

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101>**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА МОДИФИЦИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНОГО СОРБЕНТА НА ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФЕНОЛА ИЗ ПРИРОДНЫХ ВОД**

Научная статья

**Голубева Н.С.<sup>1,\*</sup>, Беляева О.В.<sup>2</sup>, Гора Н.В.<sup>3</sup>, Горелкина А.К.<sup>4</sup>, Тимошук И.В.<sup>5</sup>, Иванова Л.А.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-2188-8331;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3030-9140;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-6055-8570;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0002-3782-2521;<sup>5</sup> ORCID : 0000-0002-1349-2812;<sup>6</sup> ORCID : 0000-0002-4103-8780;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Кемеровский государственный университет, Кемерово, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (golnadya[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Исследована адсорбция фенола активным полукоксом марки «Пуrolат-Стандарт». Изучена принципиальная возможность использования окислительного модифицирования макропористого углеродного адсорбента марки «Пуrolат-Стандарт» для повышения его адсорбционной емкости при извлечении фенола из сточных вод. Рассчитаны основные параметры адсорбции с использованием уравнений Ленгмюра, Арановича и Дубинина – Радушкевича, экспериментально полученные изотермы адсорбции удовлетворительно могут быть описаны используемыми теориями. Установлено, что обработка 5% персульфатом аммония с прогревом при температуре 250 °С влажного образца незначительно увеличила адсорбцию фенола. Выбранный способ модифицирования признан малоэффективным.

**Ключевые слова:** углеродный сорбент, модифицирование, адсорбция фенола.**AN ANALYSIS OF THE EFFECT OF THE CARBON SORBENT MODIFICATION METHOD ON THE EXTRACTION OF PHENOL FROM NATURAL WATERS**

Research article

**Golubeva N.S.<sup>1,\*</sup>, Belyaeva O.V.<sup>2</sup>, Gora N.V.<sup>3</sup>, Gorelkina A.K.<sup>4</sup>, Timoshchuk I.V.<sup>5</sup>, Ivanova L.A.<sup>6</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-2188-8331;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-3030-9140;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-6055-8570;<sup>4</sup> ORCID : 0000-0002-3782-2521;<sup>5</sup> ORCID : 0000-0002-1349-2812;<sup>6</sup> ORCID : 0000-0002-4103-8780;<sup>1, 2, 3, 4, 5, 6</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

\* Corresponding author (golnadya[at]yandex.ru)

**Abstract**

Adsorption of phenol by active semi-coke of "Purolat-Standart" brand was studied. The fundamental possibility of using oxidative modification of macroporous carbon adsorbent of "Purolat-Standart" brand to increase its adsorption capacity for phenol extraction from wastewater was examined. The basic parameters of adsorption using the Langmuir, Aranovich and Dubinin-Radushkevich equations were calculated; experimentally obtained adsorption isotherms can be adequately described by the used theories. It was found that treatment with 5% ammonium persulfate with heating at 250 °C of wet sample slightly increased adsorption of phenol. The chosen method of modification was found to be ineffective.

**Keywords:** carbon sorbent, modification, phenol adsorption.**Введение**

Сосредоточение на территории Кемеровской области значительной части промышленных предприятий Западной Сибири, преимущественно горнодобывающих, отрицательно сказывается на состоянии водных ресурсов. Сброс загрязненных стоков в водоемы приводит к ухудшению качества природных вод. Фенол является одним из наиболее распространенных антропогенных загрязнителей поверхностных водоемов и подземных источников питьевого водоснабжения Кемеровской области. Фенол оказывает токсическое воздействие на организм, нарушая функции нервной, сердечно-сосудистой системы, поражая такие внутренние органы, как почки, печень, легкие [1].

Данные мониторинга за последние пять лет показывают [2], [3], что концентрации фенола в поверхностных водах Кузбасса в ряде случаев превышают предельно допустимые значения. Содержание фенола в поверхностных водах существенно отличается в зависимости от раствора. Наибольшее значение массовой концентрации фенола наблюдалось на участке р. Ускат в черте с. Красулино, которая в 2020 году являлась наиболее загрязненным притоком Томи. В общую оценку степени загрязненности воды притока значительный вклад внес фенол, среднегодовая концентрация которого была превышена в 8 раз. Кроме того, зарегистрированное в разовых пробах содержание фенола достигало 33 ПДК. В 2021 году в реке Ускат качество воды по сравнению с предыдущим годом улучшилось. По

данным мониторинга водных объектов в 2020 году вода относилась к классу качества воды 4 «Б» («грязная»), то в 2021 году – класс качества воды 3 «Б» («очень загрязненная»).

