

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2024-2-5-10>

УДК 628.3.477.8

АДСОРБЦИОННАЯ ОЧИСТКА ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ПОЛЛЮТАНТОВ КАРБОНАТНЫМ ШЛАМОМ

Н. Е. Айкенова^{1*}, С. Азат², У. К. Сарсембин², Ш. А. Карасаева¹

¹ Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан

² Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

*E-mail для контактов: nuriya.rk@gmail.com

При использовании воды для технических нужд промышленных предприятий, ее требуется очищать до нормативных норм предельно-допустимых концентраций, что является энерго- и ресурсозатратным. Для эффективной очистки промышленных сточных вод от различных поллютантов все больше используются отходы различных производств, которые показывают высокую степень очистки сточных вод и являются недорогостоящими.

В статье в качестве адсорбента используется карбонатный шлам – многотоннажный отход цехов химической водоподготовки теплоэлектростанций. В данной работе представлены результаты исследования сорбционного материала – гранулированного модифицированного карбонатного шлама (ГрМКШ). Представлены данные по эффективности применения сорбционного материала ГрМКШ для очистки сточных вод от фенолов: получена выходная кривая адсорбции в динамических условиях, рассчитана эффективность очистки сточных вод от фенолов, которая составляет 99,2%. Представлены результаты биотестирования водной вытяжки насыщенного фенолами ГрМКШ на рыбах вида *Poesilia reticulata* Pet. и ракообразных *Daphnia magna* Str. Показано, что очищенная вода не оказывает острого токсического воздействия на тест-объекты.

Ключевые слова: промышленные сточные воды, биотестирование, адсорбция, фенолы, карбонатный шлам, очистка сточных вод.

1. ВВЕДЕНИЕ

Основными причинами антропогенного воздействия на окружающую среду являются растущее население мира, интенсивное земледелие и быстрая индустриализация. Это приводит к загрязнению водных объектов промышленными сточными водами. Для решения данной проблемы необходимо использовать на предприятиях современные технологии очистки сточных вод [1–6].

Концентрация химических загрязнителей в воде, таких как органические вещества, тяжелые металлы, микроорганизмы и т.д. являются основными факторами, определяющими качество воды [6–7]. Природные или синтетические химические вещества, микроорганизмы и т.д. оказывают неблагоприятное и опасное воздействие на здоровье человека и окружающую среду.

Нефтяные и нефтехимические промышленные объекты являются крупными потребителями природной воды. Промышленная деятельность предприятий при недостаточной доочистке сточных вод до требуемых значений ПДК приводит к антропогенному воздействию на окружающую природную среду. В связи с этим в природных водах промышленных регионов наблюдается высокая концентрация поллютантов, которая превышает предельно-допустимые концентрации (ПДК) сбросов в водные объекты рыбохозяйственного, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [6–8].

Существующие технологии очистки сточных вод (СВ) включают в себя широкие категории традиционных процессов, таких как разбавление, сорбция,

фотолиз, выпаривание и биodeградация. В последние несколько десятилетий традиционным процессам очистки сточных вод уделяется больше внимания [2]. Однако, эти процессы являются энергоемкими и очень дорогостоящими с точки зрения ресурсов, эксплуатации и обслуживания. В настоящее время все большее внимание уделяется высокоэффективным методам очистки вод от поллютантов с использованием вторичных материалов. В связи с этим, все больше вызывают интерес у исследователей гибридные или смешанные системы очистки, эффективность которых была доказана [9–13]. В работе рассмотрена возможность адсорбционной очистки СВ от фенолов модифицированным карбонатным шламом, который является альтернативным материалом биоуглям и активированным углям в адсорбционных процессах [8–12, 14].

В промышленности широко используется метод адсорбционной очистки сточных вод от загрязнителей с применением сорбентов с различной модификацией. Применение отходов производства в качестве сорбционных материалов для очистки сточных вод от различных поллютантов является не только экономически рентабельным, но и решает вопросы утилизации многотоннажных отходов производственных секторов.

Возможность использования отходов производства может решить проблемы очистки сточных вод от фенолов до норм ПДК, и утилизации отходов энергетики – карбонатного шлама.

