АДСОРБЦИЯ ПАРОВ БЕНЗОЛА ОБРАЗЦАМИ ХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Аскарова Дилзода Олимжоновна
Наманганский государственный технический университет, базовый докторант
E-mail: dilzodaasqarova1@gmail.com
Абдикамалова Азиза Бахтияровна
Главный научный сотрудник Института общей и неорганической химии РАН

Аннотация. В данной статье проведен анализ поверхностных свойств адсорбентов, полученных в результате химической обработки образцов бурых углей марок БПК и БР Ангренского угольного разреза, методом адсорбции паров бензола. Адсорбционные свойства определялись по степени поглощения неполярных молекул.

Ключевые слова: Бурый уголь, активация, адсорбция, КОН, БПК, БК, Мак Бен Бакра, бензол

Annotatsiya. Ushbu maqolada Angren ko'mir koniga tegishli bo'lgan BPK va BR markali qo’ng’ir ko’mir namunalariga kimyoviy ishlov berish natijasida olingan adsorbentlarning sirt yuza xossalari benzol bug'i adsorbsiyasi yordamida taxlil qilingan. Bunda qutubsiz molekulalarni yutish darajasiga ko'ra adsorbsion xossalari aniqlangan.

Kalit so‘zlar: Qo’ng’ir ko’mir, faollash, adsorbsiya, KOH, BPK, BR, Mak Ben Bakra, benzol

Abstract. In this article, the surface properties of adsorbents obtained as a result of chemical treatment of BPK and BR brown coal samples from the Angren coal mine were analyzed using benzene vapor adsorption. In this study, the adsorption properties were determined according to the degree of absorption of non-polar molecules.

Keywords: Brown coal, activation, adsorption, KOH, BPK, BR, Mak Ben Bakra, benzene

Введение

Деятельность человека и растущая индустриализация современного мира приводят к неуклонному росту загрязнения воды. Основными угрозами для почвы и поверхностных вод являются загрязненные бытовые и промышленные сточные воды, использование большого количества химикатов и возросшее использование пестицидов в сельском хозяйстве [1, 2]. Ухудшение качества воды также связано с недостаточными процессами самоочищения [3]. Огромное количество газов, выбрасываемых в атмосферу, поступает из-за выбросов транспортных средств и потребления ископаемого

ISSN 3030-3907

топлива, количество которого увеличивается с каждым годом [4]. Разливы нефти представляют серьезную угрозу для окружающей среды и являются частым результатом человеческой ошибки и халатности. Они могут быть как преднамеренными, так и случайными, например, военные действия и диверсии, а также стихийные бедствия, такие как ураганы, землетрясения и взрывы [5].

Экспериментальная часть

Изотермы адсорбции паров бензола при температуре 20ºС снимались весовым методом на вакуумной адсорбционной установке с весами Мак-Бена-Бакра. Данные о сконструированной в лаборатории Коллоидной химии (ИОНХ АН РУз) установке приводятся в работе Перед измерением адсорбции, образцы глин вакуумировались при 200 и 500ºС (до остаточного давления в системе 10^{-3} мм рт. ст.).

Результаты и их обсуждение

Адсорбционная активность углеродных материалов по бензолу из газовой фазы является важным показателем их текстурных характеристик и способности к удержанию органических соединений. Бензол как модельное органическое соединение широко используется для оценки сорбционной емкости пористых материалов, поскольку его молекулы обладают высокой подвижностью и могут адсорбироваться как в микропорах, так и в мезопорах.

Определение адсорбции паров бензола позволяет охарактеризовать площадь поверхности, объем и распределение пор, а также выявить изменения структуры углеродных сорбентов после термической и химической обработки [5]. Полученные данные позволяют оценить, как модификация углей влияет на их сорбционные свойства, а также определить оптимальные условия активации для получения материалов с высокой эффективностью удаления органических загрязнителей из газовой фазы.

