

## FTIR-АНАЛИЗ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ, ПОЛУЧЕННОГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ РЕАГЕНТОВ

Эргашева Дилсўз Равшан қизи

(Базовый докторант Самаркандского государственного университета имени Шарафа Рашидова)

Мухамадиев Абдукодир Нуралиевич

(доцент Самаркандского государственного университета имени Шарафа Рашидова)

E-mail: [ergashevadilsoz4@gmail.com](mailto:ergashevadilsoz4@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0002-7742-6267>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18986989>

**Аннотация.** В данной работе образцы активированного и неактивированного угля, полученные с использованием различных химических реагентов KOH и  $ZnCl_2$ , были исследованы методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR). Спектры были зарегистрированы в диапазоне волновых чисел  $4000-700\text{ см}^{-1}$ , а состав поверхностных функциональных групп и их изменения проанализированы сравнительным методом. Полученные результаты показали, что тип химического активирующего реагента оказывает существенное влияние на соотношение гидроксильных, карбонильных, ароматических и эфирных групп на поверхности угля. Установлено, что активация с использованием KOH способствует развитию ароматической структуры, тогда как активация с применением  $ZnCl_2$  обеспечивает сохранение кислородсодержащих функциональных групп.

**Ключевые слова:** активированный уголь, FTIR, KOH,  $ZnCl_2$ , поверхностные функциональные группы, ароматическая структура, кислородсодержащие группы.

**Abstract.** Abstract. In this study, activated and non-activated carbon samples obtained using different chemical reagents, namely KOH and  $ZnCl_2$ , were investigated by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The spectra were recorded in the wavenumber range of  $4000-700\text{ cm}^{-1}$ , and the composition of surface functional groups and their variations were comparatively analyzed. The results indicated that the type of chemical activating reagent has a significant effect on the proportion of hydroxyl, carbonyl, aromatic, and ether groups on the carbon surface. It was found that activation with KOH promotes the development of aromatic structures, whereas activation with  $ZnCl_2$  ensures the preservation of oxygen-containing functional groups.

**Keywords:** activated carbon, FTIR, KOH,  $ZnCl_2$ , surface functional groups, aromatic structure, oxygen-containing groups.

**Annotatsiya.** Ushbu ishda turli kimyoviy reagentlar KOH va  $ZnCl_2$  yordamida faollashtirilgan hamda aktivlanmagan ko‘mir namunalari Fourier-transform infraqizil spektroskopiya (FTIR) usuli bilan o‘rganildi. Spektrlar  $4000-700\text{ cm}^{-1}$  oralig‘ida qayd etilib, sirt funksional guruhlar tarkibi va ularning o‘zgarishi taqqosiy tahlil qilindi. Natijalar kimyoviy aktivator turi ko‘mir sirtidagi gidroksil, karbonil, aromatik va efir guruhlar nisbatiga sezilarli ta‘sirini ko‘rsatdi. KOH bilan faollashtirish aromatik strukturaning rivojlanishiga olib kelgan bo‘lsa,  $ZnCl_2$  bilan faollashtirish esa kislorodli funksional guruhlarining saqlanishini ta‘minlagan.

**Kalit so‘zlar:** Faollashtirilgan ko‘mir, FTIR, KOH,  $ZnCl_2$ , sirt funksional guruhlari, aromatik struktura, kislorodli guruhlar.

### Introduction

В настоящее время использование высокоэффективных адсорбционных материалов имеет важное значение при очистке промышленных сточных вод и вредных газов. Одним из широко применяемых материалов для этих целей является активированный уголь с развитой пористой структурой. Его высокая удельная поверхность, химическая стабильность и адсорбционная активность обеспечивают эффективное применение [1,2]. Адсорбционные свойства активированного угля зависят от химической природы функциональных групп, присутствующих на его поверхности, состав которых формируется в зависимости от типа применяемого химического активирующего реагента [3,4].

