

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2023, Том 10, № 2 / 2023, Vol. 10, Iss. 2 <https://resources.today/issue-2-2023.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/11NZOR223.pdf>

DOI: 10.15862/11NZOR223 (<https://doi.org/10.15862/11NZOR223>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Горелкина, А. К. Извлечение органических загрязнителей из сточных вод для повышения санитарной надежности водных объектов / А. К. Горелкина, О. В. Беляева, Н. С. Голубева, Н. В. Гора, И. В. Тимошук // Отходы и ресурсы. — 2023. — Т. 10. — № 2. — URL: <https://resources.today/PDF/11NZOR223.pdf> DOI: 10.15862/11NZOR223

For citation:

Gorelkina A.K., Belyaeva O.V., Golubeva N.S., Gora N.V., Timoshchuk I.V. Extraction of organic pollutants from wastewater to improve the sanitary reliability of water bodies. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023; 10(2): 11NZOR223. Available at: <https://resources.today/PDF/11NZOR223.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: 10.15862/11NZOR223

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. № 1144-р (мероприятие 13 «Инновационная технология очистки сточных вод на предприятиях по добыче угля открытым способом»), № соглашения 075-15-2022-1201 от 30.09.2022 г., при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Горелкина Алена Константиновна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Профессор

Доктор технических наук

E-mail: alengora@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=564160

Беляева Оксана Владимировна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Доцент

Кандидат химических наук

E-mail: beljaeva1@yandex.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=615226

Голубева Надежда Сергеевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: golnadya@yandex.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=542847

Гора Наталья Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: goranataliya@yandex.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=744545

Тимошук Ирина Вадимовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Профессор

Доктор технических наук, Доцент

E-mail: irina_190978@mail.ru

РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=564161

Извлечение органических загрязнителей из сточных вод для повышения санитарной надежности водных объектов

Аннотация. Целью данного исследования была оценка принципиальной возможности увеличения адсорбции гидроксибензола углеродным сорбентом Пуrolат-стандарт комбинацией реактивного и термического окислительного модифицирования. Контроль концентрации гидроксибензола из раствора определяли методом спектрофотометрии. Рассмотрели возможность повышения адсорбционной емкости посредством комбинированного окислительного модифицирования (реагентное окисление с последующей термической обработкой) углеродного материала. Характеристики процесса извлечения установили на основе моделей Ленгмюра и Дубинина — Радушкевича. Анализ пористой структуры и функциональных групп поверхности антрацита и его модифицированных образцов показал изменения по вышеупомянутым параметрам. Обработка данных эксперимента в координатах уравнений Ленгмюра и Дубинина — Радушкевича показала удовлетворительную корреляцию, что позволяет рассчитать величины: энергию Гиббса, предельная адсорбционная емкость монослоя, константа адсорбционного равновесия, предельный объем адсорбционного пространства. Полученные значения позволяют установить механизм адсорбции, как на исходном сырье, так и на обработанных образцах. Установлено, что окисление 2 % аммонийной солью пероксодисерной кислоты с последующим прогревом при 200°C снизило адсорбцию фенола. Обработка адсорбента 5 % аммонийной солью пероксодисерной кислоты с прогревом при 250°C незначительно увеличила адсорбцию фенола. Применение изученных окислителей для повышения адсорбционной ёмкости антрацита не дало ожидаемого результата по отношению к гидроксибензолу. В качестве перспективного направления в отношении органических загрязнителей может быть рекомендована сорбция на макропористых углеродных материалах с предварительным модифицированием. Исследование адсорбции гидроксибензола на антраците марки Пуrolат-стандарт осуществлялась в статических условиях. Авторами доказано, что снижение санитарной надежности водоемов возможно по средствам уменьшение уровня контаминации сточных вод. Механизм адсорбции гидроксибензола на сорбентах, модифицированных комбинированным способом при разных режимах изучен впервые, что является научной новизной исследования.

