

observed. These phenomena are explained by the dependence of the process on the nature of the cations being exchanged.

#### **List of references.**

1. Tawfik A. Saleh, Mujahid Mustaqeem, Mazen Khaled Water treatment technologies in removing heavy metal ions from wastewater: A review. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management Volume 17, May 2022, 100617.  
<https://doi.org/10.1016/j.enmm.202.100617>
2. Drosos, M., et al. (2021). “Phosphate and Ammonium Removal from Wastewaters Using Natural-Based Innovative Bentonites.” Molecules, 26(21), 6684.
3. Mazumdar, A., & Mazumdar, P. (2021). “Determination of total Iron Content in Water Using UV-Vis Spectroscopy.” Journal of Environmental Chemical Analysis, 43(2), 112-118.
4. Li X., Wu D. Nanoclay Applications in Advanced Materials: Bentonite-Based Nanocomposites//Journal of Nanotechnology. 2025 №42(7), P.1312-1324.
5. Dinis, A., et al. (2020). “Application of Langmuir Adsorption Model for Removal of Heavy Metals.” Environmental Science and Pollution Research. 185(8), 452-465.
6. B.Travalia and S.Forte, “New proposal in a biorefinery context: recovery of acetic and formic acids by adsorption on hydrotalcites,” Journal of Chemical Engineering and Data, vol.65, no.9, pp. 4503-4511, 2020.

УДК 541.183:544.725

DOI: [https://doi.org/10.56122/.v2i2%20\(26\).453](https://doi.org/10.56122/.v2i2%20(26).453)

### **ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ АДСОРБЕНТОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ**

Усаров Озодбахт Бекназар ўғли – докторант Ташкентский химико-технологический институт  
Бобоев Одил Обиджон угли – докторант Ташкентский химико-технологический институт  
Нуруллаев Шавкат Пайзиевич - кандидат химических наук, профессор  
Ташкентский химико-технологический институт  
ORCID: 0000-0002-4573-0264

Алихонова Зухрихон Саитходжаевна - кандидат химических наук, доцент Ташкентский  
химико-технологический институт  
ORCID: 0000-0001-8958-5604

Ишметов Расул Жуманиязович - доктор технических наук, профессор  
Ташкентский химико-технологический институт, Узбекистан  
\*Университет Маъмуна, Ургенч, Узбекистан  
ORCID: 0009-0002-8123-5591, e-mail: alixonovazuxraxon22@gmail.com

#### **Аннотация**

В данной работе изучена инновационный метод процесса адсорбции с применением модифицированных адсорбентов марки **АКС-30** и **АКС-70** органических веществ (толуола, бензола, нитробензола и пиридина) из водных растворов. На основе полученных результатов рекомендован метод адсорбционной очистки промышленных сточных вод от органических загрязнений.

**Ключевые слова:** модификация, адсорбент, сорбция, органические вещества, энергия взаимодействия, пористые структуры, степень заполнения поры, изотерма адсорбции, уравнение Дубинина - Радускевича.

### **APPLICATION OF MODIFIED ADSORBENTS TO EXTRACT ORGANIC SUBSTANCES**

Usarov Azodbakht Beknazar Ugli - Doctoral student  
Boboev Odil Obidjon Ugli - PhD student

Nurullaev Shavkat Payzievich - candidate of chemistry science, professor Tashkent chemical and technological institute

ORCID: 0000-0002-4573-0264

Alikhonova Zuhrikhan Saitkhodjaevna - candidate of chemistry science, associate professor

ORCID: 0000-0001-8958-5604

Ishmetov Rasul Jumaniyazovich - doctor of technical science, professor  
Tashkent chemical and technological institute, Uzbekistan

\*Mamun University, Urgench, Uzbekistan

ORCID: 0009-0002-8123-5591

### Abstract

This paper examines an innovative adsorption method using modified AKS-30 and AKS-70 adsorbents for removing organic substances (toluene, benzene, nitrobenzene, and pyridine) from aqueous solutions. Based on the results obtained, a method for adsorption-based treatment of industrial wastewater from organic contaminants is recommended.