Сорбционный метод очистки сточных вод от фенола является наиболее эффективным и экологически приемлемым методом. Для адсорбционной очистки воды от органических загрязнений в качестве адсорбентов используют как искусственные, так и природные вещества, обладающие развитой поверхностью [4]. Наибольшее распространение в качестве сорбентов для извлечения органических веществ из водных сред получили активные угли (АУ), поскольку энергия ван-дер-ваальсового взаимодействия молекул органических веществ с атомами углерода, образующими поверхность углеродных сорбентов, намного больше энергии взаимодействия этих атомов с молекулами воды [5].

Промышленная очистка воды состоит из нескольких этапов и подразумевает наличие фильтра, заполненного сорбентами, как правило, активными углями различных марок, среди которых наиболее распространен сорбент марки АГ-3. Благодаря развитой структуре как микро-, так и макропор, данный материал является универсальным для адсорбции различных органических соединений из жидких сред. Однако активные угли – относительно дорогие фильтрующий материал.

В последние годы появились углеродные сорбенты, низкая стоимость которых связана с дешевым исходным сырьем или изменением технологии получения. Одним из подобных сорбентов является активный антрацит «Пуролат-Стандарт».

«Пуролат-Стандарт» благодаря макропористой структуре может быть эффективным при удалении коллоидных частиц и макромолекул гуминовых и фульвокислот. Однако небольшое количество микропор не способствует успешному извлечению им из воды органических молекул малого размера, к которым относится и фенол. Увеличить емкость адсорбента можно окислительным модифицированием. В качестве окислителей могут использоваться как газы (озон, кислород воздуха при высокой температуре), так и жидкие окислители (концентрированная азотная кислота, пероксид водорода, перманганат калия и др.), причем предпочтение отдается тем окислителям, которые не загрязняют углеродную поверхность продуктами своего восстановления и / или могут быть с нее легко удалены [6], [7].

Исследования модифицирования активных углей различными модификаторами, проведенные нами ранее, показали, что выбранные способы обработки повышают адсорбционную ёмкость углеродных сорбентов по отношению к фенолам на 10-60% в зависимости от марки активного угля [5], [8], [9].

Целью настоящей работы было изучение адсорбции фенола из водных растворов сорбентом марки «Пуролат-Стандарт», а также возможности её повышения комбинированным окислительным модифицированием (реагентное окисление с последующей термической обработкой) углеродного материала.

### Методы и принципы исследования

В качестве модификатора был использован персульфат аммония, который при растворении в воде разлагается с выделением атомарного кислорода. Контакт последнего с углеродной поверхностью может привести к формированию более развитой микропористой структуры и образованию кислородсодержащих поверхностных групп [10], [11].

Промышленный сорбент марки «Пуролат-Стандарт» (обозначен как образец П) выдерживался в течение суток в свежеприготовленном растворе 5% персульфата аммония, отмывался от продуктов взаимодействия и фильтровался до сыпучего состояния. Затем полученные образцы были подвергнуты прогреву при температуре 250 °С в течение двух часов в муфельной печи сразу после фильтрования (образец П-5П-250В) или после высушивания до воздушно-сухого состояния (образец П-5П-250С).

Адсорбционные свойства углеродных сорбентов оценивались по количеству модельного вещества, адсорбируемого единицей массы угля при равновесных условиях. Адсорбция фенола из водных растворов с концентрацией  $1,0 \cdot 10^{-3} - 10,0$  ммоль/л изучалась при температуре  $25,0 \pm 0,2$  °С. Навеску сорбента массой  $1,0000 \pm 0,0001$  г помещали в стеклянную колбу объемом 250 мл. Колбы герметично закрывались и выдерживались при непрерывном перемешивании в течение суток. Соотношение углеродного сорбента к водному раствору  $C_6H_5OH$  1 : 100. Перед измерением растворы центрифугировались.

Равновесная концентрация фенола определялась на спектрофотометре ПЭ-5300В (Промэколаб, Россия) по реакции образования окрашенного соединения фенола с 4-аминоантипирином при длине волны 490 нм.

