ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ СКОРЛУПЫ КОСТОЧЕК УРЮКА И ПЕРСИКА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Хайитов Р.Р.
Бухарский государственный технический университет,
Шарипов М.С.
Бухарский государственный технический университет,
Тешаева М.Ш.
Бухарский государственный технический университет,
Жумаева З.Ж.
Бухарский государственный университет

Аннотация. Мазкур мақолада ўрик ва шафтоли данаги пўстлоғидан фаоллаштирилган кўмир олишни тадқиқ қилиш натижалари келтирилган. Карбонизациялаш ва сув буғи билан фаоллаштириш жараёнларининг ҳарорат режими олинган сорбент намуналарининг физик-кимёвий ва адсорбция хусусиятларига таъсири ўрганилган. Тажрибалар давомида дастлабки хомашёни карбонизациялаш 300-500°C, сув буғи ёрдамида фаоллаштириш эса 800-950°C ҳарорат интервалида амалга оширилган. Олинган фаоллаштирилган кўмир намуналарининг уюрмавий зичлиги, кул миқдори ва бензол бўйича адсорбциялаш фаоллиги аниқланган. Тадқиқот натижалари шуни кўрсатдики, ҳарорат ошиши билан адсорбцион фаоллик ортади, аммо уюрмавий зичлик камаяди ва кул миқдори ортиб боради. Экспериментал натижалар асосида ўрик ва шафтоли данаги пўстлоғидан юқори сорбцион хусусиятларга эга фаоллаштирилган кўмир олиш жараёнининг мақбул параметрлари аниқланган. Олинган адсорбентларни нефт ва газ саноатининг оқова сувларини тозалаш жараёнларида қўллаш имкониятлари асосланган.

Калит сўзлар: фаоллаштирилган кўмир, ўрик данаги пўстлоғи, шафтоли данаги пўстлоғи, карбонизация, сув буғи, фаоллаштириш, адсорбция, уюрмавий зичлик, кул миқдори, адсорбция сиғими.

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследований по получению активированного угля из скорлупы косточек урюка и персика. Изучено влияние температурных режимов процессов карбонизации и активации водяным паром на физико-химические и адсорбционные свойства полученных образцов сорбента. В ходе экспериментов карбонизацию исходного сырья осуществляли при температуре 300-500°C, а активацию водяным паром — в интервале 800-950°C. Определены насыпная плотность, зольность и адсорбционная активность по бензолу полученных образцов активированного угля. Результаты исследования показали, что с повышением температуры адсорбционная активность возрастает, однако

ISSN 3030-3907

насыпная плотность снижается, а зольность увеличивается. На основе экспериментальных данных установлены оптимальные параметры процесса получения активированного угля с высокими сорбционными характеристиками из скорлупы косточек урюка и персика. Обоснована возможность применения полученных адсорбентов для очистки сточных вод нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: активированный уголь, скорлупа косточек урюка, скорлупа косточек персика, карбонизация, паровая активация, адсорбция, насыпная плотность, зольность, нефтегазовая промышленность, аминовые растворы.

Abstract. This article presents the results of research on the production of activated carbon from apricot and peach pit shells. The influence of temperature regimes of carbonization and steam activation processes on the physicochemical and adsorption properties of the obtained sorbent samples was investigated. During the experiments, carbonization of the raw material was carried out at 300-500°C, while steam activation was performed in the temperature range of 800-950°C. The bulk density, ash content, and benzene adsorption activity of the produced activated carbon samples were determined. The results showed that with increasing temperature, adsorption activity increases, while bulk density decreases and ash content rises. Based on the experimental data, optimal parameters for producing activated carbon with high sorption properties from apricot and peach pit shells were established. The applicability of the obtained adsorbents for the treatment of wastewater from the oil and gas industry has been substantiated.

Keywords: activated carbon, apricot pit shells, peach pit shells, carbonization, steam activation, adsorption, bulk density, ash content, oil and gas industry, amine solutions.

ВВЕДЕНИЕ.

В последние десятилетия проблема загрязнения окружающей среды промышленными отходами стала одной из наиболее актуальных экологических задач современности. Развитие нефтегазовой, химической, металлургической и других отраслей промышленности сопровождается образованием значительных объемов сточных вод, содержащих различные органические и неорганические загрязнители. Среди них особую опасность представляют нефтепродукты, фенолы, поверхностно-активные вещества, красители и другие токсичные соединения, которые оказывают негативное воздействие на природные экосистемы и водные ресурсы [1].

