

УДК 628.1, 628.3

© Л. И. Акимов, канд. техн. наук, доцент

© К. Г. Дмитриева, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет,

Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: akimovli@mail.ru, ksyu.dmitr@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-84-91

© L. I. Akimov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© K. G. Dmitrieva, post-graduate student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering,

St. Petersburg, Russia)

E-mail: akimovli@mail.ru, ksyu.dmitr@gmail.com

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИОНООБМЕННОЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕРОДНОГО АДсорбЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД БУМАЖНОЙ ФАБРИКИ

THE RESULTS OF THE STUDY OF THE ION EXCHANGE CAPACITY OF CARBON ADSORBENT OBTAINED FROM THE SEWAGE SLUDGE OF A PAPER MILL

Для удаления катионов металлов из промышленных и бытовых сточных вод в качестве аналога традиционным сульфоглям предлагается использовать углеродный адсорбент, который был получен в результате термохимической деструкции осадка производственных сточных вод бумажной фабрики. В работе исследована способность углеродного адсорбента к ионному обмену, а также приведены результаты экспериментов по изучению динамической обменной емкости.

Ключевые слова: углеродный адсорбент, активированный уголь, очистка воды, ионообменные свойства, динамическая обменная емкость.

With the purpose of removing metal cations from industrial and domestic wastewater, it is proposed, as an analogue to traditional sulfonated coal, to use a carbon adsorbent, which was obtained as a result of thermochemical destruction of industrial wastewater sludge from a paper mill. The ability of carbon adsorbent to ion exchange is investigated, and the results of experiments on the study of dynamic exchange capacity are presented.

Keywords: carbon adsorbent, activated carbon, water purification, ion exchange properties, dynamic exchange capacity.

Введение

В последние годы загрязнение поверхностных и подземных вод все больше приобретает характер необратимого массового процесса, причиной которого неизменно является многотоннажный сброс в естественные водоемы промышленных и бытовых сточных вод. Такое явление делает проблему рационального природопользования и охраны водных ресурсов все более актуальной, а вопрос необходимости очистки воды от различных видов

примесей становится особенно важной задачей для исследований [1–4].

К одним из наиболее распространенных и перспективных физико-химических способов очистки природных и сточных вод относится ионообмен. Сущность метода заключается в применении ионитов — твердых нерастворимых в воде веществ, способных обменивать входящие в их состав ионы на эквивалентное количество других ионов, находящихся в растворе. Реакция ионного обмена — это обратимая химическая реакция,

которая в общем случае заключается либо в обмене ионами между твердым веществом (ионитом) и раствором (электролитом), либо в обмене ионами между различными электролитами, находящимися в растворе. Чаще всего ионообменные технологии применяют в водоподготовке и водоочистке для снижения уровня жесткости и обезжелезивания воды, а также регулирования содержания солей в воде и нормализации их состава, для извлечения из сточных вод радиоактивных и других веществ. [1,5–10].

Из всего многообразия используемых в процессе ионного обмена ионитов можно выделить две группы: природного происхождения (сульфоугли и цеолиты) и синтетические (ионообменные смолы). Иониты могут обладать катионообменными и анионообменными свойствами, то есть удалять из электролитов положительно и отрицательно заряженные ионы, при этом катиониты обладают кислотными свойствами, а аниониты — основными. Основная характеристика ионитов — их ионообменная и поглощательная способность, характеризующаяся обменной емкостью — количеством поглощаемого вещества при насыщении единицы объема или массы ионита [10–13].

Преимущественно для умягчения воды, то есть для удаления катионов металлов, применяют сульфоуголь — активный уголь, который представляет собой полифункциональный катионит сильнокислого типа, получаемый главным образом из торфа, антрацита, бурого и каменного угля путем селективной термической обработки [14–17]. Однако ассортимент сульфоуглей не в полной мере отвечает возрастающей с каждым годом потребности промышленности. Стоит отметить, что все существующие технологии получения сульфоуглей по большей степени заключаются в обработке сырья избытком кислоты (который достигает соотношения уголь–кислота 1 : 3,5) с последующим нагревом, стадией отмывки водой и сушки полу-

ченного продукта, что существенно увеличивает стоимость производства сульфоугля, а также оказывает влияние данных технологий на экологию. Следовательно, разработка экономически выгодных технологий без вторичного загрязнения экологии остается и будет оставаться актуальной задачей.