### Основные результаты

Для исследуемых образцов были определены технические и физико-химические характеристики (таблица 1).

Таблица 1 - Характеристики углеродных сорбентов

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.1>

Характеристика	Образец			
	П	П-5П-250С	П-5П-250В	
Влага, %	$2,20 \pm 0,18$	$2,01 \pm 0,14$	$2,05 \pm 0,15$	
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	$0,866 \pm 0,010$	$0,879 \pm 0,009$	$0,872 \pm 0,011$	
Суммарный объем пор по воде, см <sup>3</sup> /г	$0,171 \pm 0,003$	$0,100 \pm 0,002$	$0,078 \pm 0,001$	
Обменная емкость (ОЕ), ммоль/г	по Н <sup>+</sup>	$0,1531 \pm 0,0014$	$0,0572 \pm 0,0009$	$0,0681 \pm 0,0008$
	по ОН <sup>-</sup>	-	$0,0079 \pm 0,0001$	$0,0078 \pm 0,0002$

Модифицирование исходного углеродного сорбента «Пуrolат-Стандарт» персульфатом аммония привело (табл. 1) к уменьшению суммарного объема пор и титруемых основных групп (ОЕ по  $H^+$ ), а также появлению титруемых кислотных групп (ОЕ по  $OH^-$ ).

Изотермы адсорбции фенола из водных растворов сорбентом марки «Пуrolат-стандарт» и его модифицированными образцами представлены на рисунках 1, 2.

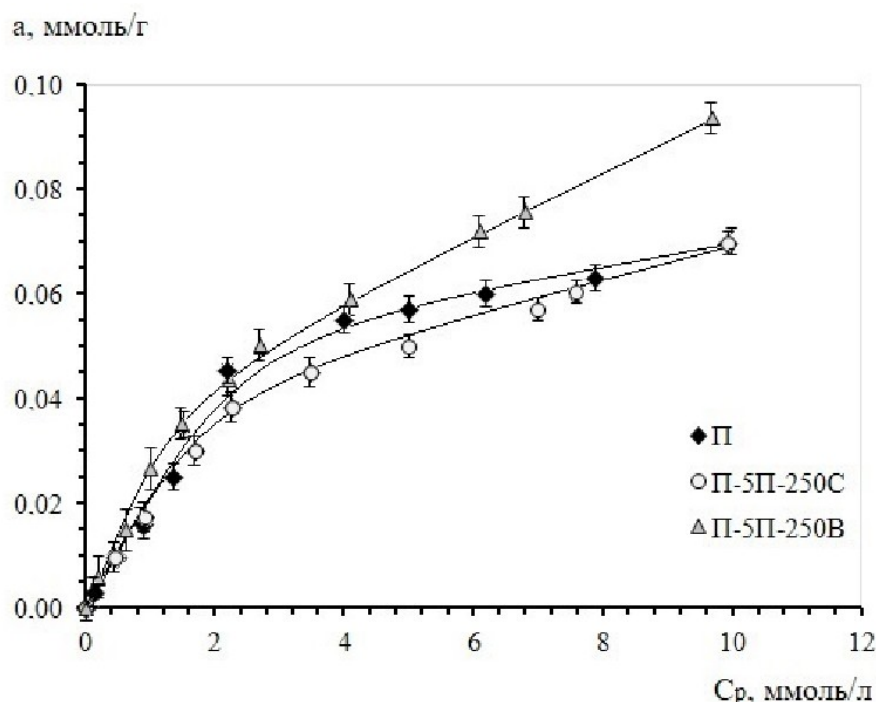


Рисунок 1 - Изотермы адсорбции фенола из водного раствора исследуемыми углеродными сорбентами  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.2>

Для сопоставления на рисунке 2 приведена также изотерма адсорбции фенола АУ марки АГ-3.

Начальные участки изотерм адсорбции фенола на образцах полукокса прямолинейны (рис. 2), а при больших концентрациях наблюдается выход на насыщение.