В связи с этим разработка эффективных методов очистки сточных вод и технологических растворов является одной из важнейших задач

ISSN 3030-3907

современной экологической химии и промышленной экологии. Среди различных методов очистки воды особое место занимает адсорбционный метод, который основан на использовании твердых пористых материалов, способных поглощать различные загрязняющие вещества из жидкой фазы. Одним из наиболее эффективных адсорбентов является активированный уголь, который благодаря своей развитой пористой структуре и высокой удельной поверхности обладает высокой сорбционной способностью [2].

Активированный уголь представляет собой углеродный материал с развитой микропористой структурой, удельная поверхность которого может достигать 500-2000 м²/г. Такие характеристики обеспечивают высокую эффективность адсорбции различных органических соединений, включая фенолы, красители, нефтепродукты и другие загрязнители. В связи с этим активированные угли широко применяются в различных областях промышленности, включая очистку питьевой воды, очистку сточных вод, очистку газов и регенерацию технологических растворов [3].

Согласно исследованиям Bansal и Goyal, активированные угли являются одними из наиболее универсальных адсорбентов благодаря сочетанию высокой пористости, химической устойчивости и возможности модификации их поверхности [4]. Эти свойства делают активированный уголь эффективным материалом для удаления различных загрязнителей из водных растворов.

Особое значение активированные угли имеют в нефтегазовой промышленности, где они используются для очистки аминовых растворов, применяемых в процессах удаления кислых компонентов из природного газа. В процессе эксплуатации такие растворы загрязняются различными органическими соединениями, смолами и продуктами окисления, что приводит к снижению эффективности технологических процессов. Использование активированных углей позволяет эффективно удалять такие загрязнения и повышать эффективность работы газоочистных установок [5].

Традиционно активированные угли получают из каменного угля, древесины и кокосовой скорлупы. Однако производство таких сорбентов требует значительных энергетических и экономических затрат. В связи с этим в последние годы все большее внимание уделяется разработке технологий получения активированных углей из возобновляемого растительного сырья и сельскохозяйственных отходов. Использование биомассы позволяет снизить стоимость производства сорбентов и одновременно решить проблему утилизации органических отходов [6].

ISSN 3030-3907

По данным Demirbas, сельскохозяйственные отходы являются перспективным сырьем для получения углеродных сорбентов благодаря высокому содержанию углерода и низкой стоимости. Использование таких материалов позволяет создать экологически безопасные и экономически эффективные адсорбенты для очистки воды и сточных вод [7].

Среди различных видов биомассы особый интерес представляют отходы переработки фруктов, такие как скорлупа косточек урюка, персика, вишни и других плодовых культур. Эти материалы характеризуются высоким содержанием углерода и хорошими механическими свойствами, что делает их перспективным сырьем для получения активированных углей [8].

Исследования Aygün и соавторов показали, что активированные угли, полученные из косточек фруктов, обладают развитой микропористой структурой и высокой удельной поверхностью, что обеспечивает их высокую эффективность в адсорбционных процессах [8]. В частности, такие материалы демонстрируют высокую эффективность при удалении различных органических загрязнителей из водных растворов.

Аналогичные результаты были получены в исследованиях Yorgun и Vural, где было установлено, что активированные угли, полученные из косточек урюка путем химической активации, обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к фенолу и другим органическим соединениям [9]. Это подтверждает перспективность использования отходов переработки фруктов в качестве сырья для получения эффективных адсорбентов.

Свойства активированных углей во многом зависят от условий их получения, включая температуру карбонизации, условия активации и тип активирующего агента. В работе Lua и Yang было показано, что повышение температуры активации приводит к развитию пористой структуры углеродного материала и увеличению его адсорбционной способности [10]. Однако чрезмерное повышение температуры может приводить к разрушению пористой структуры и снижению эффективности адсорбента.

Современные исследования также показывают, что биомасса является перспективным источником получения различных углеродных материалов, включая пористые углероды, используемые в процессах адсорбции и катализа. В частности, Sevilla и Fuertes показали, что углеродные материалы, полученные из биомассы, обладают высокой пористостью и могут эффективно использоваться в различных технологических процессах [11].