ISSN 3030-3907

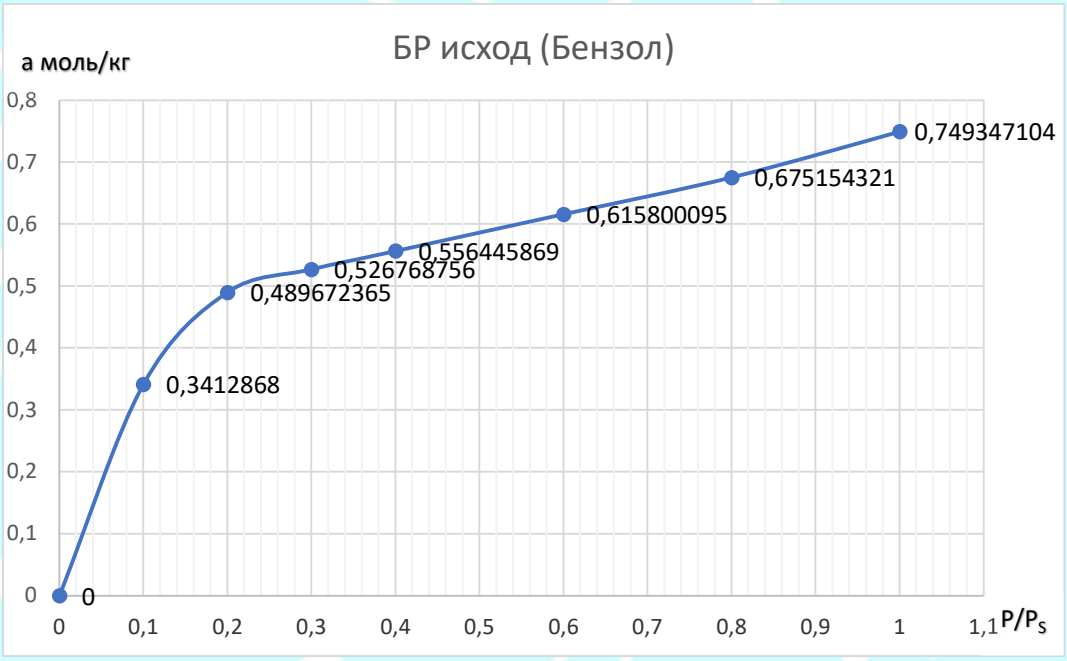




Рис. 1. Изотермы адсорбции паров бензола на исходных образцах углей.

Анализ изотерм адсорбции паров бензола на исходных образцах углей БПК и БР позволяет охарактеризовать их текстурные свойства и особенности пористой структуры.

Изотермы обоих образцов демонстрируют характерные черты микропористых материалов. Для угля БР наблюдается значительно более высокая сорбционная емкость, что подтверждается значением предельной адсорбции A_0, равным 0.350 ммоль/г, тогда как для БПК этот показатель составляет всего 0.106 ммоль/г.

При адсорбции бензола на активированных углях не только микропоры играют ключевую роль, но также важное значение имеют мезопоры и особенности поверхности углеродной матрицы. Хотя молекулы бензола достаточно малы и способны эффективно заполнять микропоры размером

ISSN 3030-3907

менее 2 нм (20 Å), их сорбция на исследуемых образцах обусловлена не только капиллярными эффектами в узких порах, но и взаимодействием с активными центрами поверхности, а также возможностью диффузии через мезопористую систему.

Таблица 1.