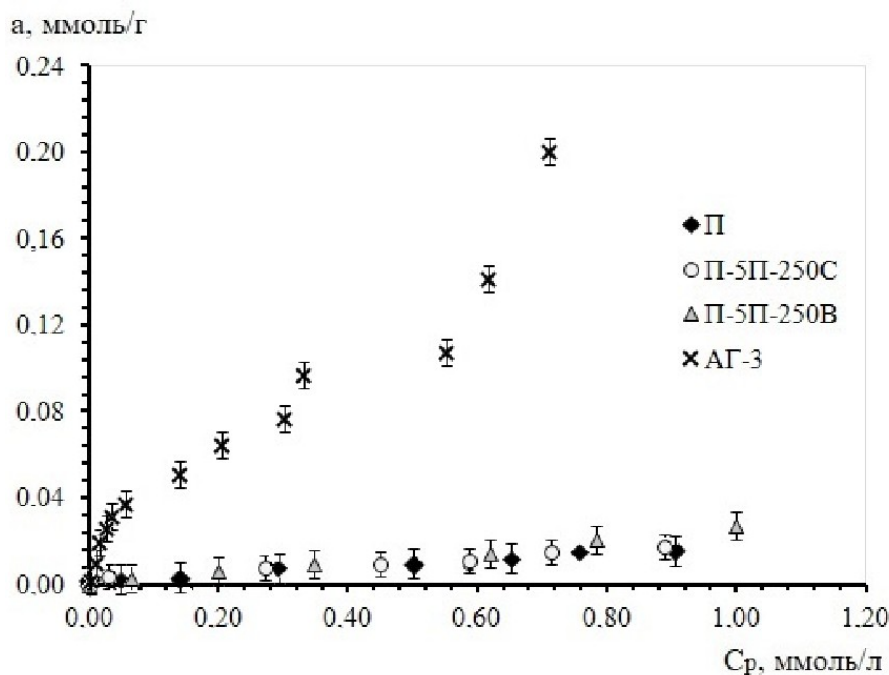


Рисунок 2 - Изотермы адсорбции фенола из водного раствора в области низких равновесных концентраций исследуемыми углеродными сорбентами  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.3>

В результате модифицирования углеродного сорбента марки «Пуrolат-Стандарт» несущественно возрастает сорбционная емкость по фенолу только для образца П-5П-250В, предположительно за счет окислительной деструкции поверхности сорбента, которую усиливает присутствие влаги. Для П-5П-250С снижение адсорбционной способности по сравнению с исходным сорбентом.

При адсорбции молекул фенола из воды на активном угле марки АГ-3 основную роль выполняют микропоры адсорбента, что обуславливает его гораздо более высокую адсорбционную активность.

Расчет основных адсорбционных параметров для исследуемых сорбентов проводился с использованием уравнений Ленгмюра (мономолекулярная адсорбция), Арановича (полимолекулярная адсорбция) и Дубинина-Радушкевича (объемное заполнение микропор), модифицированных для случая адсорбции из растворов [12], [13]. Установлено, что экспериментально полученные изотермы адсорбции удовлетворительно могут быть описаны используемыми теориями. Изотермы линеаризовали в соответствующих координатах, из полученных уравнений прямых рассчитаны параметры адсорбции. Анаморфы изотерм адсорбции в координатах соответствующих уравнений представлены на рисунках 3 - 5.