Ключевые слова: сорбенты; антрацит; модифицирование; адсорбция гидроксибензол; изотермы адсорбции; параметры адсорбции; адсорбционная емкость

Введение

Снижение санитарной надежности водных поверхностных источников в настоящее время в ресурсориентированных регионах, в т. ч. в Кузбассе (Кемеровская область, Россия), обусловлено сложными гидрологическими, гидрогеологическими и климато-географическими условиями, природными условиями формирования качества вод, выраженностью антропогенного загрязнения водоемов, низкой степенью реализации природоохранных мероприятий и неэффективностью применяемых методов очистки сточных вод, недостаточной эффективностью водоподготовки.

Загрязнения поверхностных водоемов фенольными соединениями является не только проблемой Кемеровской области, но и других промышленных регионов с развитой угледобывающей, углеперерабатывающей и металлургической промышленности страны и мира. На территории Кузбасса повышенное содержание гидроксibenзола наблюдается в верхнем и среднем течении реки Томь и ее притоках. Концентрация гидроксibenзола превышает предельно допустимое значение в среднем в 2–3 раза, в отдельных случаях наблюдается превышение в 7–33 раза.¹

Кемеровский государственный университет (Кемерово, Россия) совместно с партнерами осуществляет работы над проектом «Инновационная технология очистки карьерных и поверхностных сточных вод для предприятий по добыче угля открытым способом».

По результатам реализации проекта будут разработаны технологические решения по очистке сточных вод угледобывающих предприятий с учётом объемов образующихся карьерных и поверхностных сточных вод, а также существующих нормативных требований, предъявляемых к качеству сточных вод, сбрасываемых в водоёмы.

Гидроксibenзол (фенол) — высокотоксичное соединение, воздействующее на многие органы и угрожающее здоровью человека [1–3]. Кроме того, в процессе водоподготовки при обработке соединениями хлора гидроксibenзол способен трансформироваться в еще более опасные хлорпроизводные. Следовательно, предотвращение загрязнения водоемов фенолом при поступлении со сточными водами и удаление его из питьевой воды становится актуальной проблемой.

Среди многочисленных технологий, используемых для удаления гидроксibenзола, одним из эффективных способов является адсорбционное извлечение. Углеродные адсорбенты являются наиболее востребованными для этих целей из-за их превосходных адсорбционных способностей по отношению к органическим загрязнителям. Исследование процесса адсорбции фенола на промышленных углеродных сорбентах детально описано в работах Когановского А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. [4], Парфита Г. [5]. Отмечена высокая адсорбционная способность следующих марок: СКД-515, АГ-3, АГ-ОВ-1, КАУ и др. Использование этих сорбентов, полученных по традиционной двустадийной технологии карбонизации/активации, ограничивается их высокой стоимостью.

В промышленных масштабах наиболее перспективным и целесообразным является использование фильтрующих материалов из доступного сырья с низкой стоимостью, за счет изменения технологии их производства. Адсорбционная способность и механизм процесса извлечения органических загрязнителей на новых сорбентах не изучен. Рекомендуемым сорбентом к использованию производителями в качестве замены песчаным фильтрам при водоподготовке является активный антрацит Пуролат-стандарт. В сравнении с промышленными марками сорбентов Пуролат-стандарт имеет низкую степень извлечения, но более выгодные экономические характеристики. Специфика структуры углеродного сорбента Пуролат-стандарта заключается в преобладании макропор, что позволяет эффективно извлекать аквоконгломераты из системы контаминант — вода.

Проведенные ранее нами исследования [6] показали нецелесообразность использования данного антрацита при адсорбции гидроксibenзола из водных растворов, это можно объяснить незначительным количеством микропор. Увеличить емкость адсорбента можно окислительным модифицированием, которое позволит сформировать более развитую систему микропор. В качестве модификаторов — окислителей в практике применяют как жидкие окислители

¹ Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области — Кузбасса в 2021 году» // Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. — 2022. — URL: http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad_2021.pdf.

(концентрированная HNO_3 , H_2O_2 , KMnO_4 и др.), так и газы (O_3 , кислород воздуха при высокой температуре), причем лучшими окислителями считаются те, которые могут быть легко удалены с углеродной поверхности, или не загрязняют ее продуктами своего восстановления [6; 7].

