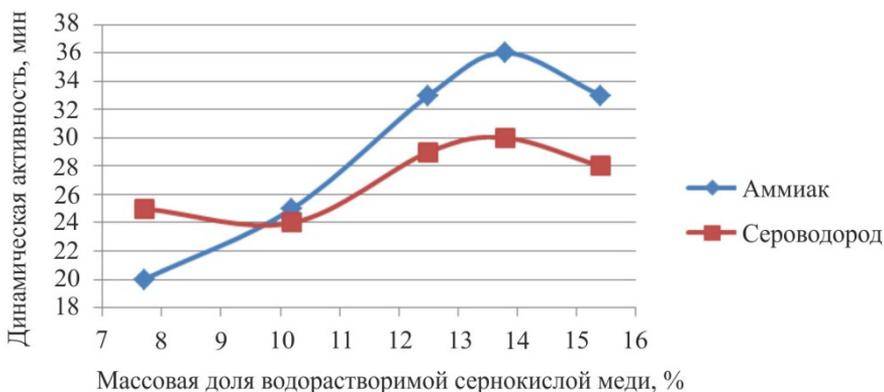


Рис. Зависимость динамической активности поглотителя от количества водорастворимой сернокислой меди (II)

По данным табл. 1 и рисунка видно, что наблюдается рост динамической активности по аммиаку и сероводороду образцов поглотителя при внесении водорастворимой сернокислой меди (II) в количестве до 13,8 мас.%, а при внесении добавки 15,4 мас.% уже наблюдается снижение сорбционной активности поглотителя.

В работе [12] отмечено, что при импрегнировании активированного угля пропиточным раствором часть ионов Cu^{2+} связывается с поверхностными кислородсодержащими функциональными группами носителя и переходит в связанную форму, не активную по отношению к аммиаку и сероводороду. Расчетное содержание неактивной формы сернокислой меди (II) может достигать 6 мас.%, в исследованных образцах содержание неактивной формы добавки составляет 2,9–4,7 мас.%.

Стоит отметить, что значения расчетного и фактически обнаруженного количества нанесенной общей сернокислой меди (II) (см. табл. 1) указывают на неполное закрепление химической добавки на углеродной матрице при нанесении более 17 мас.%. Процесс изготовления образцов № 1 и 2 (см. табл. 1) сопровождался осыпанием закристаллизовавшегося сульфата меди (II) с поверхности гранул активированного угля. Нанесение на углеродный носитель химической добавки в меньшем количестве сопровождалось меньшими потерями сульфата меди (II). Таким образом, на основании полученных значений динамической активности поглотителя и анализа количества нанесенной химической добавки можно заключить, что нанесение на угольную основу сернокислой меди более 17 мас.% является нецелесообразным.

Для определения степени влияния других различных факторов на свойства поглотителя аммиака и сероводорода использовали метод корреляционного анализа. В химической технологии использование корреляционного анализа помогает установить силу связи между двумя или несколькими переменными [13]. В случае, когда между явлениями слабо прослеживается или отсутствует зависимость, корреляционный анализ помогает обнаружить наличие связи между величинами или ее отсутствие, а полученные результаты могут быть использованы для корректировки параметров технологического процесса. Результат корреляционного анализа носит вероятностный характер, поскольку заключение о наличии или отсутствии связи между переменными принимается с установленной доверительной вероятностью.

Количественной оценкой силы связи между величинами является коэффициент корреляции, который отражает силу линейной связи ме-

жду случайными величинами X и Y и может принимать значения от -1 до 1 . При положительном значении коэффициента корреляции росту величины параметра X соответствует рост величины параметра Y . При отрицательном значении коэффициента корреляции возрастанию величины X соответствует уменьшение величины Y . Величины X и Y являются коррелированными, если их коэффициент корреляции отличен от нуля.

Существуют следующие критерии оценки значений коэффициентов корреляции: значения (по модулю) от $0,1$ до $0,3$ включительно описывают слабую тесноту связи между величинами, от $0,3$ до $0,5$ включительно – умеренную, от $0,5$ до $0,7$ включительно – заметную, от $0,7$ до $0,9$ включительно – высокую, свыше $0,9$ – очень высокую [14].

Коэффициент корреляции r_{xy} вычисляют по величине ковариации:

$$r_{xy} = \text{cov}(X, Y) / S_x S_y,$$

где $\text{cov}(X, Y) = \sum(X_i - X)(Y_i - Y)/(n - 1)$ – ковариация; S_x – среднее квадратическое отклонение величин X ; S_y – среднее квадратическое отклонение величин Y [15].