В ранее проведенных исследованиях была предложена технология получения углеродного адсорбента из осадка производственных сточных вод бумажной фабрики «Гознак», за основу которой была взята технология получения сульфоуглей, а также проведены эксперименты по изучению адсорбционной активности [18–20].

Поскольку основной характеристикой сульфоуглей является динамическая обменная емкость, то целью исследования является изучение ионообменных свойств, проведение экспериментов по изучению динамической обменной емкости, а также уточнение условий получения углеродного адсорбента из осадка производственных сточных вод бумажной фабрики «Гознак».

Методы

Прежде всего были проведены эксперименты по изучению способности адсорбента к ионному обмену в статических условиях. Предварительно полученные образцы были просеяны на 2 фракции: мелкая, с размером частиц от 0,25 мм до 0,5 мм, и крупная, с размером частиц от 0,5 до 2,0 мм (по ГОСТ 5696–74¹). Для исследования ионнообменной способности навеску углеродного адсорбента погружали в стеклянный стакан с раствором кальция хлористого концентрацией 10 ммоль/л и выдерживали в течение 30 мин при постоянном перемешивании, с фиксацией изменения визуальных свойств раствора. По завершении экспериментов проводилось исследование общей жесткости раствора комплексонометрическим титрованием.

Комплексонометрическое титрование — метод, основанный на использовании реак-

¹ ГОСТ 5696–74. Сульфоуголь.

ций образования комплексонов — комплексных соединений катионов металлов с комплексоном. Иными словами, при проведении данного анализа титруется не определяемое вещество (ионы кальция), а вещество, образовавшееся в результате реакции. В исследуемых растворах происходит образование внутрикомплексных соединений, состоящих из ионов кальция (заместивших ионы водорода в структуре адсорбента) после титрования органическим реактивом — комплексоном. В качестве комплексона взят 0,05 н. раствор этилдиаминтетраацетат натрия (ЭДТА) или трилон Б. Для определения момента окончания реакции в качестве индикатора использовали органический краситель кислотный хромовый темно-синий, который окрашивает раствор в вишнево-красный цвет. В ходе титрования анализируемого раствора раствором трилона Б индикатор вытесняется из комплекса с металлом и раствор окрашивается в синий цвет, что может свидетельствовать об окончании реакции.

В целях изучения основной характеристики сульфоглей — динамической обменной емкости — лабораторные эксперименты проводились в соответствии с ГОСТ 5696-74 и ГОСТ 20255.2-89². Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

Определение динамической обменной емкости состоит из трех стадий: насыщение, регенерация и отмывка водой. Сквозь слой предварительно замоченного и отмытого исследуемого углеродного адсорбента объемом 100 см³ проводили стадию насыщения, для этого пропускали хлорид кальция концентрацией 3,5 ммоль/л (рабочий раствор) при скорости фильтрации, равной 32 см³/мин. Фильтрат отбирали порционно — по 500 мл после пропускания первых 0,5 и 1,0 л раствора, далее по 250 мл. В каждой порции определяли содержание ионов кальция в соответ-

ствии с комплексонометрическим методом, описанным ранее.

На первом этапе определяли динамическую обменную емкость D в миллимолях на литр (ммоль/л) до момента появления ионов кальция (рабочего раствора) в фильтрате. Расчет проводился в соответствии с формулой [1]

$$D = \frac{V_{\phi} \times c \times 1000}{V_{и}}, \quad (1)$$

где V_{ϕ} — общий объем фильтрата, пропущенный через ионит до появления ионов рабочего раствора, см³; c — концентрация рабочего раствора, ммоль/л; $V_{и}$ — объем ионита, см³.

