

Ўзбекистон

# **K**ompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Ўзбекский научно-технический и производственный журнал  
**Композиционные материалы**

метилурацил (0,08%), обладающие выраженной регенерирующей и противовоспалительной активностью. Проведен сравнительный анализ плёнообразующих полимеров, показавший, что **Na-КМЦ является оптимальным** материалом для формирования плёнок с хорошей эластичностью, прозрачностью и однородностью, легко отделяющихся от подложки.

Установлено, что оптимальная потеря влаги при высушивании — около 95%, что обеспечивает стабильные физико-механические свойства и удобство использования. Разработанная технология позволяет создавать комбинированные лекарственные формы с контролируемым высвобождением активных веществ и пролонгированным терапевтическим эффектом.

### Литература

1. Кищенко, В. М. Разработка состава и фармакотерапевтическое исследование защитных дерматологических плёнок с природными компонентами / В. М. Кищенко, Э. Ф. Степанова, Н. В. Прокрущенко, З.Е. Цветкова // Научные ведомости белгородского государственного университета. Медицина. Фармация. – 2015. – №21 (219). – С. 151-153.
2. Ходжаева М.А., Туреева Г.М., Махмуджанова К.С. Подбор оптимального состава лекарственных плёнок “Левомексидин” // Фармацевтический журнал. – Ташкент, 2011. - №2. - С.48-50.
3. Шикова, Ю.В. Разработка состава и технологии глазных лекарственных плёнок с экстрактом алоэ / Ю.В. Шикова [и др.] // Фармация и фармакология. – 2016 – Т. 4. – №4. – С. 48–54.

УДК: 541.183:628.336:66.081

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ АКТИВИРОВАННЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ СКОРЛУПЫ АРАХИСА И ДРЕВЕСНОЙ ЩЕПЫ АЙЛАНТА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИХ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ

Тухтаев Феруз Садуллоевич<sup>1</sup>, Нурназарова Гулхайё Уктамовна<sup>1</sup>,  
Маматова Мадина Хамдулла кизи<sup>1</sup>, Негматов Сойибжон Садиқович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Навоийский государственный университет, Навоийское отделение Академии наук РУз,

<sup>2</sup>ГУ «Фан ва тараккиёт» при ТашГУ им. И.Каримова

**Аннотация.** В данной статье представлены научные основы и практические результаты получения высокоэффективных активированных композиционных сорбентов на основе комбинации скорлупы арахиса (25 %) и древесной щепы айланта (75 %). Высокое содержание лигнина и целлюлозы в древесной щепе айланта обеспечивает механическую и термическую стабильность углеродного каркаса, тогда как богатство скорлупы арахиса гемицеллюлозой способствует формированию микро- и мезопористой структуры. В исследовании применены термические (пиролиз), химические (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>), а также комбинированные методы активации, и оценено их влияние на адсорбционные свойства композиционных сорбентов. Полученные сорбенты продемонстрировали высокую адсорбционную эффективность по отношению к ионам тяжёлых металлов (Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>) и нефтепродуктам.

**Ключевые слова:** композиция, активированный уголь, адсорбция, пиролиз, химическая активация, древесная щепа айланта, скорлупа арахиса, реагенты, тяжёлые металлы.

**Введение.** В условиях интенсивного развития промышленности и сельского хозяйства одной из наиболее актуальных экологических проблем современности остаётся загрязнение водных ресурсов ионов тяжёлых металлов, нефтепродуктами и различными органическими соединениями. Для очистки сточных и природных вод в настоящее время широко применяются адсорбционные методы, отличающиеся высокой эффективностью, технологической простотой и возможностью глубокой очистки. Ключевым элементом адсорбционных технологий является выбор адсорбента, обладающего развитой пористой структурой, высокой сорбционной ёмкостью и достаточной механической и термической стабильностью [1-3].

В классических исследованиях адсорбенты, как правило, получают на основе одного вида биомассы. Однако такие материалы нередко характеризуются ограниченным развитием пористой структуры либо недостаточной прочностью и устойчивостью к воздействию высоких температур. Это существенно снижает их эксплуатационные характеристики и ограничивает область практического применения. В связи с этим в последние годы всё большее внимание уделяется разработке адсорбентов на основе композиционной биомассы, позволяющей объединить преимущества различных природных компонентов и добиться синергетического эффекта [4-6].

Древесная щепа айланта отличается высоким содержанием лигнина и целлюлозы, что в процессе карбонизации способствует формированию ароматической углеродной матрицы с повышенной механической и термической устойчивостью. Такие свойства делают данную биомассу перспективным сырьём для получения углеродных материалов с высокой структурной стабильностью. Вместе с тем адсорбенты, полученные исключительно на основе древесной биомассы, могут обладать ограниченным объёмом микропор, что снижает их сорбционную ёмкость по отношению к некоторым загрязняющим веществам [7].