Данные пористой структуры по адсорбции паров бензола

Образец	A_0, ммоль/г	S, m^2/g	V_1, sm^3/g	V_2, sm^3/g	R, Å
БПК	0.106	25.53	0.023	0.015	29.9
БР	0.350	84.24	0.059	0.007	15.8
BR/KOH=1/1	1.291	310.85	0.185	0.011	18.5
BR/KOH=1/3	2.008	483.49	0.287	0.014	12.4
BR/KOH=1/5	6.283	1513.04	0.904	0.017	11.9
BR/KOH=1/7	5.011	1206.72	0.712	0.015	12.1
BPK/KOH=1/1	2.330	561.06	0.331	0.02	14.6
BPK/KOH=1/3	2.784	670.38	0.392	0.017	12.2
BPK/KOH=1/5	2.826	680.39	0.407	0.019	12.4
BPK/KOH=1/7	2.526	608.16	0.364	0.02	12.6

Площадь поверхности S, рассчитанная по данным адсорбции, составляет 84.24 м²/г для БР и 25.53 м²/г для БПК, что указывает на значительное развитие текстуры у БР. Объем микропор V_1 для БР выше (0.059 см³/г) по сравнению с БПК (0.023 см³/г), что подтверждает большую вместимость микропористой структуры. Однако объем мезопор V_2, наоборот, выше у БПК (0.015 см³/г против 0.007 см³/г у БР), что может свидетельствовать о более развитой системе мезопор в этом угле.

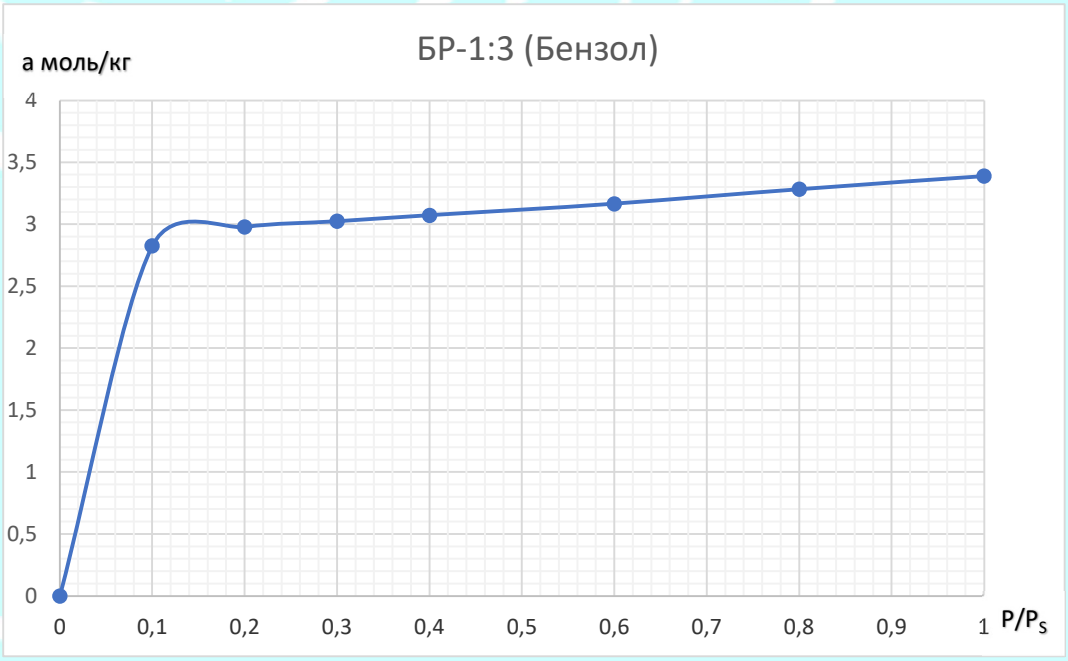
Радиус пор RR для БПК составляет 29.9 Å, тогда как для БР он значительно меньше и составляет 15.8 Å. Это указывает на то, что БПК характеризуется более широкой пористой структурой, в то время как БР имеет преимущественно узкие микропоры.