На основе данных приемо-сдаточных испытаний промышленных партий поглотителя Купрамит за 2018–2020 гг. производства АО «Сорбент» проведен корреляционный анализ для обнаружения вероятных зависимостей показателей динамической активности поглотителя по аммиаку и сероводороду от влияющих факторов: качественных характеристик поглотителя, пористой структуры активного угля – основы и от используемого сырья для изготовления основы.

В табл. 2 представлены значимые коэффициенты корреляции, характеризующие уровень связи между качественными характеристиками Купрамита и составом использованного для изготовления основы связующего. В качестве связующих веществ при приготовлении основы использовались каменноугольная смола (КУС) производства ОАО «Губахинский кокс» и лесохимическая смола производства ОАО «Амзинский лесокombинат» (ЛХС-А).

По данным табл. 2 связь параметров «динамическая активность по аммиаку» и «массовая доля водорастворимой серноокислой меди» согласно критериям оценки коэффициентов корреляции характеризуется как значимая. При этом коэффициент имеет положительное значение, что говорит о повышении уровня сорбционной эффективности по аммиаку при увеличении доли активной формы серноокислой меди (II) в составе поглотителя. Стоит отметить, что количество активной серноокислой меди (II) для выбранных партий поглотителя составляет

12,3–15,1 мас.%, при увеличении количества химической добавки зависимость может приобрести иной характер ввиду блокировки сорбционного пространства.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции, полученные на основании анализа данных о качестве промышленных партий поглотителя

Показатель	Значение коэффициента корреляции		
	Массовая доля водорастворимой сернокислой меди	Динамическая активность (ДА) по аммиаку	Динамическая активность (ДА) по сероводороду
Массовая доля водорастворимой сернокислой меди (II)	–	0,603	–
Фракционный состав, остаток на сите:	№ 20	–0,193	–0,244
	№ 05	0,163	0,282
Доля КУС в составе связующего	–0,291	–0,403	–0,290
Доля ЛХС-А в составе связующего	0,231	0,513	0,412

Отмечается зависимость динамических показателей поглотителя от фракционного состава: уменьшение доли крупных гранул на сите № 20 и увеличение доли мелких частиц на сите № 05 в совокупности повышают динамическую активность поглотителя по аммиаку и сероводороду. Подобный эффект можно объяснить большей плотностью слоя поглотителя при динамических испытаниях по аммиаку и сероводороду, благодаря высокому содержанию частиц с размером от 0,5 до 1 мм.

Установлено, что на эффективность поглотителя существенно влияет сырье, используемое для изготовления активированного угля – основы поглотителя. Так, повышение доли лесохимической смолы в составе композиционного связующего позволяет получить поглотитель с более высокими динамическими характеристиками, как по аммиаку, так и по сероводороду. Увеличение доли каменноугольной смолы в составе угольно-смоляной композиции при получении активированного угля приводит к обратному эффекту. Предполагается, что использование различных видов сырья в качестве связующего вносит существенный вклад в формирование пористой структуры активированного угля – основу поглотителя, и, как следствие, влияет на сорбционную способность получаемого химического поглотителя.

Для оценки влияния сырья на параметры пористой структуры основы поглотителя найдены коэффициенты корреляции для активированных углей, изготовленных с использованием композиционного связующего на основе КУС и лесохимической смолы производства ЗАО «Верхнесинячихинский лесохимический завод» (ЛХС-ВС), значимые коэффициенты корреляции представлены в табл. 3. По данным табл. 3 видно, что повышение доли каменноугольной смолы в композиционном связующем приводит к увеличению доли макропор и уменьшению объема адсорбционного пространства, в частности, к уменьшению объема микропор в активированном угле, причем значения коэффициентов корреляции характеризуют тесноту связи для указанных параметров как заметную и высокую.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции, характеризующие связь параметров пористой структуры активированного угля от состава сырья

Используемое сырье	Значение коэффициента корреляции		
	Предельный объем адсорбционного пространства W_S	Объем макропор $V_{ма}$	Объем микропор $V_{ми}$
КУС	-0,602	0,841	-0,681
ЛХС-ВС	0,602	-0,841	0,681

Проведенные эксперименты в совокупности с корреляционным анализом позволили выявить ключевые факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество серийно выпускаемого химического поглотителя Купрамит. К числу таких факторов относятся: содержание водорастворимой формы сернокислой меди (II), характер сырья, используемого для изготовления активированного угля – основы поглотителя, размер гранул поглотителя.