Процесс фильтрации рабочего раствора через слой адсорбента проводился до мо-

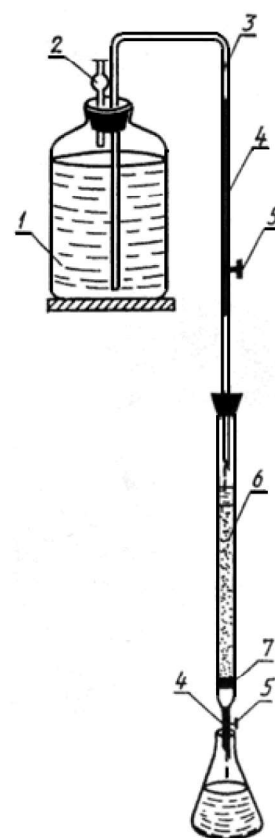


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 — бутылка; 2 — хлоркальцевая трубка с поглотителем; 3 — стеклянная трубка; 4 — резиновый шланг; 5 — винтовой зажим; 6 — стеклянная колонка; 7 — фильтр

² ГОСТ 20255-89. Иониты. Методы определения динамической обменной емкости.

мента уравнивания концентраций ионов кальция в рабочем растворе и в отбираемом фильтрате, что характеризует предельную, максимально возможную при данных условиях нагрузку на адсорбент по данному иону. Расчет полной динамической емкости D_{Π} в миллимолях на литр проводился в соответствии с формулой [2]

$$D_{\Pi} = \frac{(V_{\phi} \times c - \sum V_{\Pi} \times c)}{V_{\Pi}}, \quad (2)$$

где V_{ϕ} — общий объем фильтрата, пропущенный через ионит до появления ионов рабочего раствора, см³; c — концентрация рабочего раствора, ммоль/л; V_{Π} — объем порции фильтрата после появления ионов рабочего раствора (проскока), см³.

После стадии насыщения проводилась регенерация углеродного адсорбента. Для этого через колонку пропускали раствор серной кислоты концентрацией 0,5 моль/л со скоростью 16 см³/мин. Фильтрат собирали порционно в цилиндры по 250–1000 мл до момента появления в нем кислоты (контроль проводился с помощью метилового оранжевого индикатора). Регенерация проводилась до уравнивания концентрации фильтрата с концентрацией регенерирующего раствора. После регенерации углеродный адсорбент промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции со скоростью 32 см³/мин.

Результаты и обсуждения

Результаты определения ионообменной способности в статических условиях представлены в табл. 1.

На основе данных табл. 1 построен график зависимости ионообменной способности в статических условиях получаемого углеродного адсорбента от массового соотношения осадок–серная кислота (рис. 2).

Из графика видно, что углеродный адсорбент, полученный методом термохимической деструкции, обладает ионообменными свойствами, а наилучшими свойствами обладает образец, полученный при массовом соотношении осадок–серная кислота, рав-

ном 1:0,7. Таким образом, подтверждаются данные, полученные в результате ранее проведенных исследований адсорбционной активности [20].

При исследовании образцов углеродного адсорбента, полученных в условиях, когда массовое соотношение осадок–серная кислота был более чем 1:1,0, наблюдалось образование мелких хлопьев в анализируемом растворе (рис. 3). Данное явление происходит ввиду реакции взаимодействия остатка серной кислоты с катионами кальция из раствора, что значительно искажает результаты, соответственно, невозможно правильно оценить ионообменную реакцию на поверхности и внутри углеродного адсорбента. Таким образом, избыток кислоты в последующем будет негативно сказываться на качестве очистки воды.