В работах авторов [8; 9] приведены способы окислительным модифицированием, которые позволяют сформировать более развитую систему микропор. Влияние окисления углеродного материала на адсорбцию гидроксибензола неоднозначно. Так, некоторые исследователи отмечают ухудшение извлечения гидроксибензола окисленными активными углями [10–12]. Наши предыдущие исследования показали, что термическое окисление незначительно повышает адсорбционную емкость гранулированных активных углей по отношению к гидроксибензолу, тогда как емкость полукокса возрастает в два раза [6; 7]. Также успешным оказалось модифицирование полукокса пероксидом водорода.

Материалы и методы

Целью данного исследования была оценка возможности прироста адсорбции гидроксибензола углеродным сорбентом Пуrolат-стандарт комбинацией реактивного и термического окислительного модифицирования деконтаминации гидроксибензола из сточных вод для повышения санитарной надежности водотоков Кузбасса.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- модифицировать Пуrolат-стандарт комбинацией реактивной и термической окислительной обработкой;
- экспериментально исследовать процесс адсорбции гидроксибензола из водных растворов в статических условиях на исходном сорбенте марки Пуrolат-стандарт и его модифицированных образцах;
- установить механизм адсорбции по основным параметрам моделей Ленгмюра и Дубинина — Радушкевича.

Объектом исследования выбран активный антрацит Пуrolат-стандарт производства ООО АНТР-АКТИВ г. Шахты, Россия. Образец сорбента отмывался от пылевых фракций и высушивался до воздушно-сухого состояния. Для модифицирования сорбент выдерживался в течение 24 ч в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, затем отделялся от жидкой фракции фильтрованием до сыпучего состояния. Часть полученного таким образом сорбента сразу подвергалась прогреву, вторая часть высушивалась до воздушно-сухого состояния и только после этого прогревалась. Обозначения полученных образцов и условия модифицирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Обозначения и условия модифицирования образцов углеродных адсорбентов

Образец	Концентрация $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, %	Состояние адсорбента	Температура прогрева, °C	Время прогрева, ч
P	-	воздушно-сухой	-	-
P2P200d	2	воздушно-сухой	200	2
P2P200w	2	влажный сыпучий	200	2
P5P250d	5	воздушно-сухой	250	2
P5P250w	5	влажный сыпучий	250	2

Составлено авторами

Технические и физико-химические параметры исходного сорбента и модифицированных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры углеродных сорбентов

Параметры		Образец		
		P	P5P250w	P5P250d
Плотность насыпная, г/см ³		0,866	0,872	0,879
Влага, %		2,20	2,05	2,01
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г		0,173	0,081	0,101
Обменная емкость, ммоль/г	ОН ⁻	-	0,0079	0,0080
	H ⁺	0,154	0,069	0,058

Составлено авторами

Адсорбция гидроксибензола из водных растворов изучалась при комнатной температуре (23 ± 2°C). Навеску адсорбента массой 1,0000 ± 0,0001 г помещали в стеклянную колбу объемом 250 мл. Затем дозатором приливали 100,0 мл раствора гидроксибензола с концентрацией от 0,05 ммоль/л до 10,00 ммоль/л.

Колбы герметично закрывались и выдерживались при постоянной температуре (23 ± 2°C) и непрерывном перемешивании в течение 24 ч. Затем растворы центрифугировались. Определение остаточной концентрации гидроксибензола проводилось спектрофотометрическим методом при длине волны 490 нм спектрофотометре UV-2700 (Шимадзу, Япония) при использовании реакции образования окрашенного соединения гидроксибензола с 4-аминоантипирином.

Результаты

На рисунке 1 представлены экспериментальные результаты извлечения гидроксибензола из водных растворов антрацитом марки Пуrolат-стандарт и его модифицированными образцами.