Различие в удельной поверхности и адсорбционной активности по бензолу между исходными углями БР и БПК обусловлено структурными и химическими особенностями. Хотя удельная поверхность БР (22,0 м²/г) превышает аналогичный показатель для БПК (1,92 м²/г) более чем в 11 раз, сорбционная емкость по бензолу выше лишь в 3,3 раза (0,350 против 0,106 ммоль/г). Это связано с тем, что БР содержит не только микропоры, но и мезопоры, обеспечивающие эффективную диффузию бензола и способствующие его сорбции, несмотря на умеренные значения удельной поверхности.

ISSN 3030-3907

Распределение пор также играет ключевую роль: радиус пор в БР составляет 15,8 Å против 29,9 Å у БПК, что благоприятствует капиллярной конденсации и удержанию молекул бензола. В БПК преобладают широкие поры, менее эффективные для адсорбции, что ограничивает его сорбционные характеристики.

Дополнительно, химическая природа поверхности влияет на взаимодействие с бензолом. Более высокая степень графитизации БР делает его поверхность гидрофобной и способствует эффективному удержанию неполярных молекул, тогда как БПК с кислородсодержащими функциональными группами демонстрирует меньшую аффинность к бензолу.



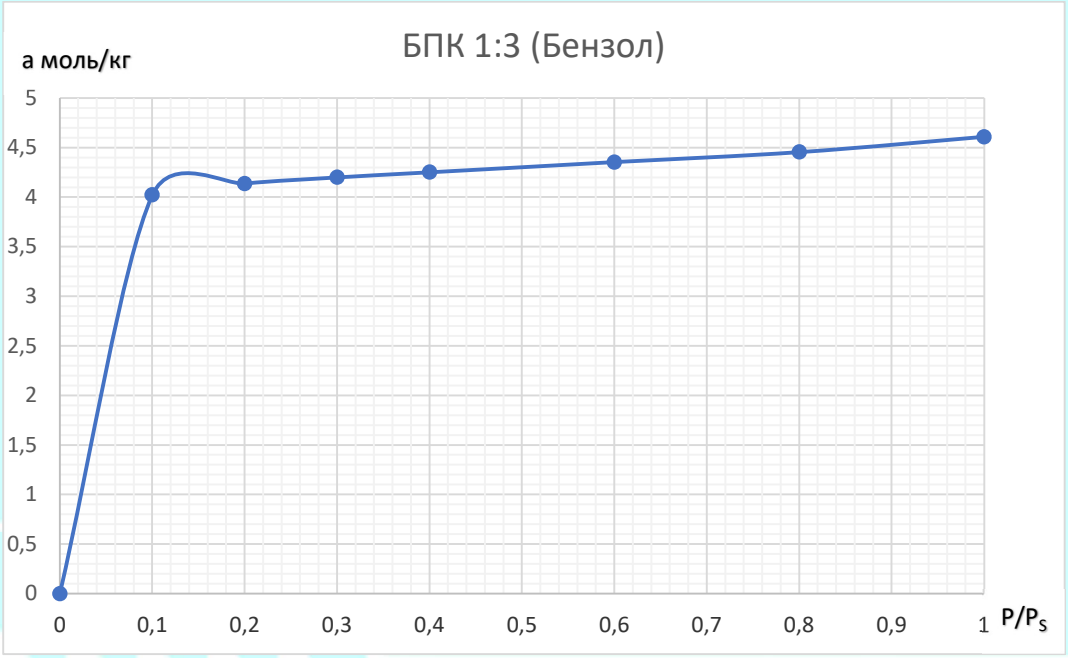


Рис. 2 Изотермы адсорбции паров бензола на образцах химически активированных углей при соотношении уголь/КОН=1/3.