Целью работы является изучение эффективности карбонатного шлама (ГрМКШ) удалять фенол из сто-

чных вод с проведением оценки его экотоксичности на рыбах вида *Poecillia reticulata* Pet. и ракообразных *Daphnia*.

В производственных процессах наибольшую значимость имеют процессы очистки сточных вод в динамическом режиме.

В связи с этим в статье представлены результаты адсорбционной очистки сточных вод от фенолов карбонатным шламом в динамическом режиме с эффективностью 99,2%.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы

2.1.1 Адсорбент. В качестве адсорбента для очистки промышленных сточных вод использован гранулированный модифицированный карбонатный шлам (ГрМКШ) [14], который получен при термообработке 600 °С в течение 60 мин, с гранулами диаметром от 0,5 до 2,5 мм, при соотношении 1:2 со связующим жидким натриевым стеклом, пропитанный 5% водной эмульсией «Силор».

2.1.2 Фенол. Модельный фенольный раствор с концентрацией 100 мг/дм³ готовили методом растворения навески фенола (ЧДА по ТУ 6-09-40-3245-90) в дистиллированной воде, в одну стадию.

2.2 Тест-объекты

В качестве тест-объектов использовали рыб вида *Poecillia reticulata* Pet. и ракообразных вида *Daphnia magna* Str. Тест-объекты помещали в контрольный и опытный сосуд в количестве 10 шт., в опыте использовали тест-объекты в возрасте до 24 ч. Данные тест-объекты широко применяемы в международных стандартах по биотестированию [15]. Первые четыре суток после рождения тест-объекты наиболее чувствительны к загрязнениям, поэтому тестирование считается наиболее информативным.

2.3 Определение массовой концентрации фенолов в воде методом газожидкостной хроматографии

В основе метода [16] лежит использование нескольких стадий реакций для выделения фенолов с последующим определением концентрации.

Массовую концентрацию фенола вычисляют по следующей формуле:

$$X = \frac{S_x}{k}, \quad (1)$$

где X – массовая концентрация фенола, мкг/дм³; S_x – площадь пика на хроматограмме, мм² или ед. счета; k – коэффициент построенной градуировочной кривой.

2.4 Определение динамической адсорбционной емкости

Для определения динамической сорбционной емкости использовали модельный фенольный раствор. Динамическую сорбционную емкость ДСЕ (мг/г) рассчитывали по формуле:

$$DCE = \frac{V_p C}{m}, \quad (2)$$

где V_p – объем обесфеноленного растворителя, дм³; C – равновесная концентрация раствора, мг/дм³; m – масса сорбционного материала, г.

Диаметр колонки – 25 мм, высота слоя сорбционного материала – 20 мм, масса – 54,38 г, скорость фильтрования – 3,5 м/ч. Проскок фенолов в воде наблюдается при концентрации – 0,001 мг/дм³.

2.5 Методика определения токсичности водной вытяжки ГрМКШ

Важным показателем исследования эффективности сорбционного материала при очистке СВ от фенолов, является биотестирование по оценке острой токсичности водной вытяжки [16–19].

Биотестирование проводится в течение 96 ч., а острая летальная токсичность характеризуется гибелью дафний в количестве 50% от общего числа объектов и более.

Водную вытяжку и контрольные растворы наливали в стеклянные сосуды по 100 см³. Эксперименты проводились в трехкратной повторности.

В сосуд с исследуемым раствором тест-объекты помещали с помощью стеклянной палочки $d = 5$ –7 мм. В течение биотестирования тест-объектам ограничивали питание для исключения влияния на определение летальной токсичности посторонних факторов.

По истечению времени эксперимента визуальным методом определяли количество выживших тест-объектов. В случае свободного передвижения в воде и при передвижении со дна сосуда в воду тест-объекты считаются живыми, не позже чем после 15 с после встряхивания сосуда. Объекты, не соответствующие критериям живых тест-объектов, считают подвергнутыми острой летальной токсичности, то есть погибшими.

Расчет среднего арифметического значения производился по формуле:

$$X_{k(on)} = \frac{\sum_i^I X_{k(on)i}}{I}, \quad (3)$$

где $X_{k(on)}$ – i -ое измерение количества живых дафний в контроле (опыте); i – номер измерения; I – число параллельных измерений, равно 3.