В процессе активации углеродных материалов на основе биомассы широко применяются такие химические реагенты, как гидроксид калия (KOH) и хлорид цинка ( $ZnCl_2$ ), которые

способствуют перестройке углеродного скелета, развитию ароматических структурных элементов и образованию кислородсодержащих функциональных групп [5,6]. В частности, при активации с использованием KOH наблюдается разложение алифатических структур и увеличение доли ароматических структур, тогда как при активации с применением  $ZnCl_2$  происходит обогащение поверхности кислородсодержащими функциональными группами [7]. Это приводит к увеличению полярности поверхности материала и определяет механизмы его взаимодействия с различными адсорбатами [8].

Одним из широко применяемых современных методов определения химической структуры поверхности активированного угля является инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR). С помощью данного метода выявляются гидроксильные (–OH), карбонильные (C=O), ароматические (C=C), алифатические (C–H) и эфирные (C–O) связи, а также оцениваются их интенсивность и распределение [9,10]. Результаты FTIR-анализа позволяют изучить структурные изменения, возникающие под воздействием различных химических реагентов, и научно обосновать адсорбционные свойства материала.

В связи с этим в данной работе образцы активированного угля, полученные с использованием различных химических реагентов, были исследованы методом инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR), а влияние типа активирующего реагента на состав поверхностных функциональных групп было проанализировано сравнительным образом.

### **Материалы и методы**

В качестве объекта исследования были использованы углеродные образцы, полученные на основе биомассы. Исходное сырьё подвергалось карбонизации в инертной среде, после чего проводился процесс химической активации. Для активации применялись растворы гидроксида калия (KOH) и хлорида цинка ( $ZnCl_2$ ). Импрегнированные образцы после сушки подвергались термической обработке при высокой температуре. После завершения процесса остатки реагентов удалялись путём промывки дистиллированной водой до достижения нейтрального значения pH. Высушенные образцы измельчались и подготавливались для FTIR-анализа.

FTIR-анализ проводился в диапазоне волновых чисел  $4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$  в режиме %Transmittance. Измерения выполнялись при спектральном разрешении  $4\text{ см}^{-1}$  с накоплением 20 сканов. На основе полученных спектров проводилась сравнительная оценка наличия и интенсивности поверхностных функциональных групп.

### **Результаты и обсуждение**

Спектры FTIR, полученные для трёх образцов — неактивированного угля (С), а также угля, активированного с использованием KOH и  $ZnCl_2$ , были сравнительно проанализированы в диапазоне волновых чисел  $4000\text{--}700\text{ см}^{-1}$ . Ниже приведены спектры каждого образца и их научная интерпретация.

В спектре неактивированного угля в диапазоне  $3400\text{--}3200\text{ см}^{-1}$  наблюдалась широкая полоса поглощения, соответствующая гидроксильным (–OH) группам, что свидетельствует о наличии фенольных соединений и адсорбированных молекул воды. В области  $2920\text{--}2850\text{ см}^{-1}$  были зарегистрированы колебания алифатических связей C–H, указывающие на присутствие алифатических фрагментов в составе биомассы. В диапазоне  $1700\text{--}1600\text{ см}^{-1}$  выявлены колебания карбонильных (C=O) и ароматических (C=C) связей, что свидетельствует о частично ароматизированной структуре угля. Кроме того, сигнал в области  $1200\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ , соответствующий связям C–O и C–O–C, подтверждает наличие эфирных и фенольных групп.