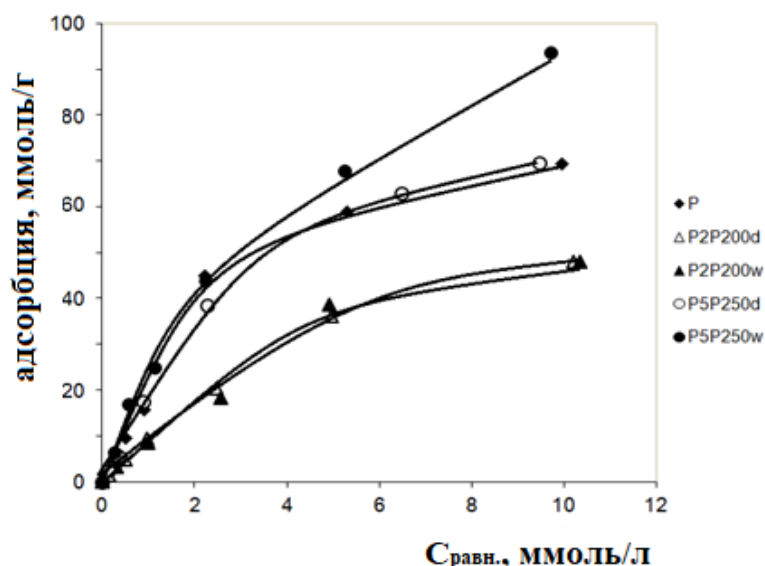


Рисунок 1. Изотермы адсорбции фенола углеродными адсорбентами (составлено авторами)

Основные параметры адсорбции оценивались с использованием уравнений Ленгмюра и Дубинина Радужкевича (рис. 2).

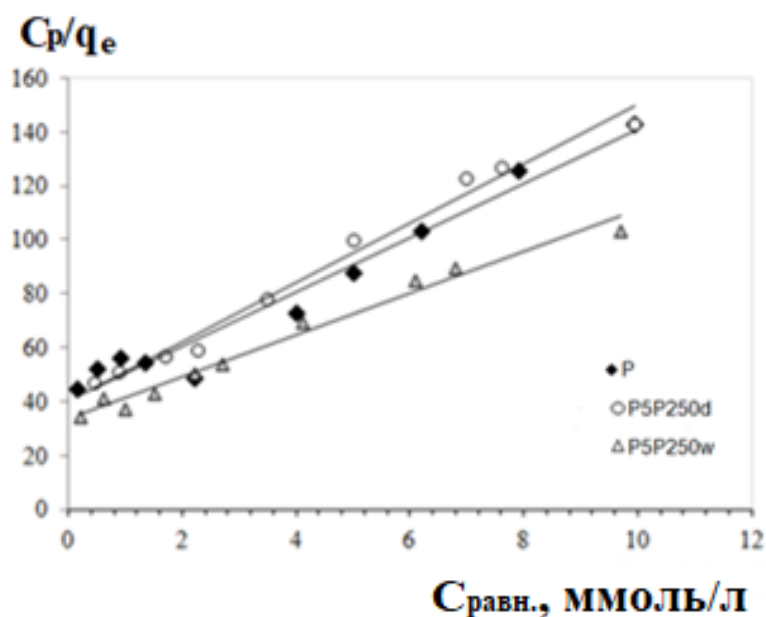


Рисунок 2. Адсорбционные изотермы адсорбции гидроксибензола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Ленгмюра (составлено авторами)

На рисунке 3 представим адсорбционные изотермы адсорбции гидроксибензола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Дубинина — Радужкевича.