Наличие острой летальной токсичности проб водной вытяжки оценивается процентным соотношением выживших тест-объектов в опыте. Значение выше 50% выживших тест-объектов дафний характеризует отсутствие проявления острой летальной токсичности.

Метод биотестирования на острую летальную токсичность культуры гуппи вида *Poecillia reticulata* Pet. оценивается разностью выживших рыб гуппи в водной вытяжке (опыт) и в чистой воде (контроль).

Острая летальная токсичность характеризуется гибелью 50% и более гуппи в водной вытяжке по отношению к контролю.

Для опыта использовали водную вытяжку сорбционного материала, для контроля – дехлорированную питьевую воду. Все пробы помещали в сосуды по 5 дм³.

Контроль числа не подверженных летальной токсичности объектов проводился ежедневно, погибших рыб удаляли из сосуда. Оценка не подающих признаков жизни рыб осуществлялась при прикосновении стеклянной палочкой для фиксации отсутствия движения.

Количество живых гуппи в контроле и опыте рассчитывают средним арифметическим вычислением по формуле, аналогичной 3.

Количество не подверженных токсическому воздействию рыб в процентном соотношении рассчитывают по формуле:

$$A = \frac{x_k - x_{оп}}{x} \cdot 100. \quad (4)$$

Наличие острой летальной токсичности проб водной вытяжки оценивается величиной, которая характеризует процентное соотношение выживших тест-объектов в опыте.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Определены технологические характеристики полученных гранул материала ГрМКШ (таблица 1).

Таблица 1. Технологические характеристики ГрМКШ

№	Характеристика	Значение
1.	Размер частиц, мм	0,5–2,5
2.	Насыпная плотность, ρ_n , кг/м ³	670
3.	Влажность, %	2,5
4.	Удельная поверхность, м ² /г	64,9
5.	Суммарный объем пор, см ³ /г	0,84
6.	Водопоглощение, %	1,2
7.	Зольность, %	81

Результаты оценки эффективности применения адсорбционного материала ГрМКШ по отношению к фенолу в динамическом режиме представлены на рисунке.

Динамическая сорбционная емкость материала показывает, что в результате очистки СВ концентрация фенолов снижается с 5 мг/дм³ до 0,001 смг/дм³.

Таблица 2. Результаты определения острой летальной токсичности водной вытяжки ГрМКШ для рыб вида *Poecilia reticulata* Pet.

Время от начала опыта, ч.	Количество выживших рыб, шт.													
	культивационная вода				кратность разбавления 1:1				выжившие рыбы, %	неразбавленная				выжившие рыбы, %
	повторность			Х*	повторность			Х*		повторность			Х*	
	1	2	3		1	2	3			1	2	3		
96	10	10	10	10	10	10	10	10	100	10	10	10	10	100

*Х – среднее арифметическое значение.

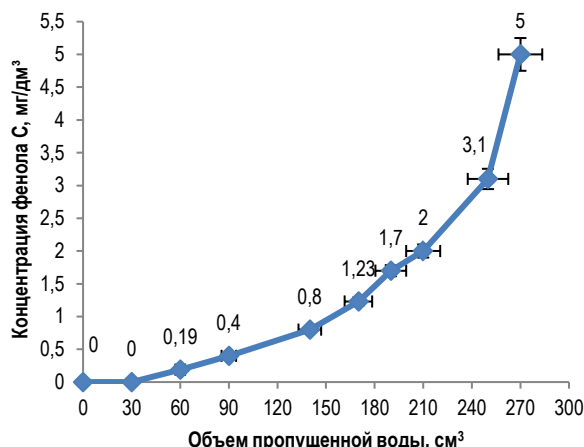


Рисунок. Выходная кривая адсорбции фенола ГрМКШ в динамических условиях

При сравнении адсорбционных свойств ГрМКШ с аналогичными адсорбционными материалами, следует отметить, что результаты сравнительных исследований эффективности работы динамическом режиме показали, что комплексная загрузка ГрМКШ имела аналогичные показатели по сорбции фенолов, нефтепродуктов и поверхностно-активных веществ. Сорбция фенолов протекала примерно с одинаковой скоростью на всех испытанных видах материалов [21–22].