При проведении экспериментов по изучению динамической обменной емкости было проведено 3 последовательных цикла, включающих стадию насыщения до момента проскока ионов кальция (рабочего раствора) в фильтрате и далее до момента полного насыщения, стадию регенерации и стадию отмывки водой. Далее были проведены рас-

Таблица 1

Результаты определения ионообменной способности в статических условиях в зависимости от условий термохимической деструкции осадка сточных вод (массового отношения осадок–серная кислота)

№ образца	Массовая доля кислоты по отношению к сухому осадку	Ионообменная способность адсорбента, ммоль/л	
		мелкая фракция	крупная фракция
1	0,3	1,00	2,79
2	0,5	1,50	1,29
3	0,6	2,67	0,38
4	0,7	3,81	2,46
5	0,9	3,00	2,46
6	1,1	8,83	13,29
7	1,3	18,17	17,79

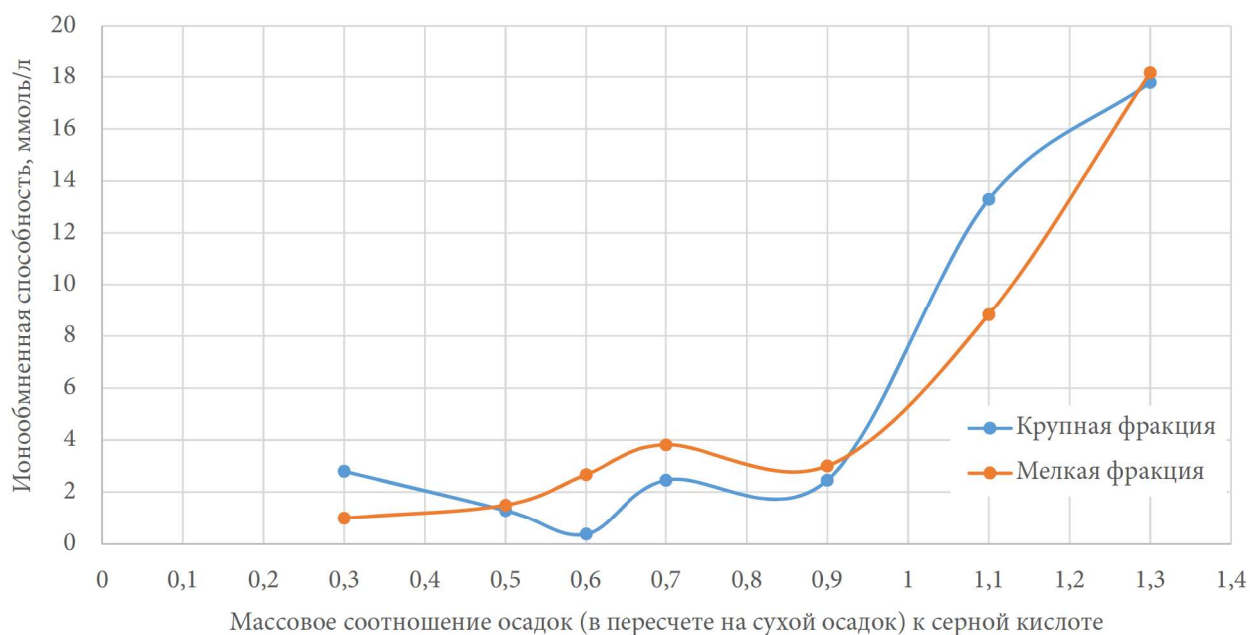


Рис. 2. График зависимости ионообменной способности углеродного адсорбента от массового отношения осадок-серная кислота

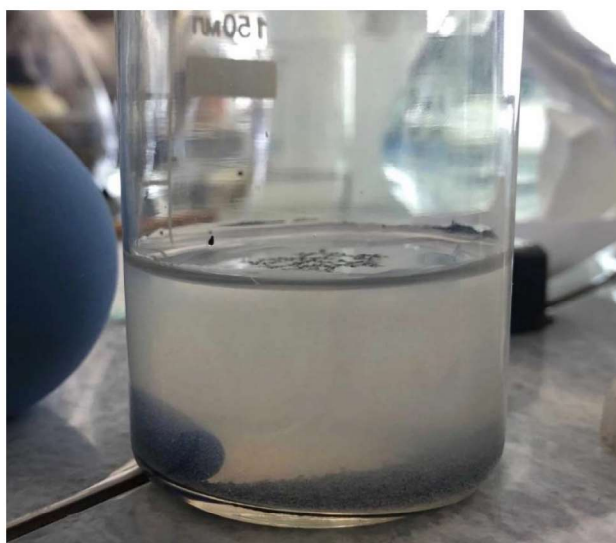


Рис. 3. Образование мелких хлопьев в растворе хлорида кальция при проведении реакции ионного обмена с углеродным адсорбентом, полученным в избытке серной кислоты

четы в соответствии с формулами (1) и (2). Результаты экспериментов представлены в табл. 2.