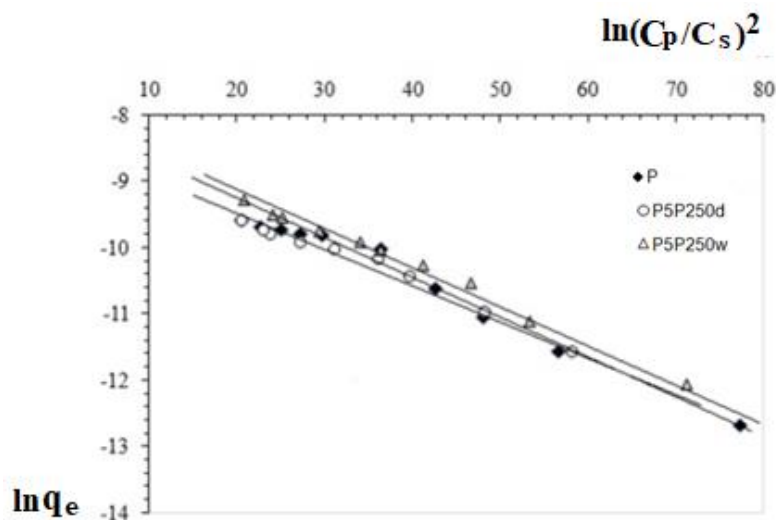


Рисунок 3. Адсорбционные изотермы адсорбции гидроксибензола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Дубинина — Радужкевича (составлено авторами)

Рассчитанные параметры адсорбции приведены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры адсорбции фенола углеродными адсорбентами

Образец	Уравнение Ленгмюра			Уравнение Дубинина-Радужкевича			
	q_{\max} , ммоль/г	$-\Delta G$, кДж/моль	R^2	q_0 , ммоль/г	$-Q$, кДж/моль	W_0 , см ³ /г	R^2
P	0,103	23,23	0,9557	0,272	13,28	0,024	0,9757
P2P200d	0,091	22,86	0,9742	0,186	12,93	0,016	0,9985
P2P200w	0,092	22,78	0,8960	0,177	12,81	0,016	0,9878
P5P250d	0,113	23,45	0,9466	0,285	13,50	0,025	0,9890
P5P250w	0,137	23,03	0,9833	0,305	13,08	0,027	0,9918

Составлено авторами

К основным адсорбционным параметрам, полученным по уравнениям Ленгмюра и Дубинина-Радушкевича, относятся:

q_e — величина адсорбции при равновесной концентрации C_p , (в моль/г);

q_{max} — величина предельной адсорбционной емкости монослоя, (в моль/г);

ΔG — энергия Гиббса адсорбции (кДж/моль);

q_0 — предельная адсорбционная емкость (в моль/г);

W_0 — предельный объем адсорбционного пространства (см³/г);

R^2 — коэффициент корреляции, которые позволяют установить механизм адсорбции гидроксибензола на антраците.

Изотермы адсорбции, представленные на рисунке 1 показывают, что адсорбция гидроксибензола на модифицированных образцах P2P200d и P2P200w значительно ниже, чем на исходном (обозначение P). Незначительное увеличение адсорбционной емкости наблюдается для образца P5P250w.

Согласно расчетам, представленным в таблице 3, уравнение Ленгмюра (величина R^2 колеблется от 0,8960 до 0,9833) хуже описывает адсорбционное поведение гидроксибензола, чем уравнение Дубинина-Радушкевича (R^2 равен 0,9757–0,9918).

Величина предельной адсорбционной емкости (q_0) образцов P2P200d и P2P200w уменьшается примерно на 50 % при практически не изменяющейся емкости монослоя (q_e) (расхождение величин в пределах погрешности эксперимента) (табл. 3). Увеличение концентрации персульфата аммония и температуры прогрева повысило на 12 % адсорбцию гидроксибензола только для образца, прогретого без предварительного высушивания (P5P250w). Возможно, присутствие воды при прогреве углубляет процесс окислительной деструкции углеродной поверхности.

Обсуждение

Полученные результаты подтверждают сложность механизма адсорбции гидроксибензола. Предполагается, что гидроксибензол на углеродной поверхности адсорбируется за счет дисперсионного и π - π электронно-акцепторного взаимодействий между ароматическими молекулами и поляризуемыми графеновыми слоями [13; 14].

