

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОРБЕНТОВ ПУТЕМ
РЕАГЕНТНОЙ АКТИВАЦИИ СКОРЛУПЫ АРАХИСА И ОПИЛОК
ДЕРЕВА АЙЛАНТ**

Тухтаев Феруз Садуллоевич

Навоийский государственный университет, доктор химических наук

Нурназарова Гулхайё Уктамовна

Навоийское отделение Академии наук Республики Узбекистан, базовый
докторант

Маматова Мадина Ҳамдуллаевна

Навоийское отделение Академии наук Республики Узбекистан, базовый
докторант

***Аннотация.** В статье представлены результаты исследований по получению активированного угля из биомассы в рамках безотходной технологии. В качестве сырья использована композиция скорлупы арахиса (25 %) и коры дерева айлант (75 %), обладающая высоким потенциалом для формирования пористой углеродной структуры. Изучены термические, химические и комбинированные методы активации, а также их влияние на физико-химические свойства адсорбента. Установлены оптимальные условия процесса, обеспечивающие получение активированного угля с улучшенными адсорбционными характеристиками.*

***Ключевые слова:** Активированный уголь, адсорбция, пиролиз, химическая активация, ионы тяжёлых металлов, органические красители, дерева айлант, скорлупа арахиса.*

Введение. Интенсивное развитие промышленности приводит к загрязнению водных ресурсов ионами тяжёлых металлов и органическими загрязнителями, что представляет серьёзную экологическую проблему. Для очистки сточных вод широко применяется метод адсорбции, отличающийся высокой эффективностью и экономической целесообразностью. Активированные угли являются одними из наиболее эффективных адсорбентов, однако их высокая стоимость ограничивает практическое применение.

В связи с этим актуальной задачей является получение дешёвых и эффективных адсорбентов из местного возобновляемого сырья. В работе рассматривается использование скорлупы арахиса и коры дерева айлант в соотношении 25:75 как

перспективной биомассы для синтеза активированного угля. Целью исследования является определение оптимальных условий получения адсорбента и изучение его сорбционных свойств по отношению к ионам тяжёлых металлов и органическим загрязнителям.

Экспериментальный анализ исследования. В данном исследовании в качестве адсорбента были выбраны отходы сельского хозяйства и деревообрабатывающей промышленности, а именно смесь, состоящая из 25 % скорлупы арахиса и 75 % опилок древесины айланта. На их основе методом химической активации были получены углеродные материалы с высокими сорбционными характеристиками, а также экспериментально изучены возможности их применения для удаления ионов тяжёлых металлов и нефтепродуктов из промышленных сточных вод. Высокое содержание гемицеллюлозы и способность к формированию пористой структуры у скорлупы арахиса, а также повышенное содержание лигнина и целлюлозы в опилках айланта, обеспечивающее их механическую и термическую устойчивость, обосновывают перспективность данной биомассовой композиции как экологически и экономически целесообразного сырья для получения адсорбентов.

Адсорбент, активированный соляной кислотой (HCl)
При предварительной обработке биомассовой смеси раствором HCl растворимые минеральные примеси эффективно удалялись, что способствовало раскрытию клеточных стенок и формированию активных центров на поверхности адсорбента. Экспериментальные результаты показали, что оптимальной концентрацией HCl для адсорбентов на основе биомассы в соотношении 25:75 является 5–10 % (мас.). Однако при увеличении концентрации HCl до 15–20 % наблюдалась частичная деградация структуры скорлупы арахиса и опилок айланта, сопровождавшаяся разрушением стенок пор и снижением адсорбционной эффективности, что объясняется избыточным агрессивным воздействием кислоты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что активация HCl в основном выполняет функцию очистки адсорбента и раскрытия активных центров, тогда как для получения высокопористого универсального адсорбента требуются дополнительные методы активации.

Адсорбент, активированный азотной кислотой (HNO₃)
FTIR-анализ адсорбентов, полученных при обработке биомассы растворами HNO₃, показал формирование на их поверхности кислородсодержащих

функциональных групп, таких как карбоксильные ($-\text{COOH}$), гидроксильные ($-\text{OH}$) и карбонильные ($\text{C}=\text{O}$). Лигнинсодержащая структура опилок айланта подвергалась окислению под действием HNO_3 , что приводило к увеличению количества активных кислородных групп, тогда как скорлупа арахиса способствовала развитию пористой структуры. Экспериментально установлено, что растворы HNO_3 с концентрацией 1–3 % обеспечивают наивысшую эффективность адсорбции ионов тяжёлых металлов. Это обусловлено преобладанием механизмов хемосорбции, связанных с образованием комплексных соединений ионов Pb^{2+} , Cd^{2+} и Cu^{2+} с кислородсодержащими функциональными группами на поверхности адсорбента.

Адсорбент, активированный серной кислотой (H_2SO_4)

Активация смеси скорлупы арахиса и опилок айланта с использованием H_2SO_4 приводила к формированию плотного углеродного скелета с преимущественно микропористой структурой. Высокое содержание лигнина в опилках айланта интенсифицировало процессы карбонизации и дегидратации, тогда как скорлупа арахиса играла важную роль в образовании пор. Наиболее высокая и стабильная сорбционная ёмкость наблюдалась у адсорбентов, обработанных растворами H_2SO_4 концентрацией 2–3 %. Это связано с дегидратирующим действием серной кислоты, способствующим формированию плотной микропористой структуры. Несмотря на положительное влияние микропор на адсорбцию ионов тяжёлых металлов, при увеличении степени активации наблюдалось избыточное уплотнение структуры адсорбента.