Таким образом, результаты исследования показывают, что углеродный адсорбент, полученный методом термохимической деструкции осадка производственных

сточных вод бумажной фабрики, обладает ионообменными свойствами. Динамическая обменная емкость составляет 195 ммоль/л, что значительно выше показателей для сульфоугля, выпускаемого по ТУ 2162-001-00279870-2006³ и ТУ 2162-078-05015182-2001⁴ (180 ммоль/л), а полная динамическая емкость равна 243,75 ммоль/л.

Выводы

На основе данных ранее проведенных экспериментов по получению углеродного адсорбента из осадка производственных сточных вод бумажной фабрики «Гознак» и данных его адсорбционной активности были проведены эксперименты по изучению способности углеродного адсорбента к ионному обмену, динамической обменной емкости и полной динамической емкости. В ходе проведенной работы также были уточнены условия получения углеродного адсорбента: массовое соотношение осадок-серная кислота.

По сравнению с ранее проведенными исследованиями по изучению адсорбционных свойств углеродного адсорбента в статиче-

³ ТУ 2162-001-00279870-2006. Технические условия. Сульфоуголь.

⁴ ТУ 2162-078-05015182-2001. Технические условия. Сульфоуголь.

Таблица 2

**Результаты определения динамической
обменной емкости и полной динамической
емкости**

№ цикла	Динамическая обменная емкость, ммоль/л	Полная динамическая емкость, ммоль/л
1	195,00	243,8
2	187,00	240,1
3	185,00	237,2

ских условиях йодометрическим методом, в данном случае изучались ионообменные свойства адсорбента по отношению к ионам, определяющим жесткость воды. Таким образом, результаты показывают, что углеродный адсорбент обладает свойствами, присущими сильноокислым катионитам, следовательно, может использоваться в технологиях очистки природных и сточных вод в качестве аналога традиционно используемым сульфоглям.

Дальнейшие исследования направлены на более глубокое изучение физико-химических характеристик углеродного адсорбента.

Библиографический список

1. Доронкина И. Г. Ионообменные технологии очистки сточных вод с использованием ионитов // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2020): материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. С. 291–296.
2. Еремина А. О., Головина В. В., Угай М. Ю., Рудковский А. В. Углеродные адсорбенты из отходов переработки древесины для очистки сточных вод // Успехи современного естествознания. 2005. № 8. С. 29–29. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8998> (дата обращения: 26.12.2022).
3. Рокотьянская В. В., Россинская М. В. Анализ влияния антропогенных факторов промышленного производства на окружающую среду (на материалах легкой промышленности) // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2011. № 2. С. 253–260.
4. Тумин, А. Н., Чебан В. Г., Левченко Э. П. Эффективный способ очистки воды // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 4-й Междунар. науч.-

практ. конф., Донецк, 22–25 мая 2018 года. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2018. С. 130–133.

5. Аванесян Н. М., Коновалова А. А., Максимова С. А. Современные технологии очистки сточных вод промышленных предприятий // Вузовская наука в современных условиях: сборник материалов 53-й науч.-техн. конф. В 3 ч. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2019. С. 39–42.

6. Каракеев В. И., Кольцов В. Б. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. М.: МИЭТ, 2007.

7. Соколова Т. Ю., Поддубный Д. А., Гольченко Е. А. Химподготовка в котельной при помощи Накатионных фильтров // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: достижения и инновации. 2022. С. 43–49.

8. Соловьев Д. О., Драбкина Е. В. Основные способы очистки и водоподготовки // Chronos. 2022. Т. 7. № 7 (69). С. 31–36.