Исследования Tan и соавторов показали, что активированные угли, полученные из различных видов биомассы, обладают высокой

ISSN 3030-3907

адсорбционной способностью и могут эффективно использоваться для удаления органических загрязнителей из водных растворов [12].

В условиях Республики Узбекистан проблема очистки сточных вод промышленных предприятий также является актуальной. На территории страны функционирует значительное количество предприятий нефтегазовой, химической и текстильной промышленности, деятельность которых сопровождается образованием сточных вод, содержащих различные загрязняющие вещества. В частности, предприятия нефтегазовой отрасли образуют сточные воды, содержащие нефтепродукты, органические соединения и другие загрязнители.

Использование активированных углей для очистки сточных вод таких предприятий может существенно повысить эффективность очистки и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду. При этом особый интерес представляет разработка технологий получения активированных углей из местного растительного сырья, которое широко распространено на территории Узбекистана.

Одним из таких видов сырья являются отходы переработки фруктов, включая скорлупу косточек урюка и персика. Узбекистан является одним из крупнейших производителей фруктов в Центральной Азии, поэтому ежегодно образуется значительное количество отходов переработки фруктов. Использование этих отходов для получения активированных углей может способствовать развитию ресурсосберегающих технологий и созданию новых эффективных адсорбентов.

Таким образом, разработка технологии получения активированного угля из скорлупы косточек урюка и персика и исследование его адсорбционных свойств представляет собой актуальную научную задачу. Полученные сорбенты могут быть использованы для очистки сточных вод и технологических растворов нефтегазовой и других отраслей промышленности, что позволит повысить эффективность технологических процессов и снизить негативное воздействие промышленности на окружающую среду.

Объект и методы исследования. В качестве исходного сырья для получения углеродных сорбентов использовали сельскохозяйственные отходы – скорлупу косточек урюка и персика (рис.1), широко распространённые на территории Республики Узбекистан [13]. Данные материалы характеризуются высоким содержанием углерода, достаточной механической прочностью и доступностью, что делает их перспективным сырьём для получения активированных углей.

ISSN 3030-3907



а *б*

Рис.1. Скорлупа косточек урюка (*а*) и персика (*б*), используемая в качестве сырья

Перед проведением экспериментов сырьё очищали от механических примесей и многократно промывали дистиллированной водой. Затем материал высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°C до постоянной массы. После сушки образцы измельчали и фракционировали с использованием лабораторных сит. Для дальнейших исследований отбирали фракции размером 0,5-3 мм, которые обеспечивают оптимальные условия тепло- и массообмена в процессе термической обработки.

Подготовленное сырьё хранили в герметичных контейнерах при комнатной температуре до проведения дальнейших экспериментов.

Процесс карбонизации биомассы. Карбонизацию подготовленного сырья проводили в лабораторном трубчатом реакторе с электрическим нагревом без доступа воздуха (рис.2). Реактор был оснащён системой контроля температуры на основе термопары, подключённой к электронному потенциометру. Перед началом эксперимента реактор герметизировали и продували инертным газом для удаления остаточного кислорода из реакционной зоны. Нагрев образцов осуществляли со скоростью 7-10°C/мин до заданной температуры.

Карбонизация проводилась в температурном интервале 300-500°C. После достижения необходимой температуры образец выдерживали в реакторе в течение 60-120 минут. В процессе термического разложения органической биомассы происходило выделение летучих продуктов пиролиза, включающих газообразные соединения и смолистые вещества [14]. Эти продукты выводились из реактора через газоотводящую систему и направлялись в охлаждаемый конденсатор, где происходила конденсация водяного пара и смол.

После завершения процесса карбонизации полученный карбонизат охлаждали до комнатной температуры в условиях отсутствия воздуха, что предотвращало его окисление.

ISSN 3030-3907

Процесс активации карбонизата. Следующим этапом получения активированного угля являлась активация карбонизованного материала. Активацию проводили в том же трубчатом реакторе с использованием перегретого водяного пара. Перед началом активации реактор продували потоком азота в течение 15 минут для удаления кислорода из реакционной зоны. Затем температуру реактора повышали до диапазона 800-950°C.