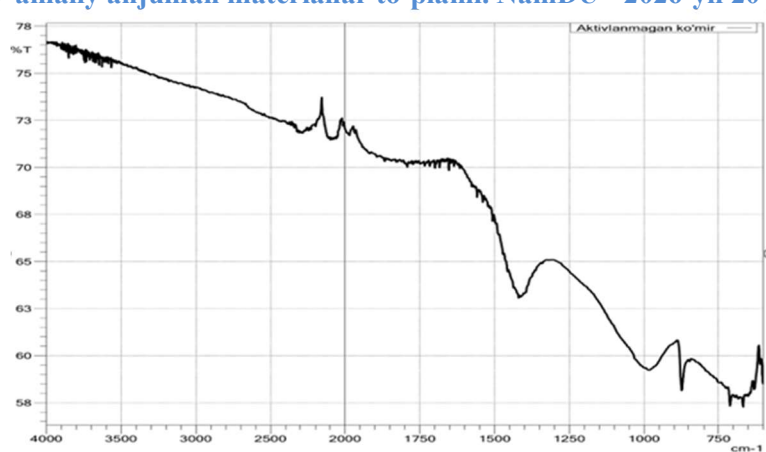


Рисунок 1. FTIR-спектр неактивированного образца угля (4000–700 см<sup>-1</sup>).

В спектре угля, активированного с использованием KOH, в диапазоне 3400–3200 см<sup>-1</sup> наблюдалось снижение интенсивности полосы поглощения, соответствующей гидроксильным (–OH) группам, что свидетельствует об их частичном разложении. Уменьшение интенсивности колебаний алифатических связей C–H в области 2920–2850 см<sup>-1</sup> указывает на сокращение алифатических фрагментов. Усиление колебаний ароматических связей C=C вблизи 1600 см<sup>-1</sup> свидетельствует о развитии ароматических структур. Кроме того, снижение интенсивности сигнала, соответствующего связям C–O в диапазоне 1200–1000 см<sup>-1</sup>, указывает на уменьшение содержания кислородсодержащих функциональных групп.

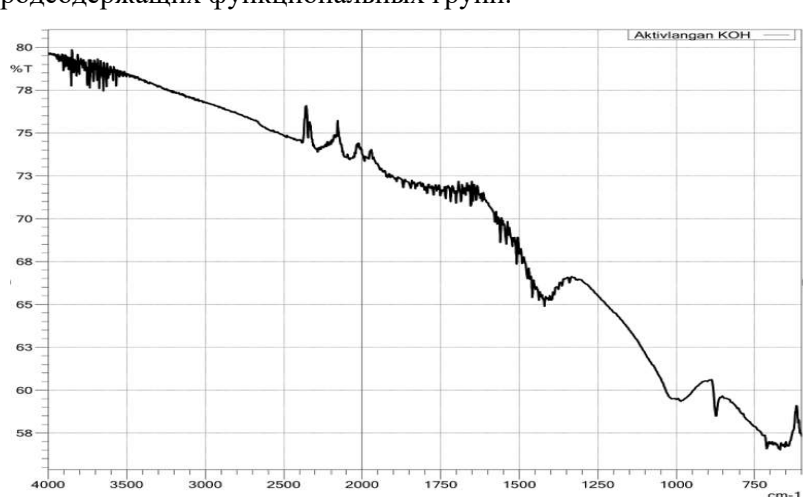
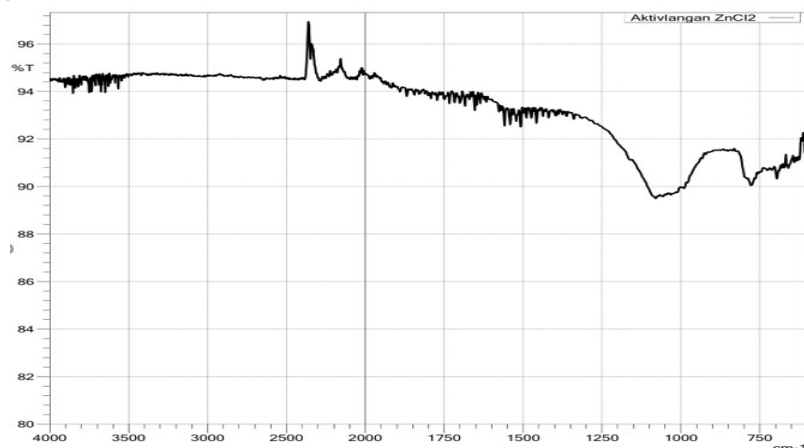


Рисунок 2. FTIR-спектр образца угля, активированного с использованием KOH (4000–700 см<sup>-1</sup>).