9. Соболев И. В. Ионообменные процессы очистки воды // Здоровьесберегающие технологии, качество и безопасность пищевой продукции: сборник статей по материалам Всероссийской конференции с международным участием. Краснодар, 2021. С. 93–96.

10. Кириленко В. А., Паршков Н. М., Боровская Л. В. Органические и неорганические иониты // Материалы международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». Т. VIII. М.: ООО «Евразийская научно-промышленная палата», 2021. С. 94–97.

11. Шубов Л. Я., Борисова О. Н., Доронкина И. Г. Технологии сточных вод (инженерная защита гидросферы) // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2010. № 6. 128 с.

12. Рыбарчук О. В., Дударев В. И., Драгунский А. В., Житов С. И. Изучение ионообменной емкости углеродных адсорбентов // Актуальные проблемы химии, биотехнологии и сферы услуг: III Всерос. науч.-практ. конф. с международным участием. Иркутск: ИД Иркутского национального исследовательского технического университета, 2019. С. 12–16.

13. Дударев, В. И., Филатова Е. Г. Углеродные адсорбенты на основе природных углей для извлечения металлов из растворов // Успехи в химии и химической технологии. 2021. Т. 35, № 13 (248). С. 28–30.

14. Кудратов А. М., Мирзатиллаев Г. А., Гулямова Г. М., Кудратов, А. М. Основные характеристики полученных углеродных сорбентов и сульфогля для очистки жидкостей // Инновационные подходы в решении современных проблем рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды: сборник докладов Междунар. науч.-техн. конф. Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч. II. С. 63–69.

15. Мирзатиллаев Г. А., Гулямова Г. М., Назаров К. К. Основные характеристики полученных углеродных сорбентов и сульфогеля для очистки жидкостей // Научный журнал. 2019. № 6 (40). С. 11–13.

16. Муминхужаев Ш. А., Данияров Г. Т., Салихова О. А., Кадиров Х. И. Получение модифицированного сульфокатионита из каменного угля // International Conference on Research in Humanities, Applied Sciences and Education, Hosted from Berlin, Germany. 2022. С. 124–128.

17. Вайсман Я. И., Глушанкова И. С., Ширинкина Е. С., Давлетова С. Ф. Способ переработки лигнинсодержащих отходов целлюлозно-бумажной промышленности с получением сорбентов для очистки сточных вод // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 93–99.

18. Дмитриева К. Г. Углеродный адсорбент для очистки воды из осадка сточных вод бумажной фабрики // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности: материалы IX Всерос. (с международным участием) науч.-техн. конф. молодых исследователей. Волгоград: ВолГТУ, 2022. С. 117–119.

19. Дмитриева К. Г. Определение оптимальных условий получения углеродного адсорбента для очистки воды термохимической деструкцией осадка сточных вод бумажной фабрики // Современные проблемы водоснабжения и водоотведения: сборник материалов межвузовской научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2022. С. 26–32.

20. Дмитриева К. Г. Исследование адсорбционной активности углеродного адсорбента для очистки воды, получаемого термохимической деструкцией осадка сточных вод бумажной фабрики // Вестник гражданских инженеров. 2022. №4 (93). С. 89–95.

References

1. Doronkina I. G. *Ionoobmennye tekhnologii ochistki stochnykh vod s ispol'zovaniem ionitov* [Ion-exchange technologies of wastewater treatment using ion exchangers]. *Trudy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Nauka, obrazovanie, proizvodstvo v reshenii ekologicheskikh problem (Ekologiya-2020)»* [Proceedings of the XVI International scientific and technical conference "Science, education, production in solving environmental problems (Ecology-2020)"]. Ufa, Ufimskiy gosudarstvenniy aviatsionniy tekhnicheskii universitet Publ., 2020, pp. 291–296.

2. Eremina A. O., Golovina V. V., Ugay M. Yu., Rudkovskiy A. V. *Uglerodnye adsorbenty iz otkhodov pererabotki drevesiny dlya ochistki stochnykh vod* [Carbon adsorbents from waste wood processing for wastewater treatment]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya – Advances of modern natural science*, 2005, no. 8, pp. 29–29. Available

at: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8998> (accessed: 26.12.2022).