Биотестирование токсичности водной вытяжки гранулированного сорбционного материала

Результаты проведения исследований на токсичность водной вытяжки на гидробиотах *Poecilia reticulata* Pet. и *Daphnia magna* Str. приведены в таблицах 2, 3.

Согласно данным таблицы 2, можно отметить, что процент выживших *Poecilia reticulata* Pet. составляет 100%, и показывает, что водная вытяжка ГрМКШ после очистки от фенолов не оказывает острого токсического воздействия.

Токсичность водной вытяжки ГрМКШ по отношению к *Daphnia magna* Str. показана в таблице 3.

При биотестировании по определению острой летальной токсичности водной вытяжки ГрМКШ с ракообразными вида *Poecilia reticulata* Pet. выявлена гибель 27% ракообразных в течение 48 ч. тестирования.

Таблица 3. Результаты определения острой летальной токсичности водной вытяжки ГрМКШ для ракообразных вида *Daphnia magna* Str.

Опыт	Не подвергшиеся токсическому воздействию, шт.			Х*	Подвергшиеся токсическому воздействию, %
	1	2	3		
Культивируемая вода	10	9	10	9,7	–
Водная вытяжка ГрМКШ	6	8	5	6,33	36,7
1:1	9	6	5	6,66	33,4
1:3	6	8	8	7,33	26,7
1:7	7	8	6	7	30
1:15	7	10	10	9	10

*Х – среднее арифметическое значение.

4. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе определены основные технологические характеристики адсорбента, которые показывают возможность его использования для очистки сточных вод от фенольных соединений.

При определении технологических характеристик материала показано, что материал имеет высокое значение удельной поверхности – материал является пористым, и может адсорбировать молекулы загрязняющих веществ. Водопоглощение оценивается в 1,2% и показывает, что адсорбент является гидрофобным, почти не поглощает воду. Насыпная плотность ~670 кг/м³, поэтому можно сделать вывод о том, что адсорбент подходит к применению очистки сточных вод от органических загрязнителей.

Динамическая сорбционная емкость материала показывает, что в результате очистки СВ концентрация фенолов снижается от 5 мг/дм³ до 0,001 смг/дм³, с эффективностью 99,2%.

При биотестировании ракообразных вида *Poecilia reticulata* Pet. острого токсического воздействия сорбционного материала ГрМКШ не наблюдается, процент погибших ракообразных при токсическом воздействии водной вытяжки ГрМКШ ниже 50%.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены технологические характеристики высокоэффективного адсорбента для очистки промышленных сточных вод от фенолов. Выявлено, что степень очистки сточных вод от фенолов ГрМКШ 99,2%.

При биотестировании для определения острой летальной токсичности для рыб вида *Poecilia reticulata* Pet. и ракообразных *Daphnia magna* Str. выявлено, что водная вытяжка сорбционного материала ГрМКШ не оказывает острого токсического воздействия.

Предлагается комплексное ресурсосберегающее решение проблемы производственно-промышленного и топливно-энергетического комплексов: очистка сточных вод промышленных предприятий и утилизация отходов энергетики – карбонатного шлама.

К перспективам дальнейшей разработки можно отнести исследование возможности безотходной тех-