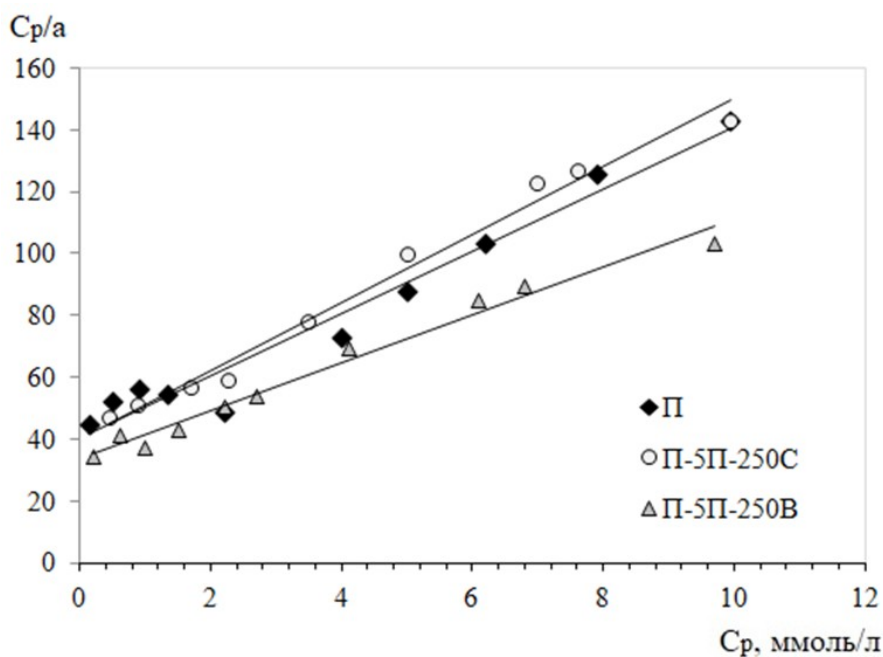


Рисунок 3 - Изотермы адсорбции фенола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Ленгмюра  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.4>

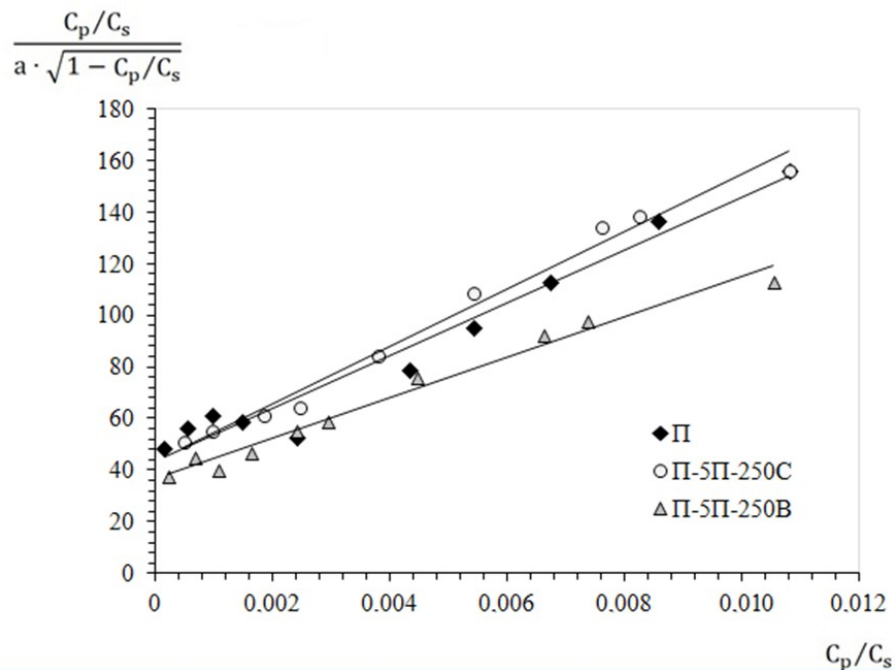


Рисунок 4 - Изотермы адсорбции фенола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Арановича  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.5>

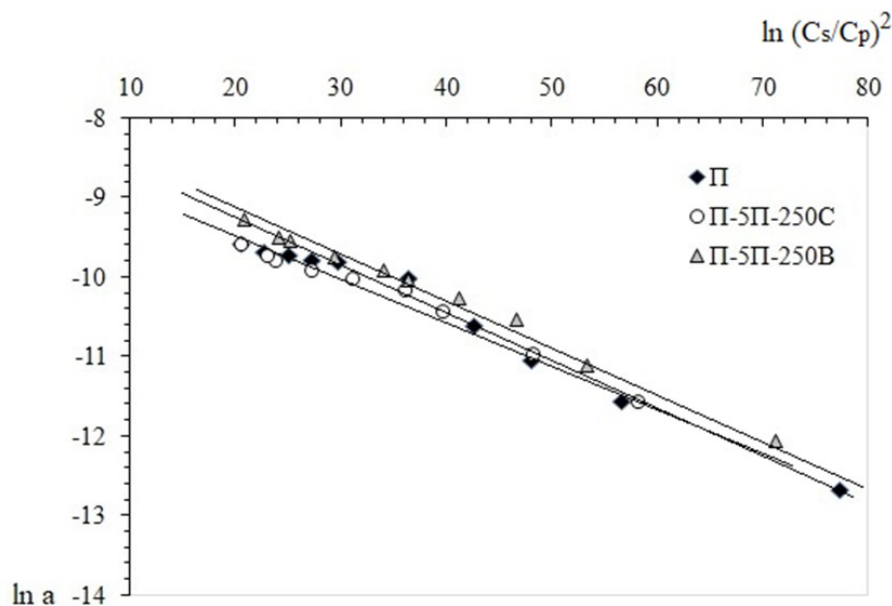


Рисунок 5 - Изотермы адсорбции фенола углеродными адсорбентами в координатах уравнения Дубинина – Радужкевича  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.6>