**Key words:** modification, adsorbent, sorption, organic substances, interaction energy, porous structures, degree of pore filling, adsorption isotherm, Dubinin-Radushkevich equation.

### Введение

В качестве сорбционных материалов органических веществ, в промышленности применяются различные синтетические и природные минеральные пористые материалы, такие как силикагелы, оксиды и гидрооксиды алюминия и железа, многие глинистые минералы [1-3]. При адсорбции органических веществ из водных растворов развития пористость не является достаточно признаком активности адсорбента и поэтому условия пригодности пористых материалов для адсорбции органических веществ, растворенных в воде, требуют специального обсуждения.

Нами рассмотрен перспективность применения для очистки водных ресурсов от растворенных органических веществ модифицированных, относительно дешевых и стойких пористых материалов на основе Навбахорского бентонита и Ангренского каолина. Прежде всего следует обратить внимание на то, что все минеральные адсорбенты в значительной степени гидрофильны [4-5]. На поверхности этих сорбционных материалов находятся функциональные группы, образующие с молекулами воды прочные водородные связи [6]. Средняя энергия таких водородных связей составляет около 25-40 кДж/моль. Удерживание у поверхности модифицированных адсорбентов молекул органических веществ обусловлено преимущественно дисперсионными взаимодействием с поверхностными атомами адсорбента. Величина энергии дисперсионного взаимодействия каждого из углеродных атомов молекулы. Прилегающих к атомам поверхности модифицированных адсорбентов, по различным оценкам составляет 2,5-4,0 кДж/моль.

Следовательно, для молекул, контактирующих с адсорбентом 6-10 углеродными атомами, эта энергия может быть приближенно равен величину 25-40 кДж/моль.

### Методика исследования

Все адсорбенты по характеру пористости подразделены на четыре типа: *непористые, однородно-крупнопористые, однородно-мелкопористые и неоднородно-пористые*. Только непористые и однородно-крупнопористые адсорбенты могут быть достаточно полно охарактеризованы удельной поверхностью и только для них могут вычислены абсолютные изотермы адсорбции, где величина адсорбции отнесена к единице поверхности (например, выражена в ммоль/м<sup>2</sup>) [8]. Пористую структуру модифицированных адсорбентов для адсорбции растворённых органических веществ по значению заполнения степени объёма адсорбционного пространства микропор, определяя дифференциальной молярной работы ( $\theta$ ) адсорбции по уравнению:

$$\theta = \exp \left[ - \left( \frac{A}{E} \right)^n \right] \quad (1),$$

где A - уменьшение энергии Гиббса (свободной энергии), который равен

$$A = RT \ln \frac{P_s}{P} \quad (2),$$

здесь,  $E$ -параметр функции распределения, т.е. характеристическая энергия адсорбции,  $\theta$ -степень заполнения адсорбционной фазы, равная  $a/a_\infty$ ;  $n$ -целое число, преимущественно 1,2,3;  $p$  - равновесное давление;  $P_s$  - давление насыщенного пара;  $a$  - удельная адсорбция.

Независимо от значения  $n$  характеристические кривые имеют две общие точки: при  $\theta=1$   $a = a_\infty$  и при  $\theta=0,370$   $E=A$ .

Характеристическую энергию  $E$  легко найти из углового коэффициента уравнения

$$\lg a = \lg a_\infty - 0,434 \left( \frac{A}{E} \right)^n \quad (3).$$

При адсорбции из растворов уравнение Дубинина - Радushкевича (3) может быть использовано как в виде

$$\lg a = \lg a_\infty - 2,303 \frac{R^2 T^2}{E^2} \left( \lg \frac{C_s}{C} \right)^2 \quad (4),$$

где  $C$ -концентрация (моль/кг);  $C_s$ -концентрация насыщенного раствора, моль/м<sup>2</sup>;  $E$ -характеристическая энергия,  $R$ -универсальная газовая постоянная.