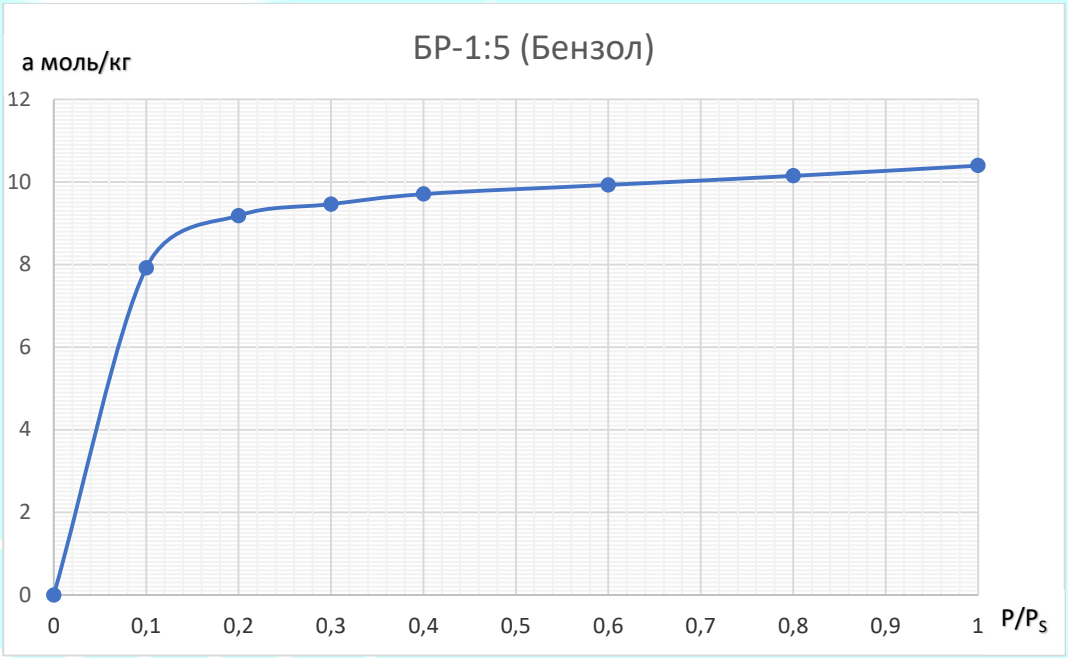
ISSN 3030-3907

Анализ изотерм адсорбции паров бензола на химически активированных углях BR/KOH=1/1 и BR/KOH=1/3 показывает значительное увеличение адсорбционной емкости по сравнению с исходными образцами. Изотермы адсорбции показывают быстрый рост адсорбции при низких относительных давлениях (P/Ps < 0,1), что характерно для микропористых материалов с высокой сорбционной способностью.

Образец BPK/KOH=1/3 обладает более высокой удельной поверхностью (670,38 м²/г) и адсорбционной емкостью (2,784 ммоль/г) по сравнению с BR/KOH=1/3 (483,49 м²/г и 2,008 ммоль/г, соответственно). Это указывает на более интенсивное травление углеродной матрицы в угле БПК при активации, что способствует формированию развитой пористой структуры. Объем микропор в образце BPK/KOH=1/3 составляет 0,392 см³/г, что выше, чем у BR/KOH=1/3 (0,287 см³/г), подтверждая преимущественное развитие микропористости.

Средний радиус пор для обоих образцов близок и составляет 12,2-12,4 Å, что свидетельствует о формировании микропор размером порядка 1,2 нм, обеспечивающих эффективное поглощение бензола. Объем мезопор (V2) в обоих образцах остается низким (0,017 и 0,014 см³/г), что подтверждает доминирующее развитие микропористой структуры.

Более высокие значения A_0 и S для образца BPK/KOH=1/3 подтверждают, что химическая активация угля БПК при данном соотношении активатора способствует формированию более развитой пористой структуры, что делает этот материал более перспективным для сорбции паров бензола.