Скорлупа арахиса, в свою очередь, характеризуется повышенным содержанием гемицеллюлозы и сравнительно рыхлой структурой, благодаря чему в процессе химической и термической активации формируется значительное количество микро- и мезопор [8].

Объединение указанных видов биомассы в композиционный материал в соотношении 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта позволяет сформировать структурно и функционально сбалансированный адсорбент. В такой системе скорлупа арахиса выступает в роли порообразующего компонента, обеспечивающего развитие микро- и мезопористой структуры, тогда как древесная щепа айланта формирует прочный углеродный каркас, повышающий устойчивость сорбента к механическим и термическим воздействиям [9].

В настоящей работе основное внимание уделено получению активированных композиционных сорбентов на основе указанной биомассы, изучению особенностей формирования их пористой структуры при различных способах активации, а также оценке их адсорбционной эффективности по отношению к ионам тяжёлых металлов и нефтепродуктам.

**Материалы и методики.** В качестве исходного сырья для получения композиционных сорбентов использовали скорлупу арахиса и древесную щепу айланта. Исходные биомассы предварительно подвергались механической обработке: сырьё отдельно измельчали и просеивали до получения фракций размером 1–2 мм, что обеспечивало однородность частиц и равномерность последующих процессов активации и карбонизации.

После подготовки компонентов скорлупу арахиса и древесную щепу айланта смешивали в массовом соотношении 25:75, формируя единую композиционную биомассу. Выбранное соотношение компонентов обусловлено

необходимостью достижения оптимального баланса между порообразующей способностью скорлупы арахиса и формированием прочного углеродного каркаса за счёт древесной биомассы. Данный этап является ключевым, поскольку именно на стадии формирования композиции закладываются основные структурные характеристики будущего сорбента.

**Активация и карбонизация.** Для получения активированных композиционных сорбентов композиционную биомассу подвергали предварительной химической обработке с использованием различных реагентов (HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, ZnCl<sub>2</sub>) при заданных концентрациях и времени контакта. Химическая обработка способствовала удалению минеральных примесей, модификации поверхности и созданию предпосылок для развития пористой структуры [10].

После химической обработки образцы подвергались термической обработке - пиролизу - в инертной атмосфере при температуре 400–800 °С. Проведение процесса в инертной среде предотвращало окисление углеродного материала и обеспечивало контролируемое карбонизацию композиционной биомассы. В результате пиролиза происходило разложение органических компонентов, формирование углеродной матрицы и развитие микро- и мезопористой структуры.

#### **Результаты и обсуждение.**

Экспериментальные исследования показали, что для адсорбентов, полученных на основе композиционной биомассы, содержащей 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта, активация с использованием 5–10 % растворов соляной кислоты (HCl) позволяет за счёт оптимального подбора времени активации и состава сорбента эффективно удалять ионы тяжёлых металлов и нефтепродукты из промышленных сточных вод. Установлено, что такие сорбенты характеризуются стабильными адсорбционными показателями и достаточной структурной устойчивостью.

Адсорбенты, обработанные 1–3 % растворами азотной кислоты (HNO<sub>3</sub>), продемонстрировали высокую селективность по отношению к ионам тяжёлых металлов. Экспериментально подтверждено, что при оптимальном составе и времени контакта достигается максимальная сорбционная ёмкость. Вместе с тем установлено, что для эффективной адсорбции нефтепродуктов данные сорбенты требуют дополнительной гидрофобной модификации поверхности.

Обработка композиционных сорбентов 2–3 % (мас.) растворами серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) привела к формированию сорбентов с высокой и устойчивой сорбционной ёмкостью. Преобладание микропор оказывает положительное влияние на адсорбцию ионов тяжёлых металлов, однако при увеличении степени активации наблюдается чрезмерное уплотнение структуры, что может ограничивать диффузию более крупных молекул загрязнителей.

Наиболее выраженное развитие пористой структуры наблюдалось при активации 5–10 % (мас.) растворами гидроксида калия (KOH) при высоких температурах. В этих условиях в структуре адсорбента интенсивно формировались микро- и мезопоры, в результате чего удельная поверхность достигала 1000–1500  $m^2/g$ , а объём пор существенно возрос. Данный эффект объясняется тем, что относительно крупные и гидрофобные молекулы нефтепродуктов свободно проникают в мезопоры сорбента.