3. Rokotyanskaya V. V., Rossinskaya M. V. *Analiz vliyaniya antropogennykh faktorov promyshlennogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu (na materialakh legkoy promyshlennosti)* [Analysis of the impact of anthropogenic factors of industrial production on the environment (on the materials of light industry)]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika – Bulletin of Adygeya State University. Series 5: Economics*, 2011, no. 2, pp. 253–260.

4. Tumin, A. N., Cheban V. G., Levchenko E. P. *Effektivniy sposob ochistki vody* [Effective way of water purification]. *Trudy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Donetsk, 22–25 maya 2018 goda «Innovatsionnye perspektivy Donbassa»* [Proceedings of the 4-th International scientific and practical conference, Donetsk, May 22–25, 2018 "Innovative prospects of Donbass"]. Donetsk, Donetskii natsional'niy tekhnicheskii universitet Publ., 2018, pp. 130–133.

5. Avanesyan N. M., Konovalova A. A., Maksimova S. A. *Sovremennye tekhnologii ochistki stochnykh vod promyshlennykh predpriyatiy* [Modern technologies of wastewater treatment of industrial enterprises]. *Trudy 53-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Vuzovskaya nauka v sovremennykh usloviyakh»* [Proceedings of the 53-rd scientific and technical conference "University science in modern conditions"]. In 3 pts., Ulyanovsk, Ulyanovskiy gosudarstvenniy tekhnicheskii universitet Publ., 2019, pp. 39–42.

6. Karakeyan V. I., Kol'tsov V. B. *Protsessy i apparaty zashchity okruzhayushchey sredy* [Processes and apparatuses of environmental protection]. Moscow, MIET Publ., 2007.

7. Sokolova T. Yu., Poddubniy D. A., Golchenko E. A. *Khimpodgotovka v kotel'noy pri pomoshchi Na-kationnykh fil'trov* [Chemical treatment in a boiler room by means of Na-cationic filters]. *Innovatsionniy potentsial razvitiya nauki v sovremennom mire: dostizheniya i innovatsii* [In: Innovative potential of science development in the modern world: achievements and innovations]. 2022, pp. 43–49.

8. Solov'ev D. O., Drabkina E. V. *Osnovnye sposoby ochistki i vodopodgotovki* [Main methods of treatment and water treatment]. *Chronos*, 2022, vol. 7, no. 7 (69), pp. 31–36.

9. Sobol' I. V. *Ionoobmennye protsessy ochistki vody* [Ion-exchange processes of water purification]. *Trudy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Zdorov'esberegayushchie tekhnologii, kachestvo i bezopasnost' pishchevoy produkttsii»* [Proceedings of the All-Russian conference with international participation "Health-saving technologies, quality and safety of food products"]. Krasnodar, 2021, pp. 93–96.

10. Kirilenko V. A., Parshkov N. M., Borovskaya I. V. *Organicheskie i neorganicheskie ionity* [Organic and inorganic ionic compounds]. *Trudy mezhdunarodnoy*

studentcheskoy nauchnoy konferentsii «Студенческий научный форум» [Proceedings of the International student scientific conference "Student scientific forum"]. Vol. VIII. Moscow, ООО «Евроазиатская научно-промышленная палата» Publ., 2021, pp. 94–97.

11. Shubov L. Ya., Borisova O. N., Doronkina I. G. *Tekhnologii stochnykh vod (inzhenernaya zashchita gidrosfery)* [Wastewater technologies (engineering protection of hydrosphere)]. *Nauchnye i tekhnicheskie aspekty okhrany okruzhayushchey sredy – Scientific and technical aspects of environmental protection*, 2010, no. 6, 128 p.

12. Rybarchuk O. V., Dudarev V. I., Dragunskiy A. V., Zhitov S. I. *Izuchenie ionoobmennoy emkosti uglerodnykh adsorbentov* [Study of ion-exchange capacity of carbon adsorbents]. *Trudy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Aktual'nye problemy khimii, biotekhnologii i sfery uslug»* [Proceedings of the III All-Russian scientific-practical conference with international participation "Actual problems of chemistry, biotechnology and service industries"]. Irkutsk, ID Irkutskogo natsional'nogo issledovatel'skogo tekhnicheskogo universiteta Publ., 2019, pp. 12–16.