Рассчитанные по уравнениям адсорбции параметры приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Параметры адсорбции фенола на исследуемых сорбентах

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.125.101.7>

Параметры адсорбции	П	П-5П-250С	П-5П-250В
Уравнение Ленгмюра			
$a_{\max}$ , ммоль/г	$0,099 \pm 0,005$	$0,091 \pm 0,003$	$0,129 \pm 0,006$
$-\Delta G$ , кДж/моль	$23,23 \pm 1,12$	$23,45 \pm 0,91$	$23,03 \pm 1,10$
$S$ , м <sup>2</sup> /г	$16,74 \pm 0,08$	$15,34 \pm 0,49$	$21,76 \pm 1,04$

R <sup>2</sup>	0,962	0,986	0,981
Уравнение Арановича			
a <sub>max</sub> , ммоль/г	0,096 ± 0,005	0,090 ± 0,004	0,128 ± 0,006
-Q, кДж/моль	13,28 ± 0,65	13,50 ± 0,53	13,08 ± 0,61
S, м <sup>2</sup> /г	16,61 ± 0,8	15,23 ± 0,59	21,60 ± 0,99
R <sup>2</sup>	0,963	0,986	0,9813
Уравнение Дубинина - Радушкевича			
a <sub>0</sub> , ммоль/г	0,260 ± 0,013	0,205 ± 0,010	0,301 ± 0,014
w <sub>0</sub> , см <sup>3</sup> /г	0,023 ± 0,001	0,018 ± 0,001	0,027 ± 0,001
R <sup>2</sup>	0,981	0,982	0,992

Рассчитанные по уравнениям Ленгмюра и Арановича величины максимальной адсорбции (a<sub>max</sub>) показывают, что в исследуемом диапазоне концентраций на поверхности всех сорбентов формируется только монослой фенола, наибольшее значение которого характерно для сорбента П-5П-250В.

Отрицательные значения энергии Гиббса адсорбции (ΔG) свидетельствуют о самопроизвольности данного процесса, а теплоты адсорбции (Q), соизмеримые с энергией водородной связи (8-40 кДж/моль), – что помимо неспецифического дисперсионного взаимодействия также возможна специфическая физическая адсорбция. Предположительно процесс протекает с образованием водородных связей между молекулой фенола и поверхностными группами угля.

Предельная адсорбционная емкость фенола в микропорах (a<sub>0</sub>) для образца П-5П-250В повысилась на 30% по сравнению с исходным сорбентом, тогда как для П-5П-250С уменьшилась на 20%. Предельный адсорбционный объем (w<sub>0</sub>) для сорбента «Пуролат-Стандарт» и его модифицированных образцов близки по значению и сопоставимы с объемом микропор адсорбентов.

#### Заключение

Полученные результаты подтверждают сложность механизма адсорбции фенола. При его адсорбции из растворов в области низких концентраций заметную роль оказывает наличие и природа соединений кислорода на поверхности углеродного сорбента.

Обработка углеродного сорбента марки «Пуролат-Стандарт» персульфатом аммония не привела к ожидаемому росту адсорбционной емкости по фенолу. Выбранный способ модифицирования признан малоэффективным.

#### Финансирование

работа выполнена в рамках КНТП полного инновационного цикла, распоряжение Правительства РФ от 11.05.2022, N1144-р, N соглашения 075-15-2022-1201.

#### Funding

the work was carried out within the framework of the CSTP full innovation cycle, order of the Government of the Russian Federation of 11.05.2022, N1144-r, Agreement N 075-15-2022-1201

#### Конфликт интересов

Не указан.

#### Conflict of Interest

None declared.

#### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

#### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

#### Список литературы / References

1. Беляева О.В. Использование новых углеродных адсорбентов для очистки воды от фенола. / О.В. Беляева, Н.С. Голубева, Е.С. Великанова и др. // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 1. – с. 143-146.
2. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2021 году» [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. – 2022. – URL: [http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad\\_2021.pdf](http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad_2021.pdf). (дата обращения: 26.10.22)
3. Доклад «О состоянии и охране окружающей среды Кемеровской области – Кузбасса в 2020 году» [Электронный ресурс] // Министерство природных ресурсов и экологии Кузбасса. – 2020. – URL: <http://ecokem.ru/doklady-o-sostoyanii-okruzhayushhej-sredy-keмеровской-oblasti/>. (дата обращения: 26.10.22)
4. Фызылова Г.Ф. Сорбционные параметры производных фенолов на различных углеродных материалах / Г.Ф. Фызылова, Э.Р. Валинурова, Р.М. Хатмуллина и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2013. — Т. 13. — Вып. 5. — с. 728-735.
5. Krasnova T.A. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. / T.A. Krasnova, N.V. Gora, O.V. Belyaeva et al. // Carbon Letters. – 2021. – № 31. – p. 1023–1032. – DOI: 10.1007/s42823-020-00216-z
6. Беляева О.В. Адсорбция пиридина и фенола из органо-минеральной смеси модифицированными кислотой активными углями. / О.В. Беляева, Н.С. Голубева, О.В. Краснова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. – 2011. – № 2. – с. 144-148.

7. Краснова Т.А. Влияние модифицирования на адсорбцию органических веществ из индивидуальных растворов и их смесей. / Т.А. Краснова, И.В. Тимошук, А.К. Горелкина и др. // Ползуновский вестник. – 2014. – № 3. – с. 230-234.
8. Belyaeva O. Adsorption Of A Pyridine-Phenol Mixture From Aqueous Solutions With Preheated Active Carbons. / O. Belyaeva, N. Golubeva, E. Belyaeva // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. – 2019. – № 395. – p. 012069. – DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012069
9. Озерова Л.А. Изучение возможности адсорбционного извлечения карбонильных соединений с использованием углеродных сорбентов. / Л.А. Озерова, А.И. Солдатов // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 1. – с. 35-43.
10. Москаленко Т.В. Повышение извлечения гуминовых веществ из бурого угля Харанорского месторождения направленным окислением. / Т.В. Москаленко, В.А. Михеев, Е.В. Ворсина // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 2-3. – с. 435-440. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35> (дата обращения: 07.10.22).
11. Терешкин В. Повышение адгезии слоев многослойных печатных плат путем модификации поверхности с органометаллическим покрытием. / В. Терешкин, Л. Григорьева // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 3. – с. 36-39.
12. Ефанов М.В. Изучение кинетики разложения пероксодисульфата аммония в аммиачном растворе в присутствии древесины. / М.В. Ефанов // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 11. – с. 67-70. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=29137> (дата обращения: 07.10.22).
13. Krasnova T.A. Trichloroethylene adsorption from aqueous solutions by activated carbons. / T.A. Krasnova, O.V. Belyaeva, A.K. Gorelkina et al. // Carbon Letters. – 2020. – Vol. 30. — № 3. – p. 281-287. – DOI: 10.1007/s42823-019-00096-y