### Результаты и их обсуждение

На рис-1 в координатах уравнения Дубинина-Радushкевича приведены изотермы адсорбции толуола, бензола, нитробензола и пиридина из водных растворов модифицированным адсорбентом АКС-30. Как видно из результатов опытов значения удельной адсорбции при температуре  $T=303$  К для всех перечисленных выше органических веществ практически совпадают.

Общим свойством этих органических веществ является то, что между их молекулами в адсорбционном состоянии либо отсутствует взаимодействие, либо оно мало изменяется с заполнением адсорбционного объема. Отсутствие взаимодействия между адсорбированными молекулами является одним из основных условий применимости теории объемного заполнения пор для случая адсорбции паров. Общим свойством рассмотренных веществ является их слабая растворимость в воде, что указывает на относительно слабое взаимодействие их молекул с молекулами воды как в растворе, так и в адсорбированном состоянии.

Избирательная адсорбция из водного раствора возможно лишь в том случае, если разность энергии адсорбционного взаимодействия молекул растворенного вещества и энергии гидратации молекул.

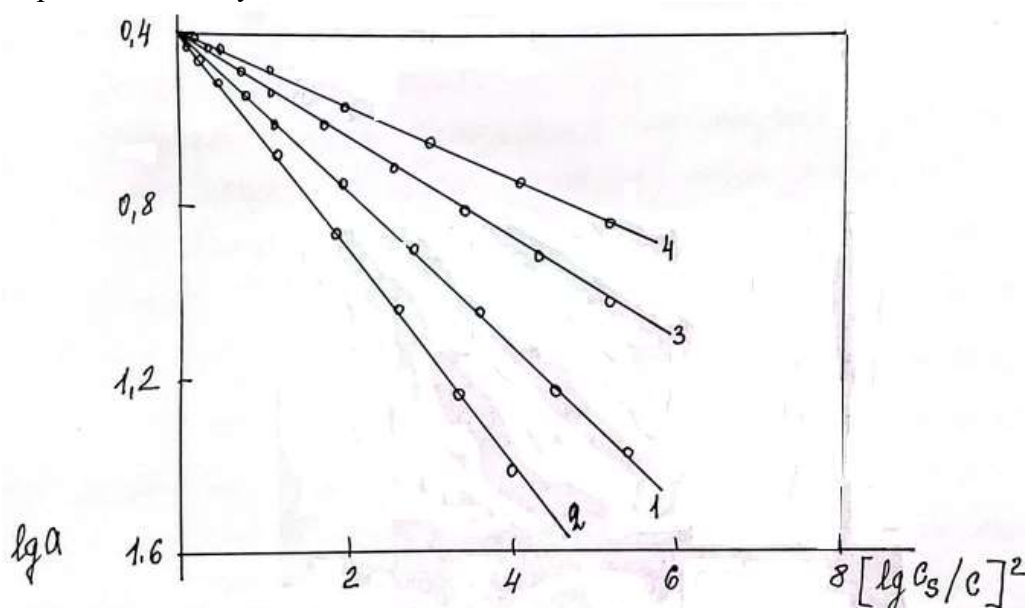


Рис.1. Изотермы адсорбции толуола (1), бензола (2), нитробензола (3) и пиридина (4) на модифицированных адсорбента АКС-30 из водных растворов.

При этом условием избирательной адсорбции растворенного органического вещества является неравенство значение энергии Гиббса ( $\Delta G$ ). Если в воде растворено вещество, являющееся органическим электролитом, то появление заряда на ионизированной молекуле, вызывая ориентацию вокруг него диполей воды, сильнее всего влияет на энергию взаимодействия. На рис.2. и 3. приведены изотермы адсорбции производных бензола из водных растворов в области рН, соответствующей степени ионизации  $\alpha = 1$  при тех значениях рН, когда ионизации молекул полностью подавлена  $\alpha = 0$ . Из результатов опытов определена, что ионизация молекул действительно уменьшает процесса адсорбцию растворенных веществ во много раз. При этом следует обратить внимание на то, что адсорбция ионизированных молекул производных бензола на АКС-30 (а) и АКС-70 (б) не зависит от знака заряда ионов. Как органические анионы, так и органические катионы примененных адсорбентах хорошо адсорбируются.