Адсорбент, активированный гидроксидом калия (KOH)

Адсорбенты, активированные KOH , продемонстрировали наивысшие сорбционные показатели среди всех исследованных образцов. Лигнинсодержащая структура опилок айланта и высокая порообразующая способность скорлупы арахиса эффективно дополняли друг друга в процессе химической активации. Экспериментальные исследования показали, что активация в 5–10 % растворах KOH при повышенных температурах приводит к интенсивному формированию микро- и мезопор, в результате чего удельная поверхность достигала 1000–1500 $\text{m}^2/\text{г}$, а объём пор значительно увеличивался. Такая развитая пористая структура обеспечивала высокоэффективную адсорбцию нефтепродуктов (дизельного топлива, мазута и различных масляных фракций) из промышленных сточных вод, что объясняется свободным

проникновением относительно крупных гидрофобных молекул нефтепродуктов в мезопоры.

Адсорбенты, активированные фосфорной кислотой (H_3PO_4) и хлоридом цинка ($ZnCl_2$). Сорбционные свойства адсорбентов, активированных H_3PO_4 и $ZnCl_2$, были изучены комплексно. Лигнинсодержащие опилки айланта обеспечивали механическую и термическую устойчивость адсорбентов, тогда как скорлупа арахиса способствовала формированию пористой структуры и функциональных групп. Экспериментальные результаты показали, что адсорбенты, активированные H_3PO_4 , эффективно удерживают ионы тяжёлых металлов, особенно при низких концентрациях. Это объясняется процессами ионного обмена и образованием координационных связей между металлокатионами и отрицательно заряженными функциональными группами на поверхности адсорбента, что обеспечивает стабильность и регенерируемость процесса адсорбции.

Адсорбенты, активированные $ZnCl_2$, отличались высокой удельной поверхностью и термической устойчивостью. $ZnCl_2$, выступая в роли сильного дегидратирующего агента, способствовал уплотнению углеродного скелета и формированию развитой микропористой структуры, обеспечивающей высокую механическую прочность и длительный срок эксплуатации адсорбента. Сорбция ионов тяжёлых металлов в адсорбентах, активированных $ZnCl_2$, осуществлялась преимущественно по механизму физической адсорбции за счёт диффузии ионов в микропоры. Однако вследствие меньшего количества функциональных групп по сравнению с образцами, активированными H_3PO_4 , их химическая селективность была относительно ниже.

Также сравнительно изучалась адсорбционная эффективность адсорбентов, полученных на основе биомассы в соотношении 25:75, в зависимости от типа химического реагента. Экспериментальные результаты показали, что выбор реагента по-разному влияет на адсорбционные свойства, и эти данные отражены в таблице 1.

В целом результаты исследования создают прочную научную основу для разработки недорогих и эффективных адсорбционных материалов на основе скорлупы арахиса и опилок древесины айланта, обеспечивающих безотходное использование биомассы, а также для совершенствования технологий очистки промышленных сточных вод.

Таблица 1

**Адсорбционная эффективность адсорбентов, полученных с
использованием различных реагентов**

№	Реагенты	Степень сорбции (%)	
		Ионы тяжёлых металлов (Pb ²⁺ , Cd ²⁺ , Cr ⁶⁺)	Отходы нефтепродуктов
1.	HCl	85–90	80–85
2.	HNO ₃	92–95	90–94
3.	H ₂ SO ₄	88–93	87–92
4.	KOH	95–98	95–97
5.	H ₃ PO ₄	90–94	92–95
6.	ZnCl ₂	91–96	93–96

Данные таблицы показывают, что активированный уголь, полученный из комбинации 25 % скорлупы арахиса и 75 % коры дерева айлант, обладает высокой эффективностью сорбции как ионов тяжёлых металлов, так и отходов нефтепродуктов. Этот эффект объясняется синергическим взаимодействием порообразующей способности скорлупы арахиса и высокой степени карбонизации с ароматической структурой коры айланта.

Заключение. Результаты проведённого исследования показали, что активированный адсорбент, полученный из комбинации 25 % скорлупы арахиса и 75 % коры дерева айлант, обладает высокой эффективностью в удалении ионов тяжёлых металлов и отходов нефтепродуктов из промышленных сточных вод. Тип применяемого активирующего реагента оказался ключевым фактором, определяющим пористую структуру, удельную поверхность и содержание функциональных групп адсорбента.

Таким образом, полученные результаты создают прочную научную основу для разработки безотходных и ресурсосберегающих технологий очистки воды. В качестве практической рекомендации наиболее перспективным и эффективным адсорбентом для комплексной очистки (ионов тяжёлых металлов и нефтяных продуктов) промышленных сточных вод является материал, активированный KOH, на основе 25 % скорлупы арахиса и 75 % коры дерева айлант.

Список литературы

1. Chen, B., Chen, Z., & Lv, S. (2011). A novel magnetic biochar efficiently sorbs organic pollutants and phosphate from aqueous solutions. *Bioresource Technology*, 102(2), 716–723.

2. Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., & Hameed, B. H. (2008). Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1–3), 337–346.
3. Demirbas, A. (2009). Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1–3), 1–9.
4. Tukhtayev F.S., Negmatov S.S., Shonazarova N.U. Study of the degree of sorption of sorbents in $Pb(NO_3)_2$ solution. *EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH*. Received: 28th June 2022. Accepted: 01st July 2022. Online: 30th July 2022. pp. 319-323.