нологии утилизации замкнутого цикла отработанного гидрофобного сорбционного материала на основе карбонатного шлама после очистки сточных вод от фенолов, применение гидрофобных материалов для очистки сточных вод от различных органических поллютантов в широком спектре предприятий химической и нефтехимической отраслей промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Singh A., Pal D.B., Mohammad A., Alhazmi A., Haque S., Yoon T., Srivastava N., Gupta V.K. Biological remediation technologies for dyes and heavy metals in wastewater treatment: New insight // *Bioresour Technol.* – 2022. – Vol. 343. – Art. 126154.
2. Ahmed S.F. [et al.] Recent developments in physical, biological, chemical, and hybrid treatment techniques for removing emerging contaminants from wastewater // *Journal of Hazardous Materials.* – 2021. – Vol. 416. – Art. 125912/
3. Goncharuk V. V., Kovalenko V. F. Characteristics of Sea Water Self-Purification Processes in the Black Sea Based on the Results of Biotesting // *Journal of Water Chemistry and Technology.* – 2019. – Vol. 41. – P. 391–395.
4. Diehl K., Hagendorf U., Hahn J. Biotests for assessing the purifying performance of landfill seepage water treatment processes; Biotests zur Beurteilung der Reinigungsleistung von Deponiesickerwasserbehandlungsverfahren // *Entsorgungspraxis.* – 1995. – Vol. 13.
5. Qiu S. et al. Methods for Contaminated Water Biotesting // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution.* – 2022. – Vol. 19. – No. 3. – P. 31–36.
6. Balakina M. M. et al. Capabilities of Ultra-and Nanofiltration in the Purification of Dnieper Water from Natural Organic Compounds // *Journal of Water Chemistry and Technology.* – 2021. – Vol. 43. – P. 342–347.
7. Bukatenko N., Zinchenko M. Environmental Safety of Waste Detergent Solutions // *Materials Science Forum.* – Trans Tech Publications Ltd., 2020. – Vol. 1006. – P. 202–207.
8. Qiu S. et al. Microbiology of Contaminated Water // *Asian Journal of Water, Environment and Pollution.* – 2022. – Vol. 19. – No. 4. – P. 55–61.
9. Removal of Bisphenol A (BPA) in a nitrifying system with immobilized biomass / M. Zielińska [et al.] // *Bioresour Technol.* – 2014. – No. 171. – P. 305–317.
10. Gryta M., Karakulski K., Morawski A.W. Purification of oily wastewater by hybrid UF/MD // *Water Research.* – 2001. – Vol. 35. – Iss.15. – P. 3665–3669.
11. Yongjuan Xie, Li Zeng, Ping Wang, Xudong Wu, Tianjiao Feng. Water cost for water purification: Renewability assessment of a typical wastewater treatment plant in China // *Journal of Cleaner Production.* – 2022.–Vol. 349. – Art. 131474.
12. Rayna Bryaskova, Nelly Georgieva, Daniela Pencheva, Zlatina Todorova, Nevena Lazarova, Todor Kantardjiev Synthesis and characterization of hybrid materials with embedded silver nanoparticles and their application as antimicrobial matrices for waste water purification // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* – 2014. – Vol. 444. – P. 114–119.
13. Ling Shao, G.Q. Chen // *Water Footprint Assessment for Wastewater Treatment: Method, Indicator, and*