Экспериментально выявлено различие в поведении органических и неорганических ионов. Это указывает на то, что адсорбция органических ионов на адсорбентах АКС-30 и АКС-70 осуществляется не за счет электростатического взаимодействия их зарядов с зарядами ионизированных функциональных групп, находящихся на поверхности адсорбентов, а является, как и адсорбция неионизированных молекул, следствием дисперсионного взаимодействия углеродных радикалов ионов с атомами адсорбентов.

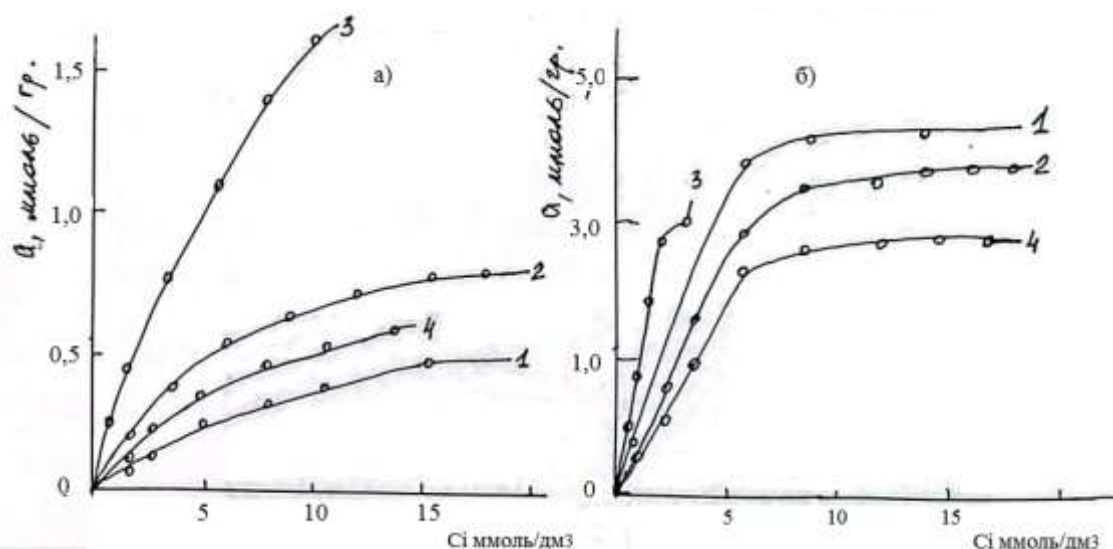


Рис.2. Изотермы адсорбции ионов при  $\alpha = 1$  (а) и молекул при  $\alpha = 0$  (б) производных бензола из водных растворов модифицированным адсорбентом АКС-30: 1-анилин; 2-п-хлоранилин; 3-п-нитроанилин; 4-сали-циловая кислота.