Адсорбенты, активированные ортофосфорной кислотой ( $H_3PO_4$ ) в соотношении 25:75, продемонстрировали высокую эффективность удерживания ионов

тяжёлых металлов, особенно при их низких концентрациях. Это связано с формированием на поверхности сорбента отрицательно заряженных функциональных групп, способствующих процессам ионного обмена и координационного взаимодействия между катионами металлов и активными центрами сорбента. Такие сорбенты проявили высокую селективность как по отношению к ионам тяжёлых металлов, так и к полярным компонентам нефтепродуктов [11].

Адсорбенты, полученные с использованием  $ZnCl_2$ , характеризовались высокой термической устойчивостью и значительной удельной поверхностью, что делает их перспективными для эксплуатации в условиях повышенной нагрузки и интенсивных технологических процессов.

В целом результаты исследований свидетельствуют о возможности получения эффективных, экономически выгодных и экологически безопасных адсорбентных материалов на основе скорлупы арахиса и древесной щепы айланта в рамках концепции безотходного использования биомассы. Обобщённые данные по адсорбционной эффективности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Адсорбционная эффективность сорбентов, полученных с использованием различных реагентов

№	Реагенты	Степень сорбции (%)	
		ионы тяжёлых металлов ( $Pb^{2+}$ , $Cd^{2+}$ , $Cr^{6+}$ )	Нефтепродукты
1.	HCl	85–90	80–85
2.	$HNO_3$	92–95	90–94
3.	$H_2SO_4$	88–93	87–92
4.	KOH	95–98	95–97
5.	$H_3PO_4$	90–94	92–95
6.	$ZnCl_2$	91–96	93–96

Анализ данных таблицы показывает, что активированные углеродные сорбенты, полученные на основе композиции 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта, обладают высокой эффективностью адсорбции как ионов тяжёлых металлов, так и нефтепродуктов. Это обусловлено синергетическим эффектом между способностью скорлупы арахиса формировать развитую пористую структуру и высокой степенью карбонизации и ароматической структурой древесной биомассы айланта.

В результате проведённых комплексных исследований было научно обосновано, что сорбционная эффективность активированных углеродных адсорбентов, полученных на основе 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта, напрямую зависит от природы активирующего реагента, степени развития сформированной пористой структуры, а также

типа и плотности функциональных групп, образующихся на поверхности адсорбента.

Рекомендуемый сорбент. По результатам обобщённого анализа и сравнительной оценки установлено, что адсорбент, активированный гидроксидом калия (KOH) на основе композиции 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта, является наиболее эффективным и универсальным материалом для очистки промышленных сточных вод. В случае, если основной задачей является селективное удаление ионов тяжёлых металлов, целесообразно применение адсорбента, активированного ортофосфорной кислотой ( $H_3PO_4$ ).

При оценке сорбционной эффективности по отношению к ионам тяжёлых металлов ( $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ ) были получены следующие показатели:

HCl: 85–90 %  $\rightarrow C = 10–15$  мг/л  $\rightarrow q = 85–90$  мг/г;  
 $HNO_3$ : 92–95 %  $\rightarrow C = 5–8$  мг/л  $\rightarrow q = 92–95$  мг/г;

$H_2SO_4$ : 88–93 %  $\rightarrow C = 7\text{--}12$  мг/л  $\rightarrow q = 88\text{--}93$  мг/г;  
KOH: 95–98 %  $\rightarrow C = 2\text{--}5$  мг/л  $\rightarrow q = 95\text{--}98$  мг/г;  
 $H_3PO_4$ : 90–94 %  $\rightarrow C = 6\text{--}10$  мг/л  $\rightarrow q = 90\text{--}94$  мг/г;  
 $ZnCl_2$ : 91–96 %  $\rightarrow C = 4\text{--}9$  мг/л  $\rightarrow q = 91\text{--}96$  мг/г.

Для нефтепродуктов были установлены следующие значения сорбционной эффективности:

HCl: 80–85 %  $\rightarrow C = 15\text{--}20$  мг/л  $\rightarrow q = 80\text{--}85$  мг/г;  
 $HNO_3$ : 90–94 %  $\rightarrow C = 6\text{--}10$  мг/л  $\rightarrow q = 90\text{--}94$  мг/г;  
 $H_2SO_4$ : 87–92 %  $\rightarrow C = 8\text{--}13$  мг/л  $\rightarrow q = 87\text{--}92$  мг/г;  
KOH: 95–97 %  $\rightarrow C = 3\text{--}5$  мг/л  $\rightarrow q = 95\text{--}97$  мг/г;  
 $H_3PO_4$ : 92–95 %  $\rightarrow C = 5\text{--}8$  мг/л  $\rightarrow q = 92\text{--}95$  мг/г;  
 $ZnCl_2$ : 93–96 %  $\rightarrow C = 4\text{--}7$  мг/л  $\rightarrow q = 93\text{--}96$  мг/г.