- Application. Environ. Sci. Technol. – 2013. – Vol. 47. – Iss. 14. – P. 7787–7794.
14. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A., Minneyarova A.R. Research on the Mechanism and Kinetics of Oil-Product Adsorption from Industrial Wastewater by a Modified Hydrophobic Carbonate Sludge // Chemical and Petroleum Engineering. – 2018. – Vol. 53. Iss. 11–12. P. 806–813.
15. Гусейнова С.А. Применение метода биотестирования для оценки качества вод Центрально-Каспийского участка // Юг России: экология, развитие. – 2009. – № 4. – С. 43–47.
16. ПНД Ф 14.1:2:4.177-02 Методика измерений массовой концентрации фенола в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газожидкостной хроматографии. – Москва: ФБУ «ФЦАО», 2011. – 20 с.
17. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов: утв. Первый заместитель Министра природных ресурсов РФ Н.Н. Михеев 27.04. 2001 г. – М.:РЭФИА, НИА-Природа, 2001. – 102 с.
18. Об утверждении методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения: Приказ Росрыболовства от 04.08.2009 № 695 // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – 2009. – 43, (26 окт.). № 695.
19. МР № ЦОС ПВ Р 005-95 Методические рекомендации по применению методов биотестирования для оценки качества воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения. – Москва: Госстандарт, 1995. – 24 с.
20. Олькова, А.С. Условия культивирования и многообразие тест-функций *Daphnia magna* Straus при биотестировании / А.С. Олькова // Вода и экология. – 2017. – № 1. – С. 63–82.
21. Ряховский М.С. Динамика сорбции нефтепродуктов и фенолов из водных растворов на комплексной загрузке из активированных углей // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–3.
22. Белова Т.П., Ратчина Т.И. Динамика сорбции меди, никеля и кобальта катионитом ку-2-8 в водородной форме // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 3. – С. 92–96.
23. von Deponiesickerwasserbehandlungsverfahren // Entsorgungspraxis. – 1995. – Vol. 13.
5. Qiu S. et al. Methods for Contaminated Water Biotesting // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. – 2022. – Vol. 19. – No. 3. – P. 31–36.
6. Balakina M. M. et al. Capabilities of Ultra-and Nanofiltration in the Purification of Dnieper Water from Natural Organic Compounds // Journal of Water Chemistry and Technology. – 2021. – Vol. 43. – P. 342–347.
7. Bukatenko N., Zinchenko M. Environmental Safety of Waste Detergent Solutions // Materials Science Forum. – Trans Tech Publications Ltd., 2020. – Vol. 1006. – P. 202–207.
8. Qiu S. et al. Microbiology of Contaminated Water // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. – 2022. – Vol. 19. – No. 4. – P. 55–61.
9. Removal of Bisphenol A (BPA) in a nitrifying system with immobilized biomass / M. Zielińska [et al.] // Bioresour Technol. – 2014. – No. 171. – P. 305–317.
10. Gryta M, Karakulski K, Morawski A.W. Purification of oily wastewater by hybrid UF/MD // Water Research. – 2001. – Vol. 35. – Iss.15. – P. 3665–3669.
11. Yongjuan Xie, Li Zeng, Ping Wang, Xudong Wu, Tianjiao Feng. Water cost for water purification: Renewability assessment of a typical wastewater treatment plant in China // Journal of Cleaner Production. – 2022. – Vol. 349. – Art. 131474.
12. Rayna Bryaskova, Nelly Georgieva, Daniela Pencheva, Zlatina Todorova, Nevena Lazarova, Todor Kantardjiev // Synthesis and characterization of hybrid materials with embedded silver nanoparticles and their application as antimicrobial matrices for waste water purification. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2014. – Vol. 444. – P. 114–119.
13. Ling Shao, G.Q. Chen // Water Footprint Assessment for Wastewater Treatment: Method, Indicator, and Application. Environ. Sci. Technol. – 2013. – Vol. 47. – Iss. 14. – P. 7787–7794.
14. Nikolaeva L.A., Golubchikov M.A., Minneyarova A.R. Research on the Mechanism and Kinetics of Oil-Product Adsorption from Industrial Wastewater by a Modified Hydrophobic Carbonate Sludge // Chemical and Petroleum Engineering. – 2018. – Vol. 53. Iss. 11–12. P. 806–813.
15. Guseynova S.A. Primenenie metoda biotestirovaniya dlya otsenki kachestva vod Tsentral'no-Kaspiyskogo uchastka // Yug Rossii: ekologiya, razvitie. – 2009. – No. 4. – P. 43–47.
16. ПНД Ф 14.1:2:4.177-02 Методика измерений массовой концентрации фенола в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газожидкостной хроматографии. – Москва: ФБУ «ФЦАО», 2011. – 20 п.
17. Рукководство по opedeleniyu metodom biotestirovaniya toksichnosti vod, donnykh otlozheniy, zagryaznyayushchikh veshchestv i burovykh rastvorov: utv. Pervyy zamestitel' Ministra prirodnnykh resursov RF N.N. Mikheev 27.04. 2001 g. – Moscow: REFIA, NIA- Priroda, 2001. – 102 p.
18. Ob utverzhdenii metodicheskikh ukazaniy po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya: Prikaz Rosrybolovstva ot 04.08.2009 No. 695 //