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Belyaeva O.V. Ispol'zovanie novy'x uglerodny'x adsorbentov dlya ochistki vody' ot fenola [Use of new carbon adsorbents for phenol removal from water]. / O.V. Belyaeva, N.S. Golubeva, E.S. Velikanova et al. // Tekhnika i tehnologiya pishhevy'x proizvodstv [Food Processing: Techniques and Technology]. – 2012. – № 1. – p. 143-146. [in Russian]
2. Doklad «O sostoyanii i ohrane okruzhayushhej sredey' Kemerovskoy oblasti – Kuzbassa v 2021 godu» [Report "On the state and protection of the environment of the Kemerovo region - Kuzbass in 2021"] [Electronic source] // Ministry of Natural Resources and Ecology of Kuzbass. – 2022. – URL: [http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad\\_2021.pdf](http://kuzbasseco.ru/wp-content/uploads/2022/04/doclad_2021.pdf). (accessed: 26.10.22) [in Russian]
3. Doklad «O sostoyanii i ohrane okruzhayushhej sredey' Kemerovskoy oblasti – Kuzbassa v 2020 godu» [Report "On the state and protection of the environment of the Kemerovo region - Kuzbass in 2020"] [Electronic source] // Ministry of Natural Resources and Ecology of Kuzbass. – 2020. – URL: <http://ecokem.ru/doklady-o-sostoyanii-okruzhayushhej-sredey-kemerovskoy-oblasti/>. (accessed: 26.10.22) [in Russian]
4. Fizilova G.F. Sorbtionnie parametri proizvodnykh fenolov na razlichnikh uglerodnikh materialakh [Sorption parameters of phenol derivatives on various carbon materials] / G.F. Fizilova, E.R. Valinurova, R.M. Khatmullina et al. // Sorbtionnie i khromatograficheskie protsessy [Sorption and chromatographic processes]. — 2013. — Vol. 13. — Iss. 5. — p. 728-735. [in Russian]
5. Krasnova T.A. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. / T.A. Krasnova, N.V. Gora, O.V. Belyaeva et al. // Carbon Letters. – 2021. – № 31. – p. 1023–1032. – DOI: 10.1007/s42823-020-00216-z
6. Belyaeva O.V. Adsorbciya piridina i fenola iz organo-mineral'noj smesi modificirovanny'mi kislotoj aktivny'mi uglyami [Adsorption of pyridine and phenol from an organo-mineral mixture with acid-modified active carbons]. / O.V. Belyaeva, N.S. Golubeva, O.V. Krasnova // Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby' narodov. Seriya: Inzhenerny'e issledovaniya [Bulletin of the Russian university of friendship of peoples. Series: Engineering research]. – 2011. – № 2. – p. 144-148. [in Russian]
7. Krasnova T.A. Vliyanie modificirovaniya na adsorbciyu organicheskix veshhestv iz individual'ny'x rastvorov i ix smesey [The effect of modification on the adsorption of organic substances from individual solutions and their mixtures]. / T.A. Krasnova, I.V. Timoshuk, A.K. Gorelkina et al. // Polzunovskij vestnik [Polzunovskiy vestnik]. – 2014. – № 3. – p. 230-234. [in Russian]
8. Belyaeva O. Adsorption Of A Pyridine-Phenol Mixture From Aqueous Solutions With Preheated Active Carbons. / O. Belyaeva, N. Golubeva, E. Belyaeva // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. – 2019. – № 395. – p. 012069. – DOI: 10.1088/1755-1315/395/1/012069
9. Ozerova L.A. Izuchenie vozmozhnosti adsorbcionnogo izvlecheniya karbonil'ny'x soedinenij s ispol'zovaniem uglerodny'x sorbentov [Studying the Possibility of Adsorption Extraction of Carbonyl Compounds Using Carbon Sorbents]. / L.A. Ozerova, A.I. Soldatov // Vestnik YuUrGU [Bulletin of SUSU]. – 2012. – № 1. – p. 35-43. [in Russian]
10. Moskalenko T.V. Povyshenie izvlecheniya guminovy'x veshhestv iz burogo uglya Xaranorskogo mestorozhdeniya napravlennoy'm okisleniem [Increasing the extraction of humic substances from brown coal of the Kharanor deposit by directed oxidation]. / T.V. Moskalenko, V.A. Mixeev, E.V. Vorsina // Sovremennyye naukoemkie tehnologii [Modern high technologies]. – 2016. – № 2-3. – p. 435-440. – URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35> (accessed: 07.10.22). [in Russian]
11. Tereshkin V. Povyshenie adgezii sloev mnogoslajny'x pechatny'x plat putem modifikacii poverxnosti s organometallicheskim pokry'tiem [Increasing the adhesion of layers of multilayer printed circuit boards by modifying the surface with an organometallic coating]. / V. Tereshkin, L. Grigor'eva // Tekhnologii v e'lektronnoj promy'shlennosti [Technologies in the electronics industry]. – 2011. – № 3. – p. 36-39. [in Russian]
12. Efanov M.V. Izuchenie kinetiki razlozheniya peroksidisul'fata ammoniya v ammiachnom rastvore v prisutstvii drevesiny' [Study of the kinetics of decomposition of ammonium peroxodisulfate in an ammonia solution in the presence of wood]. / M.V. Efanov // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya [Successes of modern natural science]. – 2011. – № 11. – p. 67-70. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=29137> (accessed: 07.10.22). [in Russian]

13. Krasnova T.A. Trichloroethylene adsorption from aqueous solutions by activated carbons. / T.A. Krasnova, O.V. Belyaeva, A.K. Gorelkina et al. // Carbon Letters. – 2020. – Vol. 30. — № 3. – p. 281-287. – DOI: 10.1007/s42823-019-00096-у