Экспериментальные исследования показали, что для адсорбентов, полученных на основе композиции 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта, целенаправленный выбор активирующего реагента позволяет достичь селективной адсорбции как ионов тяжёлых металлов, так и нефтепродуктов. Высокое содержание лигнина в древесной щепе айланта обеспечивает механическую и термическую устойчивость адсорбента, тогда как склонность скорлупы арахиса к формированию пористой структуры способствует увеличению числа активных сорбционных центров.

**Заключение.** Результаты проведённых комплексных исследований научно обосновывают возможность получения высокоэффективных активированных сорбентов путём объединения скорлупы арахиса и древесной щепы айланта в виде композиционной биомассы.

Высокое содержание лигнина и целлюлозы в древесной щепе айланта в процессе карбонизации обеспечивает формирование устойчивой ароматической углеродной матрицы, что способствует повышению механической и термической стабильности

сорбента. В то же время богатство скорлупы арахиса гемицеллюлозой обуславливает интенсивное образование микро- и мезопор в ходе процессов активации, что приводит к существенному увеличению числа активных сорбционных центров. Комбинирование указанных видов биомассы в соотношении 25 % скорлупы арахиса и 75 % древесной щепы айланта обеспечивает оптимальный баланс между структурной прочностью и развитой пористой структурой сорбента.

Установлено, что сорбционная эффективность композиционных адсорбентов напрямую зависит от природы активирующего реагента, степени развития сформированной пористой структуры, а также типа и плотности функциональных групп, образующихся на поверхности адсорбента. Активация ортофосфорной кислотой ( $H_3PO_4$ ) способствует формированию функциональных групп, обеспечивающих ионообменные и координационные взаимодействия, что повышает селективность сорбента к ионам тяжёлых металлов.

Таким образом, активированные композиционные сорбенты на основе скорлупы арахиса и древесной щепы айланта обладают более высокими сорбционными характеристиками, устойчивостью и селективностью по сравнению с однокомпонентными адсорбентами. Полученные результаты формируют важную научную основу для разработки безотходных и ресурсосберегающих технологий очистки воды, а также для создания нового поколения композиционных сорбентов, предназначенных для эффективного удаления ионов тяжёлых металлов и нефтепродуктов из промышленных сточных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Банзал Р. К., Гойал М. Адсорбция активированным углём. – Бока-Ратон: CRC Press, 2005. – 520 с.
2. Фу К. Ю., Хамид Б. Х. Современные подходы к моделированию адсорбционных изотерм // *Chemical Engineering Journal*. – 2010. – Т. 156. – С. 2–10.
3. Ахмад М.А., Альрози Р. Удаление нефтепродуктов и масел из сточных вод с использованием активированного угля, полученного из сельскохозяйственных отходов/*Journal of Chemical Engineering*. 2014. Т.2. С.122–130.
4. Марш Х., Родригес-Рейносо Ф. Активированные угли. – Амстердам: Elsevier, 2006. – 554 с.
5. Мохан Д., Питтман К. У. Активированные угли и низкзатратные адсорбенты для удаления тяжёлых металлов из воды // *Journal of Hazardous Materials*. – 2007. – Т. 142. – С. 1–53.
6. Грегг С. Дж., Синг К. С. У. Адсорбция, удельная поверхность и пористость. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
7. Тухтаев Ф. С., Негматов С. С., Шоназарова Н. У. Исследование сорбционных свойств адсорбентов на основе древесной биомассы айланта // *Евразийский журнал академических исследований*. 2022. Т. 2, № 7. – С. 319–323.
8. Тухтаев Ф. С., Негматов С. С., Негматова К. С. Получение и исследование адсорбентов на основе древесных отходов // *Материалы Республиканской научно-практической конференции*. – Ташкент, 2022. – С. 43–45.
9. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production — A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2007. – Т. 11. – С.1966–2005.
10. Демирбаш А. Производство активированного угля из биомассы // *Energy Sources*. – 2005. – Т. 27. – С. 151–166.
11. Foo K. Y., Nameed B. H. Preparation and characterization of activated carbon from agricultural waste // *Bioresource Technology*. – 2012. – Т. 111. – С. 425–432.