REFERENCES

- Byulleten' normativnykh aktov federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti. – 2009. – 43, (26 okt.). No. 695.
19. MR No. TsOS PV R 005-95 Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu metodov biotestirovaniya dlya otsenki kachestva vody v sistemakh khozyaystvenno-pit'evogo vodosnabzheniya. – Moscow: Gosstandart, 1995. – 24 p.
 20. Ol'kova, A.S. Usloviya kul'tivirovaniya i mnogoobrazie test-funktsiy *Daphnia magna* Straus pri biotestirovanii / A.S. Ol'kova // Voda i ekologiya. – 2017. – No. 1. – P. 63–82.
 21. Ryakhovskiy M.S. Dinamika sorbtzii nefteproduktov i fenolov iz vodnykh rastvorov na kompleksnoy zagruzke iz aktivirovannykh ugley // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. – 2015. – No. 2–3.
 22. Belova T.P., Ratchina T.I. Dinamika sorbtzii medi, nikelya i kobal'ta kationitom ku-2-8 v vodorodnoy forme // Uspekhi sovremennoego estestvoznaniya. – 2022. – No. 3. – P. 92–96.

АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ПОЛЛЮТАНТТАРДАН КАРБОНАТТЫ ШЛАММЕН АДСОРБЦИЯЛЫҚ ТАЗАРТУ

Н. Е. Айкенова^{1*}, С. Азат², У. Қ. Сарсембин², Ш. А. Карасаева¹

¹ *Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан*

² *Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан*

*Байланыс үшін E-mail: nuriya.rk@gmail.com

Өнеркәсіптік кәсіпорындардың техникалық қажеттіліктері үшін суды пайдалану кезінде оны энергия және ресурстарды көп қажет ететін шекті рұқсат етілген концентрациялардың нормативтік нормаларына дейін тазарту қажет. Өнеркәсіптік ағынды суларды әртүрлі ластаушы заттардан тиімді тазарту үшін ағынды суларды тазартудың жоғары дәрежесін көрсететін және қымбат емес әртүрлі өнеркәсіптердің қалдықтары жиі қолданылады.

Мақалада карбонатты шламды адсорбент ретінде пайдаланылады – жылу электр станцияларының химиялық су тазарту цехтарының ірі тоннажды қалдықтары. Бұл жұмыс сорбциялық материалдың – түйіршікті модификацияланған карбонатты шламның (ГрМКШ) сипаттамаларын зерттеу нәтижелерін ұсынады. Ағынды суларды фенолдардан тазарту үшін ГрМКШ сорбциялық материалды қолданудың тиімділігі туралы деректер келтірілген: динамикалық жағдайларда шығыс адсорбция қисығы алынған, фенолдардан ағынды суларды тазарту тиімділігі есептелген, ол 99,2% құрайды. *Poesilia reticulata* Pet. түрінің балықтарына және шаян тәрізділер *Daphnia magna* Str. фенолға қаныққан ГрМКШ сулы сығындысының биотестісінің нәтижелері берілген. Тазартылған судың зерттелетін объектілерге өткір токсикалық әсер етпейтіні дәлелденді.

Түйін сөздер: өнеркәсіптік ағынды сулар, биотестілеу, адсорбция, фенолдар, карбонатты шлам, ағынды суларды тазарту.

ADSORPTION TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER FROM POLLUTANTS WITH CARBONATE SLUDGE

N. E. Aikenova^{1*}, S. Azat², U. K. Sarsembin², Sh. A. Shynar¹

¹ *Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan*

² *Satbayev University, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail for contacts: nuriya.rk@gmail.com

When using water for the technical needs of industrial enterprises, it needs to be purified to regulatory standards of maximum permissible concentrations, which is energy- and resource-intensive. To effectively purify industrial wastewater from various pollutants, waste from various industries is increasingly being used, which show a high degree of wastewater purification and are inexpensive.

In the article, carbonate sludge is used as an adsorbent - a large-tonnage waste from chemical water treatment shops of thermal power plants. This paper presents the results of a study of the characteristics of the sorption material – granular modified carbonate sludge (GrMKSh). Data on the effectiveness of using the sorption material GrMKSh for treating wastewater from phenols is presented: the output adsorption curve under dynamic conditions is obtained, the efficiency of wastewater treatment from phenols is calculated, which is 99.2%. The results of biotesting of an aqueous extract of GrMKSh saturated with phenols on fish of the species *Poesilia reticulata* Pet. and crustacean *Daphnia magna* Str. It has been shown that purified water does not have an acute toxic effect on test objects.

Keywords: industrial wastewater, biotesting, adsorption, phenols, carbonate sludge, wastewater treatment.