13. Dudarev V. I., Filatova E. G. *Uglerodnye adsorbenty na osnove prirodnikh ugley dlya izvlecheniya metallov iz rastvorov* [Carbon adsorbents based on natural coals for the extraction of metals from solutions]. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii – Advances in chemistry and chemical technology*, 2021, vol. 35, no. 13 (248), pp. 28–30.

14. Kudratov A. M., Mirzatillaev G. A., Gulyamova G. M., Kudratov A. M. *Osnovnye kharakteristiki poluchennykh uglerodnykh sorbentov i sulfouglya dlya ochistki zhidkostey* [The main characteristics of obtained carbon sorbents and sulfonated coal for purification of liquids]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Innovatsionnye podkhody v reshenii sovremennykh problem ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnikh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy»* [Proceedings of the International scientific and technical conference "Innovative approaches in solving modern problems of rational use of natural resources and environmental protection"]. Belgorod, BGUTU Publ., 2019, Pt. II, pp. 63–69.

15. Mirzatillaev G. A., Gulyamova G. M., Nazarov K. K. *Osnovnye kharakteristiki poluchennykh uglerodnykh sorbentov i sulfouglya dlya ochistki zhidkostey* [The main characteristics of obtained carbon sorbents and sulfonated coal for liquid purification]. *Nauchnyi zhurnal – Scientific Journal*, 2019, no. 6 (40), pp. 11–13.

16. Muminkhuzhaev Sh. A., Daniyarov G. T., Salikhova O. A., Kadirov Kh. I. *Poluchenie modifitsirovannogo sulfokationita iz kamennogo uglya* [Preparation of modified sulfocationite from hard coal]. *Proceedings of the International conference on research in humanities, applied sciences and education*. Hosted from Berlin, Germany, 2022, pp. 124–128.

17. Vaysman Ya. I., Glushankova I. S., Shirinkina E. S., Davletova S. F. *Sposob pererabotki ligninsoderzhashchikh otkhodov tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti s polucheniem sorbentov dlya ochistki stochnykh vod* [Method of recycling lignin-containing wastes of pulp and paper industry with obtaining sorbents for wastewater treatment]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya – Theoretical and applied ecology*, 2018, no. 3, pp. 93–99.

18. Dmitrieva K. G. *Uglerodniy adsorbent dlya ochistki vody iz osadka stochnykh vod bumazhnoy fabрики* [Carbon adsorbent for water treatment from wastewater sludge of a paper mill]. *Trudy IX Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh issledovateley «Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZhKKh i tekhnosfernoy bezopasnosti»* [Proceedings of the IX All-Russian (with international participation) scientific and technical conference of young researchers "Actual problems of construction, housing and communal services and technosphere safety"]. Volgograd, VolGTU Publ., 2022, pp. 117–119.

19. Dmitrieva K. G. *Opreделение optimal'nykh usloviy polucheniya uglerodnogo adsorbenta dlya ochistki vody termokhimicheskoy destruktsey osadka stochnykh vod bumazhnoy fabрики* [Determination of optimal conditions for obtaining carbon adsorbent for water treatment by thermo-chemical destruction of wastewater sludge from a paper mill]. *Trudy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye problemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya»* [Proceedings of the interuniversity scientific and practical conference "Modern problems of water supply and wastewater disposal"]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2022, pp. 26–32.

20. Dmitrieva K. G. *Issledovanie adsorbtsionnoy aktivnosti uglerodnogo adsorbenta dlya ochistki vody, poluchaemogo termokhimicheskoy destruktsey osadka stochnykh vod bumazhnoy fabрики* [Investigation of the adsorption activity of carbon adsorbent for water purification obtained by thermo-chemical destruction of paper mill sewage sludge]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2022, no. 4 (93), pp. 89–95.