ISSN 3030-3907

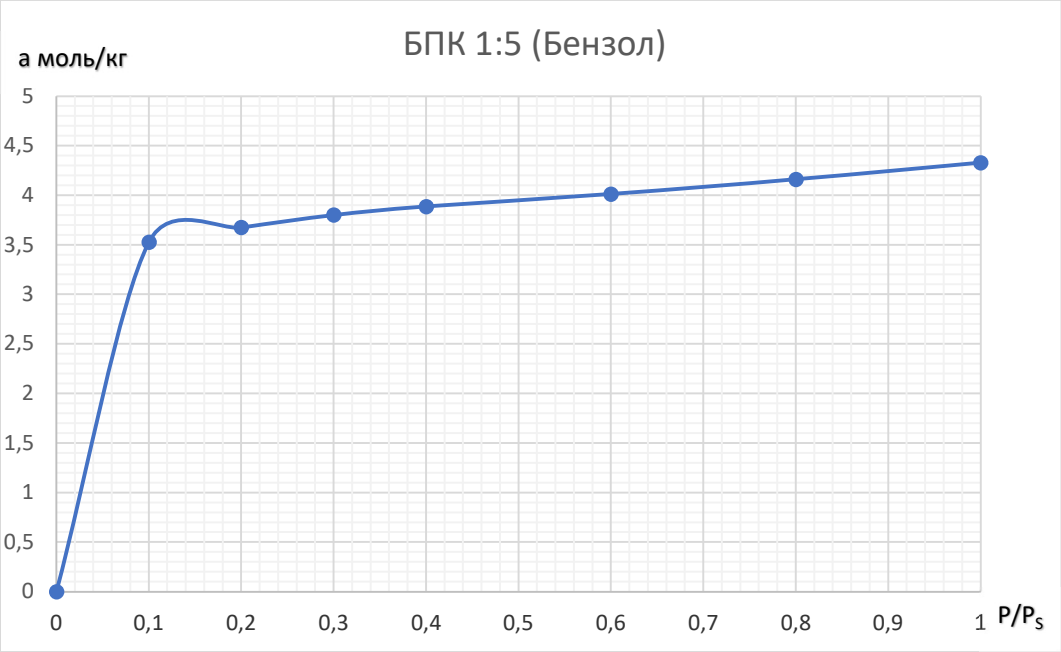


Рис. 3. Изотермы адсорбции паров бензола на образцах химически активированных углей при соотношении уголь/КОН=1/5.

Угли BR/KOH=1/5 демонстрируют наибольшую удельную поверхность (1513,04 м²/г) и адсорбционную емкость (6,283 ммоль/г), что связано с активным изменением углеродной матрицы и формированием развитой микропористой структуры. Объем микропор (0,904 см³/г) в этом образце также максимальный среди всех исследуемых углей. Однако при дальнейшем увеличении соотношения KOH до 1/7 наблюдается снижение удельной поверхности до 1206,72 м²/г и адсорбционной емкости до 5,011 ммоль/г, что может быть связано с чрезмерным разрушением углеродного каркаса и слиянием пор.

Для углей на основе БПК наблюдается аналогичная тенденция: при увеличении соотношения KOH до 1/5 удельная поверхность возрастает до 680,39 м²/г, а адсорбционная емкость до 2,826 ммоль/г. Однако дальнейшее увеличение количества активатора до 1/7 приводит к снижению этих параметров (608,16 м²/г и 2,526 ммоль/г соответственно), что указывает на частичную деградацию структуры материала.

Средний радиус пор в образцах BR/KOH=1/5 и BR/KOH=1/7 составляет 11,9-12,1 Å. Для образцов BPK/KOH=1/5 и BPK/KOH=1/7 радиус пор несколько больше (12,4-12,6 Å), что свидетельствует о менее плотной структуре углеродного материала. При этом объем микропор в углях BR/KOH=1/5 (0,904 см³/г) почти в два раза выше, чем в BPK/KOH=1/5 (0,407 см³/г), что объясняет более высокую сорбционную способность первых.

Различие в адсорбционной емкости по бензолу между активированными углями на основе БПК и БР, особенно при высоких соотношениях KOH (1/5 и 1/7), связано с несколькими ключевыми

ISSN 3030-3907

факторами, включая морфологию пористой структуры, распределение пор по размерам и химические свойства углеродной матрицы.