В спектре угля, активированного с использованием ZnCl<sub>2</sub>, полоса поглощения в диапазоне 3400–3200 см<sup>-1</sup>, соответствующая гидроксильным (–OH) группам, сохраняется, что свидетельствует о наличии кислородсодержащих функциональных групп на поверхности. Снижение интенсивности колебаний алифатических связей C–H в области 2920–2850 см<sup>-1</sup> указывает на разложение алифатических фрагментов. Более выраженный сигнал карбонильных групп (C=O) вблизи 1700 см<sup>-1</sup>, а также повышенная интенсивность полос, соответствующих связям C–O в диапазоне 1200–1000 см<sup>-1</sup>, свидетельствуют об увеличении полярности поверхности.



**Рисунок 3. FTIR-спектр образца угля, активированного с использованием  $ZnCl_2$  (4000–700  $cm^{-1}$ ).**

Результаты показали, что активация с использованием KOH приводит к разложению алифатических фрагментов и развитию ароматических структур, тогда как активация с применением  $ZnCl_2$  способствует сохранению на поверхности кислородсодержащих функциональных групп ( $-OH$ ,  $C=O$ ,  $C-O$ ). В связи с этим уголь, активированный с использованием KOH, может проявлять более высокую адсорбционную активность по отношению к ароматическим органическим соединениям, тогда как уголь, активированный с использованием  $ZnCl_2$ , к полярным соединениям и ионам металлов.

### Заключение

Результаты проведённого FTIR-анализа подтвердили, что процесс активации с использованием различных химических реагентов оказывает существенное влияние на состав поверхностных функциональных групп и химическую структуру угля. Установлено, что активация с применением KOH приводит к разложению алифатических фрагментов и развитию ароматических структур. В то же время активация с использованием  $ZnCl_2$  обеспечивает сохранение относительно большего количества кислородсодержащих функциональных групп на поверхности. В результате было выявлено, что тип применяемого активирующего реагента влияет на поверхностные свойства и адсорбционную активность угля, что указывает на важность выбора метода активации в зависимости от целевого адсорбата.

### Литература

1. Ergasheva D., Mukhamadiev A., Mukhamadiev N. Study of Texture and Sorption Characteristics of Activated Carbon Obtained from Apricot Kernel Shells // Central Asian Journal of Medical and Natural Science. – 2025. – Vol. 6, No. 2. – P. 790–794.
2. Ergasheva D., Mukhamadiyev A., Mukhamadiyev N., Uzokov J. Separation of Organic Dyes from Solutions Using Modified Activated Carbon // Samarkand State University Scientific Bulletin. – 2025. – Issue 3 (151/2). – Vol. 3, No. 174. – P. 5–10.
3. Ergashova D., Mukhamadiev A., Mukhamadiev N., Sayitkulov S., Radzhabov A. Reagent Activation of Activated Carbon Obtained from Walnut Shells and Its Textural Characteristics // Advanced Materials for Optics and Photonics: Chemistry and Engineering Perspectives (AMOP 2025): SPIE Proceedings. – 2025. – Vol. 14014. – P. 242–246.
4. Ergasheva D.R., Mukhamadiyev A.N., Mukhamadiyev N.Q., Uzokov J.R. Sorption Properties of Carbon Obtained by Pyrolysis and Activated with KOH // Namangan State University Scientific Bulletin. Chemistry Series. – 2025. – No. 9. – P. 72–77.
5. Bansal R.C., Goyal M. Activated Carbon Adsorption. – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 520 p.
6. Lua A.C., Yang T. Effects of activation temperature on the properties of activated carbon prepared from pistachio-nut shells // Journal of Colloid and Interface Science. – 2004. – Vol. 274. – P. 594–601.
7. Socrates G. Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts. – 3rd ed. – Chichester: Wiley, 2004. – 366 p..

**“Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral**

8. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage // Energy & Environmental Science. – 2014. – Vol. 7. – P. 1250–1280.