Перегретый водяной пар подавали в реактор из парогенератора через специальный патрубок. Расход водяного пара регулировали количеством воды, поступающей в парогенератор, а также давлением газа в дозирующей системе. Продолжительность активации составляла 1-2 часа.

В процессе активации происходило частичное газифицирование углеродной матрицы карбонизата, сопровождающееся образованием развитой пористой структуры. Образующиеся парогазовые продукты выводились из реактора и направлялись на анализ.

После завершения активации образцы активированного угля охлаждали до комнатной температуры без доступа воздуха.

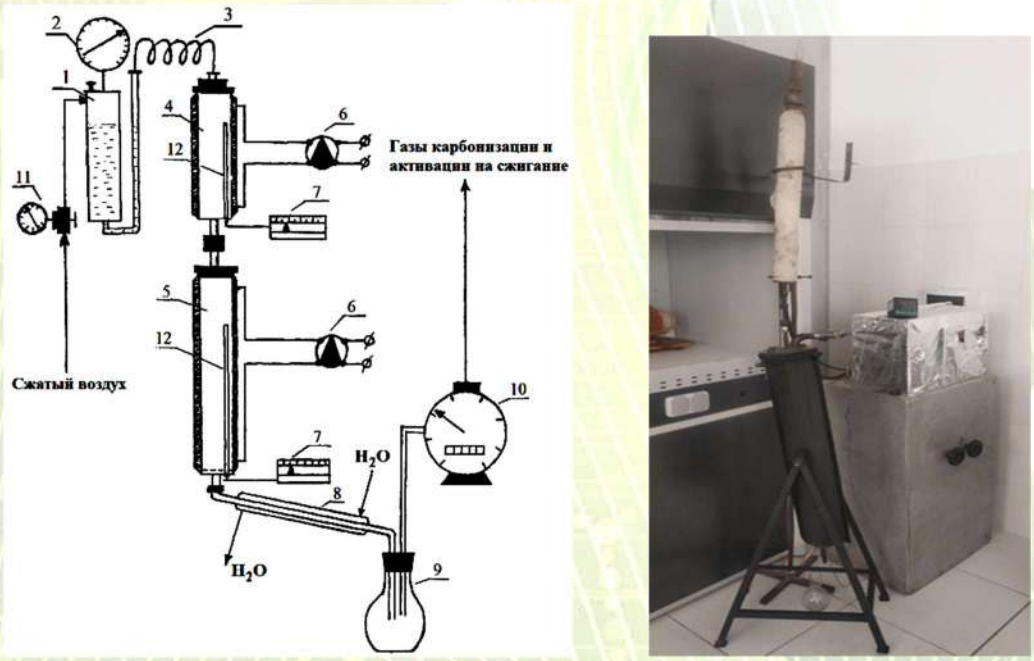


Рис. 2. Лабораторная установка получения активированного угля из скорлупы косточек фруктов: *1 – емкость для воды; 2 – манометр (образцовый); 3 – медный капилляр; 4 – парогенератор; 5 – печь карбонизации и активации; 6 – латоры; 7 – милливольтметры; 8 – холодильник; 9 – приемник; 10 – газовый счетчик; 11 – стабилизатор давления; 12 – карман термопары.*

Анализ газообразных продуктов и характеристика сорбентов. Образующиеся в процессе активации газы, содержащие водород, оксиды углерода и метан, после отделения от непрореагировавшего водяного пара

ISSN 3030-3907

измеряли газовым счётчиком. Химический состав газовой смеси определяли методом газовой хроматографии с использованием угольной колонки и детектора теплопроводности.

Полученные образцы активированных углей подвергали физико-химическому анализу. Основными определяемыми характеристиками являлись:

- насыпная плотность сорбента;
- зольность;
- адсорбционная активность;
- структура порового пространства.

Адсорбционную активность определяли по стандартным методикам, основанным на способности активированного угля поглощать органические соединения из газовой и жидкой фаз.

Методика адсорбционных экспериментов. Для оценки эффективности полученных сорбентов проводили лабораторные адсорбционные эксперименты с использованием модельных растворов, содержащих органические загрязнители.

Эксперименты проводили в стеклянных реакторах при постоянном перемешивании. В раствор заданной концентрации вносили определённое количество сорбента и выдерживали систему в течение заданного времени до достижения равновесного состояния.