Определено оптимальное содержание водорастворимой сернокислой меди в составе поглотителя и показано, что повышение ее доли более 17 мас.% нецелесообразно.

Выявлена зависимость сорбционной активности поглотителя от размера гранул: рост доли мелкой фракции частиц приводит к увеличению поглощающей способности за счет снижения длины работающего слоя.

Установлено влияние типа связующего вещества на пористую структуру активированного угля – основу поглотителя и соответствующие характеристики импрегнированного поглотителя аммиака и сероводорода. Использование лесохимической смолы позволяет по-

лучать сорбент с более высоким уровнем адсорбционной активности, применение каменноугольной смолы напротив снижает эффективность получаемого продукта.

На основании полученных выводов возможно проведение корректировок технологического процесса с целью получения эффективного поглотителя аммиака и сероводорода.

Список литературы

1. Глушанков К.В., Кобелева А.Р., Фарберова Е.А. Влияние ультразвуковой обработки на свойства поглотителя аммиака, предназначенного для средств индивидуальной защиты органов дыхания // Химия. Экология. Урбанистика: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, асп., студ. и шк. – Пермь, 2017. – С. 472–476.

2. Цуканова А.Н, Зорина Е.И., Лимонов Н.В. Получение активных гранулированных углей нового поколения // Химия. Экология. Урбанистика: тез. докл. Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, асп., студ. и шк. – Пермь, 2019. – С. 423–427.

3. 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.

4. 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.

5. Архипова Е.В. Способы получения поглотителей аммиака // Сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов ТГТУ. – Тамбов, 2013. – Вып. IV.

6. Модифицированные сорбенты для селективного извлечения аммиака и его производных / Ю.А. Лейкин, Б.Ф. Мясоедов, В.В. Лосев, Е.А. Кириллов // Хим. физика. – 2007. – Т. 25, № 10. – С. 18–32.

7. Усовершенствование технологии получения углеродного хемпоглотителя аммиака / Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, К.Г. Кузьминых, С.А. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2019. – Вып. 62, № 9. – С. 117–123.

8. 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.

9. Булучевский Е.А., Лавренов А.В., Дуплякин В.К. Сорбенты типа «соль в пористой матрице» в процессе переработки углеводов // Российский химический журнал. – 2007. – Т. LI, вып. 4. – С. 85–91.

10. Агеева С.В., Ксандров Н.В., Ожогина О.Р. Модификация активного угля хлоридом меди (II) для увеличения его адсорбционной емкости по аммиаку // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – С. 446–447.

11. Исследование влияния условий синтеза на свойства композиционного углеродного хемосорбента аммиака / Н.Г. Кудымова, Е.А. Фарберова, В.В. Вольхин, Е.А. Галкин // Молодежная наука Прикамья. – 2002. – Вып. 2. – С. 151–156.

12. Поглотитель аммиака и сероводорода на основе активных углей и исследование его свойств / Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева, А.Р. Кобелева [и др.] // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 50, № 6. – С. 41–47.

13. Темукуева Ж.Х. Корреляционно-регрессионный анализ как индикатор отбора показателей при проведении факторного экономического анализа // Проблемы современной науки и образования. – 2016. – № 19 (61). – С. 67–69.

14. Погорелова М.Я. Экономический анализ: теория и практика: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 373 с.

15. Симонов А.А., Выск Н.Д. Проверка статистических гипотез: метод. указания и варианты курс. заданий. – М., 2005. – 48 с.

References

1. Glushankov K.V., Kobleleva A.R., Farberova E.A. Vliianie ul'trazvukovoi obrabotki na svoistva poglotitel'ia ammiaka, prednaznachennogo dlia sredstv individual'noi zashchity organov dykhaniia [Influence of ultrasonic treatment on the properties of an ammonia absorber intended for personal protective equipment of the respiratory system]. *Khimiia. Ekologiiia. Urbanistika. Tez. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov*, 2017, pp. 472-476.

2. Tsukanova A.N., Zorina E.I., Limonov N.V. Poluchenie aktivnykh granulirovannykh uglei novogo pokoleniia [Obtaining active granular carbons of a new generation]. *Khimiia. Ekologiiia. Urbanistika. Tez. dokl. Vseros. nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh, aspirantov, studentov i shkol'nikov*, 2019, pp. 423-427.

3. Shirkunov A.S., Farberova E.A., Riabov V.G., Limonov N.V., Zorina E.I., Velikii 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-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2013, no. 5, pp. 316-320.