Правильно спроектированные биологические фильтры или системы фильтрации способны значительно снизить концентрацию патогенных микроорганизмов в сточных водах. На удержание и удаление микробных клеток в биологических системах фильтрации сточных вод влияют несколько факторов. В обзоре Ван М., Чжу Дж., Мао Х. (2021) [2] обсуждаются эти факторы. На иммобилизацию микробных клеток, движущихся через пористую среду, влияют такие механизмы, как физическое напряжение, а также адсорбция в пористой среде. Размер зерен пористой среды и размер бактериальных клеток являются важными факторами, влияющими на процеживание бактерий, так же, как и скорость гидравлической загрузки или степень образования слоя засорения в фильтре. На адсорбцию клеток в пористой среде влияют содержание органического вещества, степень развития биопленки и электростатическое притяжение из-за ионной силы раствора или электростатических зарядов на поверхности клеток и частиц. Было показано, что на скорость инактивации патогенных микроорганизмов в адсорбированной или жидкой фазах влияют абиотические и биотические факторы, такие как содержание влаги, рН, температура, органические вещества, виды бактерий, хищничество и антагонистический симбиоз между микроорганизмами в системе.

Окислительное модифицирование кроме разрушения аморфного углерода и деструкции слоев графенов приводит к формированию на поверхности углерода гидрофильных поверхностных групп. Появление таких групп по мнению Лин Дж. может увеличить адсорбцию воды, ассоциаты которой могут заблокировать доступ к гидрофобной части углеродной поверхности для молекул гидроксibenзола [15].

Выбранные условия модифицирования, предположительно, способствуют преимущественно образованию поверхностных соединений кислорода, а не «выгоранию» углерода с образованием микропор.

Заключение

Таким образом, считаем, что повышение сорбционной емкости Пуралат-стандарта позволит использовать недорогой антрацит в качестве сорбента для снижения контаминации сточных вод. В исследовании применен потенциальный способ реагентной обработки антрацита с последующим термическим окислением в различных режимах (200°C и 250°C), в качестве реагента-модификатора был применен персульфат аммония (5 %).

Анализ изотерм адсорбции гидроксibenзола из водных растворов показал, что тип по классификации Гильса не изменился на различных модификаторах по отношению к исходному углю.

Характеристики (энергия Гиббса адсорбции (ΔG)), полученные с использованием уравнений для обработанных образцов, свидетельствуют о самопроизвольности данного процесса, а значения теплоты адсорбции (Q) показывают, что помимо неспецифического дисперсионного взаимодействия также возможна специфическая физическая адсорбция. Предположительно процесс протекает с образованием водородных связей между молекулой гидроксibenзола и поверхностными группами угля.

Исследование химии поверхности показало влияние различных режимов модифицирования на изменение слоев графенов и образование поверхностных гидрофильных групп.

Ожидаемого формирования микропористой структуры в выбранных условиях не произошло.

Исследование адсорбции на антраците, модифицированном другими способами, как с использованием химических реактивов, так и безреагентным методом, будет направлением наших дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Itoh S., Gordon B., Callan P. (2011) Regulations and perspectives on disinfection by-products: importance of estimating overall toxicity. *J. of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 60(5) 261–274.
2. Wang M., Zhu J., Mao H. (2021) Pathogen removal in on-site wastewater treatment systems: A review of design considerations and influencing factors. *Water* 13(9): 1190.
3. Yang L. et al. (2011) Promotion of plant growth and in situ degradation of phenol by an engineered *Pseudomonas fluorescens* strain in different contaminated environments. *Soil Biology & Biochemistry* 43(5) 915–922.

4. Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Рода И.Г. (1990) Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия. 256 с.
5. Парфит Г., Рочестер К. (1996) Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел. М.: Мир. 488 с.
6. Krasnova T.A. et al. (2021) The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions Carbon Lett. DOI: 10.1007/s42823-020-00216-z. EDN: KBPPWI.
7. Belyaeva O.V., Golubeva N.S., Belyaeva E.E. (2019) Adsorption of a pyridine-phenol mixture from aqueous solutions with preheated active carbons IOP Conf. Series Earth and Environmental Science 395 012069 DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012069 EDN: HUHYZZ.
8. Гладкова О.С. Адсорбционные характеристики модифицированных активных углей / Гладкова О.С., Шишлянникова Н.Ю., Соловьева Ю.В., Патраков Ю.Ф. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. № 6(51). С. 83–84. EDN: PXYUXJ.
9. Samonin V.V. et al. (2022) Production of activated carbons from the woodworking industry waste ChemChemTech 65(12) 67–75.
10. Leng C.-C., Pinto N.G. (1997) Effects of surface properties of activated carbons on adsorption behavior of selected aromatics Carbon 35(9) 1375–1385 EDN: AFTBSV.
11. Podkoscielny P., Dabrowski A. (2017) Adsorption of phenol from aqueous solutions on original and oxidized multiwalled carbon nanotubes. Adsorption Science & Technology 0(0) 1–11 EDN: YKEGIK.
12. Vidic D.R., Tessmer C.H., Uranovski L.J. (1997) Impact of surface properties of activated carbons on oxidative coupling of phenolic compounds Carbon 35(9) 1349–1359 EDN: ADLLKP.
13. Chen W. et al. (2008) Adsorption of hydroxyl- and amino-substituted aromatics to carbon nanotubes Env. Science & Technology 42(18) 6862–6868.
14. Pan B., Xing B.S. (2008) Adsorption mechanisms of organic chemicals on carbon nanotubes. Env. Science & Technology 42(24) 9005–9013 EDN: YAJGEL.
15. Lin J.Q. et al. (2016) The adsorption mechanism of modified activated carbon on phenol MATEC Web of Conf. SMAE 67 03040 DOI: 10.1051/matecconf/20166703040.

Gorelkina Alena Konstantinovna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
E-mail: alengora@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=564160

Belyaeva Oxana Vladimirovna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
E-mail: alengora@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3782-2521>

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=564160

Golubeva Nadezhda Sergeevna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
E-mail: golnadya@yandex.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=542847

Gora Natalia Viacheslavovna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
E-mail: goranataliya@yandex.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=744545

Timoshchuk Irina Vadimovna

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
E-mail: irina_190978@mail.ru

RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=564161

Extraction of organic pollutants from wastewater to improve the sanitary reliability of water bodies

Abstract. The purpose of this study was to evaluate the principal possibility of increasing the adsorption of hydroxybenzene by the carbon sorbent Purolate-standard by a combination of reactive and thermal oxidative modification. The control of the hydroxybenzene concentration from the solution was determined by spectrophotometry. The possibility of increasing the adsorption capacity by means of combined oxidative modification (reagent oxidation followed by heat treatment) of carbon material was considered. The characteristics of the extraction process were established on the basis of Langmuir and Dubinin-Radushkevich models. Analysis of the porous structure and functional groups of the surface of anthracite and its modified samples showed changes in the above parameters. The processing of experimental data in the coordinates of the Langmuir and Dubinin-Radushkevich equations showed a satisfactory correlation, which allows us to calculate the values: Gibbs energy, the maximum adsorption capacity of the monolayer, the adsorption equilibrium constant, the maximum volume of the adsorption space. The obtained values allow us to establish the adsorption mechanism, both on the feedstock and on the processed samples. It was found that the oxidation of 2 % ammonium salt of peroxodiseric acid with subsequent heating at 200°C reduced the adsorption of phenol. Treatment of the adsorbent with 5 % ammonium salt of peroxodiseric acid with heating at 250°C slightly increased the adsorption of phenol. The use of the studied oxidants to increase the adsorption capacity of anthracite did not give the expected result with respect to hydroxybenzene. Sorption on macroporous carbon materials with preliminary modification can be recommended as a promising direction in relation to organic pollutants. The study of the adsorption of hydroxybenzene on anthracite of the Purolate-standard brand was carried out under static conditions. The authors have proved that reducing the sanitary reliability of reservoirs is possible by means of reducing the level of contamination of wastewater. The mechanism of adsorption of hydroxybenzene on sorbents modified

by a combined method under different regimes has been studied for the first time, which is a scientific novelty of the study.

Keywords: sorbents; anthracite; modification; adsorption hydroxybenzene; adsorption isotherms; adsorption parameters; adsorption capacity