После завершения процесса адсорбции раствор фильтровали, а остаточную концентрацию загрязняющих веществ определяли спектрофотометрическим методом. На основании полученных данных рассчитывали адсорбционную ёмкость сорбента и степень удаления загрязнителей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные экспериментальные результаты показали, что использование сельскохозяйственных отходов в качестве исходного сырья для получения активированных углей является перспективным направлением создания эффективных сорбентов для очистки промышленных сточных вод. В частности, скорлупа косточек урюка и персика представляет собой высокоуглеродистый природный материал, обладающий благоприятной структурой для формирования развитой пористой поверхности в процессе термической обработки.

Формирование пористой структуры при карбонизации. Анализ результатов карбонизации показал, что температура термической обработки оказывает существенное влияние на формирование структуры углеродного материала. При температуре 300°C процесс термического разложения

ISSN 3030-3907

биомассы протекает недостаточно интенсивно, что приводит к образованию карбонизата с относительно низкой пористостью. В данном температурном диапазоне удаляется лишь часть летучих компонентов, тогда как значительная доля органических соединений сохраняется в структуре материала. Полученные результаты карбонизации скорлупы косточек урюка представлены в табл.1.

Таблица 1

Условия карбонизации скорлупы урюковых косточек

(Предварительный вес сырья 1000 г., скорость подъема температуры 7-10°С в минуту)

Температура процесса, °С	Вес карбонизата, г	Насыпная плотность, г/дм^3	Зольность, %	Адсорбционная активность по C_6H_6, г/100 г
300	613	623	4,8	0,24
400	521	596	5,0	0,52
500	405	562	5,1	0,87

С повышением температуры карбонизации до 500°С происходит более интенсивное разложение органической матрицы биомассы. В результате этого процесса формируется первичная система микропор. Образующиеся поры создают основу для дальнейшего развития пористой структуры на стадии активации. Аналогичные эксперименты были проведены для скорлупы персиковых косточек (табл.2).

Таблица 2

Условия карбонизации скорлупы персиковых косточек (Предварительный вес сырья 1000 г., скорость подъема температуры 7-10°С в минуту)

Температура процесса, °С	Вес карбонизата, г	Насыпная плотность, г/дм^3	Зольность, %	Адсорбционная активность по C_6H_6, г/100 г
300	676	687	6,3	0,12
400	581	655	6,8	0,34
500	463	627	7,4	0,65

Максимальное развитие пористой структуры наблюдается при температуре карбонизации около 500°С. При данной температуре происходит почти полное удаление летучих компонентов и образование стабильной углеродной матрицы. Полученный карбонизат характеризуется более высокой механической прочностью и устойчивостью к дальнейшей термической обработке.

ISSN 3030-3907

Подобные закономерности отмечаются и в работах зарубежных исследователей. Например, в исследованиях по получению активированных углей из фруктовых косточек было показано, что оптимальная температура карбонизации находится в диапазоне 700–800 °C, при котором формируется наиболее развитая микропористая структура.

Влияние процесса активации на структуру сорбента. Следующим этапом получения сорбента является процесс активации карбонизованного материала. В ходе проведённых экспериментов активацию осуществляли перегретым водяным паром при температуре 800-950°C. Основной задачей данного процесса является увеличение удельной поверхности и формирование развитой системы пор. Результаты активации урюкового карбонизата приведены в табл.3.

Таблица 3

Условия активации урюкового карбонизата (для всех температурных режимах время продолжения процесса 120 мин.)

Температура процесса, °C	Степень обгара, %	Насыпная плотность, г/дм^3	Зольность, %	Адсорбционная активность по C_6H_6, г/100 г
800	27	488	6,5	1,45
850	29	453	7,3	1,87
900	34	412	8,8	1,92
950	40	376	10,2	1,98

В результате активации происходит частичная газификация углеродной матрицы по реакциям взаимодействия углерода с водяным паром. В процессе этих реакций образуются газообразные продукты (водород, оксид углерода и углекислый газ), что приводит к расширению существующих пор и формированию новых каналов в структуре материала. Результаты активации персикового карбонизата представлены в табл.4.

Анализ полученных образцов показал, что после активации сорбент приобретает значительно более развитую пористую структуру. Это проявляется в увеличении адсорбционной активности материала по отношению к органическим загрязнителям.

Таблица 4

Условия активации персикового карбонизата (для всех температурных режимах время продолжения процесса 120 мин.)