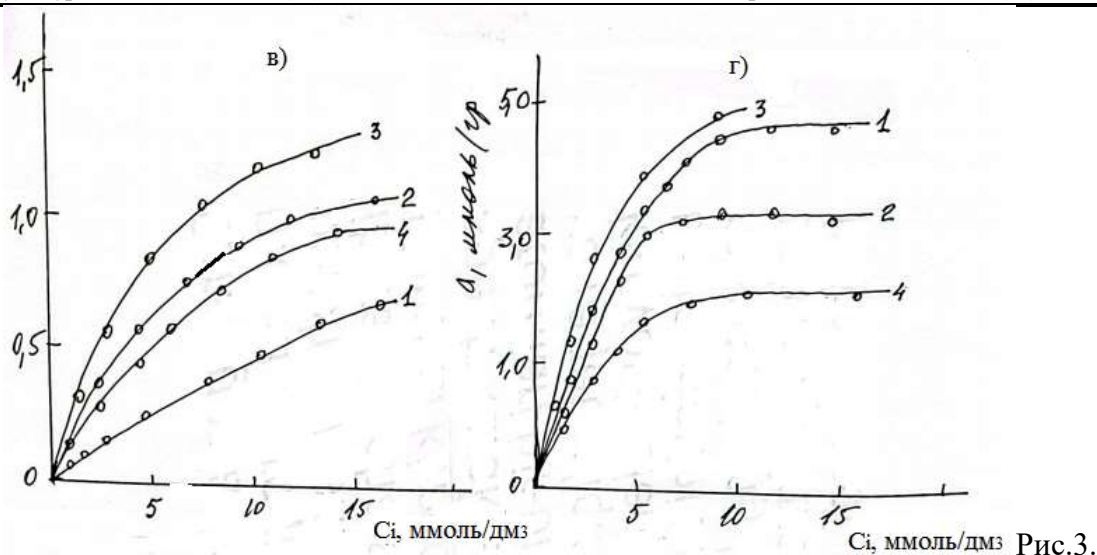


Рис.3.

Изотермы адсорбции ионов при  $\alpha = 1$  (а) и молекул при  $\alpha = 0$  (б) производных бензола из водных растворов модифицированным адсорбентом АКС-70: 1-анилин; 2-п-хлоранилин; 3-п-нитроанилин; 4-салициловая кислота.

### Закключение

Таким образом на основе проведенных исследований можно рекомендовать метод адсорбционной очистки промышленных сточных вод от органических загрязнений или очистки и дезодорации воды, забираемой из открытых водоемов для нужд технического и хозяйственно - питьевого водоснабжения с применением модифицированных адсорбентов АКС-30 и АКС-70. При адсорбции органических веществ из водных растворов энергия адсорбционного взаимодействия молекул органического вещества с углеродными атомами сорбентов значительно превышает энергию взаимодействия этих атомов с молекулами воды. Вследствие этого при объемном заполнении микропор адсорбированные молекулы воды оказываются в центральной части пространство поры, тогда как молекулы органического вещества удерживаются у периферии вблизи углеродных атомов.

### Список литературы.

1. Tawfik A. Saleh, Mujahid Mustaqeem, Mazen Khaled Water treatment technologies in removing heavy mtal ions from wastewater: A review. Enviromental Nanotechnology, Monitoring & Management Volume 17, May 2022, 100617.
2. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.202.100617>
3. Drosos, M., et al. (2021). “Phosphate and Ammonium Removal from Wastewaters Using Natural-Based Innuvative Bentonites.” Molecules, 26(21), 6684.
4. Mazumdar, A., & Mazumdar, P. (2021). “Determination of total Iron Content in Water Using UV-Vis Spectroscopy.” Journal of Environmental Chemical Analysis, 43(2), 112-118.
5. Li X., Wu D. Nanoclay Applications in Advanced Materials: Bentonite-Based Nanocomposites//Journal of Nanotechnology. 2025 №42(7), P.1312-1324.
6. Dinis, A., et al. (2020). “Application of Langmuir Adsorption Model for Removal of Heavy Metals.” Environmental Science and Pollution Research. 185(8), 452-465.
7. B.Travalia and S.Forte, “New proposal in a biorefinery context: recovery of acetic and formic acids by adsorption onhydrotalcites,” Journal of Chemical Engineering and Data, vol.65, no.9, pp. 4503-4511, 2020.
8. А.Исмаилов, Ш.П.Нуруллаев, З.С.Алихонова, И.Пузматов. Waste from wood processing products for obtaining composite sorption materials. Spanish journal of innovation and integrity. JSSN: 2792-8268, Volume: 36, November, 2024, page 60-66.
9. Д.К.Хандамова, Ш.П.Нуруллаев, Р.Ж.Ишметов, М.Мамажонов, Т.Ибрагимов. Модификацияланган органобентонитларнинг темир ионларини адсорбциялаш кобилиятини баҳолаш: Ленгмюр модели самарадорлиги ва изотерма моделларининг таққосий таҳлили. Журнал-ЎзМУ Хабарлари, Т.,-2025, № 3/1, -314-318 бетлар.