Во-первых, активированные угли на основе БР демонстрируют более высокие показатели адсорбции бензола (6.283 ммоль/г при BR/KOH=1/5 и 5.011 ммоль/г при BR/KOH=1/7) по сравнению с аналогичными образцами на основе БПК (2.826 ммоль/г и 2.526 ммоль/г, соответственно). Это свидетельствует о том, что в БР после активации сохраняется более развитая система узких мезопор и широких микропор, которые обеспечивают оптимальные условия для удержания бензола за счет капиллярной конденсации и высокой плотности сорбционных центров.

Во-вторых, различия в распределении пор по размерам оказывают значительное влияние. В углях на основе БПК, даже после химической активации, сохраняется более высокая доля широких мезопор и макропор, что делает их менее эффективными для адсорбции бензола. В БР же при соотношениях КОН 1/5 и 1/7 образуется более сбалансированная пористая структура, включающая развитые микропоры (8–12 Å), которые критически важны для эффективной адсорбции молекул бензола. При этом БПК/KOH=1/5 и 1/7 характеризуются несколько большим средним радиусом пор (12.4–12.6 Å), что может снижать адсорбционную емкость за счет уменьшения специфического взаимодействия бензола с углеродной матрицей.

Еще один важный фактор — различия в химическом составе углеродной матрицы. Бурый уголь БПК в исходном состоянии содержит большее количество кислородсодержащих функциональных групп, что после химической активации может приводить к частичному сохранению полярных участков на поверхности. Эти группы не способствуют эффективному взаимодействию с бензолом, который является неполярной молекулой. В случае БР активация приводит к более высокой степени графитизации поверхности, что делает его более гидрофобным и, соответственно, более восприимчивым к адсорбции бензола.

Таким образом, снижение адсорбционной активности БПК/KOH=1/5 и 1/7 в сравнении с BR/KOH=1/5 и 1/7 обусловлено менее развитой микропористой структурой, меньшей плотностью сорбционных центров в оптимальном диапазоне размеров пор и потенциальным наличием остаточных кислородсодержащих групп, снижающих гидрофобность поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jurewicz K., Pietrzak R., Nowicki P., Wachowska H. Capacitance behaviour of БPown coal based active carbon modified through chemical reaction with urea //

ISSN 3030-3907

Electrochimica Acta. – 2008. – Т. 53. – С. 5469-5475.
2. Мухин В.М. Активные угли России / В.М.Мухин, А.В.Тарасов, В.Н.Клушин. – М.:Металлургия, 2000. - 352 с.
3. Asqarova Dilzoda Alimjonovna., Abdikamalova Aziza Bakhtiyorovna., Yuldashov Jurabek Bakhromovich., Khoshimov Shakhrom Mansurovich. Analysis of Methods for Activating Carbon-Containing Materials to Obtain Carbon Adsorbents// International Journal of Advanced Research inScience, Engineering and Technology Vol. 9, Issue 1, January 2022. P. 18852 – 18857. (05.00.00№.29).
4. Аскарова Д. О., Холиков К. А., Мехмонхонов М. М., Бахронов Х. Н., Абдикамалова А. Б. Исследование термической обработки ПЭТ и полиэтилена для получения углеродных материалов // Universum: технические науки. – 2025. – № 1(130). – С. 74–77. (02.00.00 № 8)
5. Аскарова Д.О., Худойбердиев Н.Э., Холиков К, Хайдаров Д.М., Абдикамалова А.Б., Эргашев О.К., Эшметов И.Д. Испытание угольных адсорбентов на основе растительного отхода для очистки соевого масла и глицерина // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali Maxsus son №2, 2024 y.ISSN 2181-1539 C. 29-36 (05.00.00; №76).

ISSN 3030-3907