Температура процесса, °C	Степень обгара, %	Насыпная плотность, г/дм^3	Зольность, %	Адсорбционная активность по C_6H_6, г/100 г

ISSN 3030-3907

800	28	512	8,8	0,87
850	30	476	9,5	1,18
900	35	447	10,7	1,23
950	47	413	11,6	1,25

В научной литературе отмечается, что активация водяным паром является одним из наиболее эффективных способов получения высокопористых активированных углей. В частности, исследования показали, что паровая активация способствует формированию как микропор, так и мезопор, что значительно повышает адсорбционную способность сорбента.

Сравнительный анализ сорбентов на основе урюковых и персиковых косточек. Проведённые эксперименты показали, что активированные угли, полученные из различных видов биомассы, обладают различными адсорбционными характеристиками. В частности, сорбенты, полученные из скорлупы косточек урюка (АУ-КУ), демонстрируют несколько более высокую адсорбционную активность по сравнению с сорбентами на основе персиковых косточек (АУ-КП).

На основе результатов исследований, представленных в таблицах 3 и 4, были разработаны номограммы, приведённые на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Зависимость зольности активированных углей АУ-КУ и АУ-КП от их температуры активации

Это объясняется различиями в химическом составе исходного сырья. Скорлупа урюковых косточек содержит более высокую долю лигнина, который при термической обработке образует более стабильную углеродную структуру. В результате этого формируется более развитая система микропор.

ISSN 3030-3907

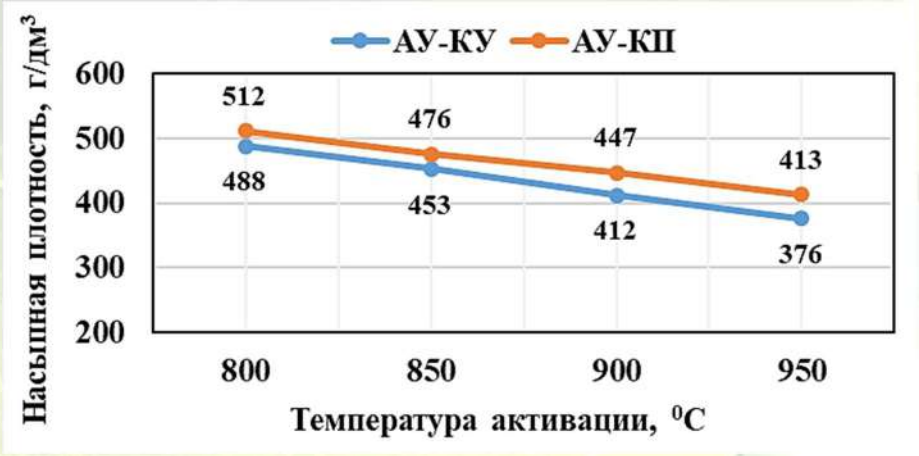


Рис. 3. Зависимость насыпной плотности активированных углей АУ-КУ и АУ-КП от их температуры активации

В то же время скорлупа персиковых косточек характеризуется более рыхлой структурой. Это приводит к формированию более крупных пор, однако общая площадь поверхности при этом может быть несколько ниже. Тем не менее оба типа сорбентов демонстрируют достаточно высокую эффективность при адсорбции органических соединений.

Адсорбционные свойства полученных сорбентов. Исследование адсорбционных свойств показало, что полученные активированные угли способны эффективно удалять органические загрязнители из водных растворов. В ходе проведённых экспериментов было установлено, что степень удаления органических веществ существенно зависит от следующих факторов: температуры обработки сорбента; времени контакта; дозировки сорбента; начальной концентрации загрязняющего вещества.

Сравнительные характеристики полученного сорбента и промышленных активированных углей представлены в табл.5.