4. Chuchalina A.D., Shirkunov A.S., Riabov V.G. Issledovanie primenimosti tiazhelykh neftiannykh ostatkov v kachestve sviazuiushchikh dlia poluchenii granulirovannykh aktivnykh uglei [Study of the applicability of heavy oil residues as binders for the production of granular activated carbons]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ia*, 2014, № 5, pp. 340-344.

5. Arkhipova E.V. Sposoby polucheniia poglotitelei ammiaka [Methods for obtaining ammonia absorbers]. *Sbornik nauchnykh statei molodykh uchenykh, aspirantov i studentov TGTU*, Tambov, 2013, vol. IV.

6. Leikin Iu.A., Miasoedov B.F., Losev V.V., Kirillov E.A. Modifitsirovannye sorbenty dlia selektivnogo izvlecheniia ammiaka i ego proizvodnykh [Modified sorbents for selective extraction of ammonia and its derivatives]. *Khim. fizika*, 2007, vol. 25, no. 10, pp. 18-32.

7. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kuz'minykh K.G., Smirnov S.A. Usovershenstvovanie tekhnologii polucheniia uglernodnogo khimpoglotitel'ia ammiaka [Improvement of technology for producing carbon chemical absorbent ammonia]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiia i khimicheskaiia tekhnologiia*, 2019, vol. 62, no. 9, pp. 117-123.

8. Spiridonova E.A., Samonin V.V., Podviaznikov M.L., Morozova V.Iu. Poluchenie i issledovanie modifitsirovannogo fullerunami khimicheskogo poglotitel'ia ammiaka na osnove aktivnogo uglia [Preparation and investigation of a fullerene-modified chemical absorber of ammonia based on activated carbon]. *Zhurnal prikladnoi khimii*, 2020, vol. 93, no. 5, pp. 683-690.

9. Buluchevskii E.A., Lavrenov A.V., Dupliakin V.K. Sorbenty tipa «sol' v poristoii matritse» v protsesse pererabotki uglevodorodov [Sorbents of the "salt in a porous matrix" type in the process of hydrocarbon processing]. *Rossiiskii khimicheskii zhurnal*, 2007, vol. LI, no. 4, pp. 85-91.

10. Ageeva S.V., Ksandrov N.V., Ozhogina O.R. Modifikatsiia aktivnogo uglia khloridom medi (II) dlia uvelicheniia ego adsorbtsionnoi emkosti po ammiaku [Modification of activated carbon with copper (II) chloride to increase its adsorption capacity for ammonia]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia*, 2013, no. 3, pp. 446-447.

11. Kudymova N.G., Farberova E.A., Vol'khin V.V., Galkin E.A. Issledovanie vliianiia uslovii sinteza na svoistva kompozitsionnogo uglernodnogo khemosorbenta ammiaka [Study of the effect of synthesis conditions on the properties of a composite carbon ammonia chemisorbent]. *Molodezhnaia nauka Prikam'ia*, 2002, vol. 2, pp. 151-156.

12. Farberova E.A., Tin'gaeva E.A., Kobeleva A.R. i dr. Poglotitel' ammiaka i serovodoroda na osnove aktivnykh uglei i issledovanie ego svoistv [Ammonia and hydrogen sulfide scavenger based on active carbons and research of its properties]. *Butlerovskie soobshcheniia*, 2017, vol. 50, no. 6, pp. 41-47.

13. Temukueva Zh.Kh. Korreliatsionno-regressionnyi analiz kak indikator otbora pokazatelei pri provedenii faktornogo ekonomicheskogo analiza [Correlation-regression analysis as an indicator of the selection of indicators when conducting factor economic analysis]. *Problemy sovremennoi nauki i obrazovaniia*, 2016, no. 19 (61), pp. 67-69.

14. Pogorelova M.Ia. Ekonomicheskii analiz: teoriia i praktika. Uchebnoe posobie [Economic analysis: theory and practice. Tutorial]. INFRA-M, 2014, 373 p.

15. Simonov A.A., Vysk N.D. Proverka statisticheskikh gipotez. Metodicheskie ukazaniia i varianty kursovykh zadaniy [Testing statistical hypotheses. Methodical instructions and options for coursework]. Moscow, 2005, 48 p.

Получено 01.11.2020

Об авторах

Цуканова Анжелика Николаевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры химии и биотехнологии 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 химии и биотехнологии Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com).

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

Лимонов Николай Викторович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, исполняющий обязанности технического директора 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).

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, acting technical director of JSC «Sorbent» (6, Halperina str., Perm, 614113; e-mail: nvlimonov@sorbent.su).