- Rasulov A.X., Abdulhaqova Sh.B.** Mahalliy xomashyolardan foydalanib mashinasozlik detallari uchun polimer kompozit materiallarni ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirish ..... 67
- Panjiev O.X., Salimova S.A., Negmatov S.S., Talipov N.H.** Kompozitsion yengillashtirilgan tamponaj materiallari olish va ularning xususiyatlarini o'rganish ..... 71
- Абед Ф.Ж., Иногамов С.Е., Туреева Г.А.** Разработка оптимального состава фито-плёнок на основе жидкого экстракта Алоэ и метилурацила ..... 74
- Тухтаев Ф.С., Нурназарова Г.У., Маматова М.Х., Негматов С.С.** Получение композиционных активированных сорбентов на основе скорлупы арахиса и древесной щепы айланты и исследование их адсорбционных свойств ..... 78
- Хожамбергенов Б.Е., Бегдуллаев А.К., Шамуратов Ш.Т., Кошанова Б.Т., Эркаева Н.А., Туракулов Б.Б., Эркаев А.У.** Комплексная очистка Караумбетской рапы дистиллированной жидкостью и известковым молоком с оптимизацией технологических параметров процесса ..... 82
- Halikulov U., Ubaydullaev M., Ruklinskaya E., Musayev E, Muxametjanova Sh.A.** Morphology of phase constituents and their structural-functional implementation in chromium-molybdenum steel after various thermal treatments ..... 85
- Гафурова Д.А., Юсупова Н.М., Курбанов Х.Г., Шахидова Д.Н., Рустамов М.К., Гуломова И.Б.** Получение сорбента для сорбции Mo(VI) на основе модифицированного поливинилхлорида ..... 88
- Shodiyev A.N., Voxidov B.R., Saidaxmedov A.A., Turobov Sh.N., Abdullayev Z.O.** Mis kuporosi tashlandiq eritmasidan nikelni cho'ktirishni tadqiq qilish ..... 91
- 4. Прикладные, экономические и экологические аспекты применения композиционных материалов**
- Umirova Sh.Sh., Amonov M.R.** Mahalliy gil kukunlari asosida samarali sorbentlar olish va ularni tadqiq qilish.. 96
- Kodirov O.Sh., Mardiev U.K., Isakulova M.Sh., Sharifov A.X.** Chiroqchi tumani dala shpatlarining kimyoviy–minerologik tarkibi va ularning seolit sintezidagi qo'llanilishi ..... 99
- Yakubov M.M., Jumaeva X.Yu., Yoqubov O.M., Maksudxodjaeva M.S.** Yoshlik I karyerining mis-porfirli rudalarini qayta ishlashning kombinatsiyalangan flotatsiya sxemasi ..... 101
- Бозорова Г.Т., Икрамов А., Тураев Т.Б., Рахимов Х.Н.** Очистка растворов диэтанолamina от коррозионно-активных веществ методами ионного обмена и фильтрации ..... 104
- Негматова К.С., Мусабеков Д.Х., Негматов С.С., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю.** Проведение опытно-лабораторных испытаний композиционного деэмульгатора, созданного на основе местного сырья, в объектах АО “Узметкомбинат” ..... 109
- Parpiyev M.M., Saydakhmedov R.Kh., Saidakhmedova G.R., Vinod S.** Improving operational efficiency through the robotization (automation) of the termoplast 1300T WIZ machine ..... 111
- Жумаева А.А., Амонов М.Р.** Модификацияланган базальт билан тўлдирилган ПВХ композицияларини қайта ишлашда уларнинг технологик хоссаларини тадқиқ қилиш ..... 114
- Ташбаева Ш.К., Курбанова Л.М.** Структурообразование в концентрированных суспензиях Навбахорских глин в присутствии высокогидролизованного полиакрилонитрила модифицированного глицерином (препарат РС -2 -3) ..... 116
- Бозоров Б., Мухамедбаева З.А., Эшмуратова Р.Р., Алиева Р.А.** Об эффективности использования твердых отходов промышленности в роли комплексной добавки к портландцементу ..... 119
- 5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов**
- Негматов С.С., Мусабеков Д.Х., Негматова К.С., Раупова Д.Н., Рахимов Х.Ю.** Микроскопическое исследование механизма разрушения водомасляной эмульсии и коалесценции капель под действием композиционного деэмульгатора ..... 122
- Комолова Г.К., Юсупова Л.А.** Газохроматографическое исследование фракций пиролизного дистиллята, разделённых методом сухой экстракции при различных температурах ..... 125
- Munosibov Sh.M., Ixamov M.A., Matkarimov S.T., Karimjonov B.R., Maksudov Sh.A.** Po'lat eritish changlari tarkibidagi temir asosli birikmalarni vodorod yordamida tiklash jarayonining tadqiqoti ..... 129