Таблица 5

Сравнительные технические характеристики активированных углей марки АГ-3, НХ-30 и АУ-КУ

№	Наименование показателей	АГ-3 (Россия	НХ-30 (Китай)	АУ- КУ	АУ- КП
1.	Фракционный состав, %				
	5 мм	0,4	2	8	12
	3,6 мм	3	10	16	22
	от 2,8 до 3,6 мм	86	70	64	63
	от 1,5 до 2,8 мм	10	15	5	2
	от 1,0 до 1,5 мм	0,6	3	7	1
2.	Насыпная плотность, г/дм^3	480	520	376	413
3.	Активность по йоду, %	88	98	86,4	80,2

ISSN 3030-3907

4.	Активность по бензолу, % или г/дм^3	31 148	34 156	33 150	32 149
5.	Суммарный объем пор, см^3/г	0,860	0,692	0,720	0,708
6.	Содержание влаги, %	6	5	6	6
7.	Зольность, %	14	4,2	10,2	11,6
8.	Прочность на истирание, %	75	78	76	80

При увеличении времени контакта между сорбентом и раствором наблюдается постепенное снижение концентрации загрязняющих веществ. Это связано с тем, что молекулы органических соединений постепенно диффундируют в поры сорбента и фиксируются на поверхности углеродного материала. Максимальная эффективность очистки наблюдается при увеличении дозировки сорбента. Это объясняется увеличением общей площади активной поверхности, доступной для адсорбции.

Подобные результаты также отмечаются в ряде зарубежных исследований, посвящённых использованию биомассы для получения сорбентов. Например, активированные угли, полученные из различных сельскохозяйственных отходов, демонстрируют высокую эффективность при удалении фенолов, красителей и нефтепродуктов из водных растворов.

Сравнение полученных результатов с данными научной литературы показывает, что сорбенты на основе фруктовых косточек обладают адсорбционными характеристиками, сопоставимыми с промышленными активированными углями [8,12]. В ряде исследований было показано, что активированные угли из фруктовых косточек могут иметь удельную поверхность до 1000–1500 м²/г [9,10]. Такие значения обеспечивают высокую эффективность адсорбции различных органических загрязнителей.

Кроме того, использование биомассы в качестве сырья для получения сорбентов имеет ряд преимуществ: а) низкая стоимость исходного материала; б) экологическая безопасность; в) возможность утилизации сельскохозяйственных отходов [7,11]. Таким образом, применение биомассы для получения активированных углей является перспективным направлением развития экологически безопасных технологий очистки воды [11,12].

Практическое значение полученных результатов. Результаты проведённых исследований свидетельствуют о возможности использования полученных сорбентов для очистки промышленных сточных вод нефтегазовой и химической промышленности. В частности, активированные угли на основе урюковых и персиковых косточек могут быть применены для удаления следующих загрязнителей: а) нефтепродуктов; б) фенольных

ISSN 3030-3907

соединений; в) органических красителей; г) поверхностно-активных веществ. Использование подобных сорбентов позволяет не только повысить эффективность очистки воды, но и решить проблему утилизации сельскохозяйственных отходов. Кроме того, применение местного сырья для получения сорбентов способствует снижению стоимости очистки сточных вод и повышению экологической устойчивости промышленных предприятий.

Перспективы дальнейших исследований. Несмотря на полученные положительные результаты, дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию условий получения сорбентов и повышение их адсорбционной активности. В частности, перспективными направлениями являются: а) химическая модификация поверхности активированных углей; б) разработка комбинированных сорбентов; б) применение сорбентов в комплексных технологиях очистки сточных вод;

Реализация данных направлений позволит создать более эффективные и экономически выгодные технологии очистки промышленных сточных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Foo K.Y., Hameed B.H. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 2010, Vol. 156, No. 1, pp. 2–10. https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013

2. Ahmad M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D., Vithanage M., Lee S.S., Ok Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemical Engineering Journal*, 2014, Vol. 250, pp. 191–211. https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.03.044

3. Marsh H., Rodríguez-Reinoso F. Activated Carbon. Elsevier Science & Technology Books, Oxford, 2006, 536 p.

4. Bansal R.C., Goyal M. Activated Carbon Adsorption. CRC Press, Boca Raton, 2005, 520 p.

5. Kohl A., Nielsen R. Gas Purification. Gulf Publishing Company, Houston, 1997, 5th Edition, 1390 p.

6. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, Vol. 11, No. 9, pp. 1966–2005. https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013

7. Demirbas A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, Vol. 167, No. 1–3, pp. 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.12.114

8. Aygün A., Yenisoy-Karakaş S., Duman I. Production of granular activated carbon from fruit stones and nutshells and evaluation of their physical, chemical

ISSN 3030-3907

and adsorption properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2003, Vol. 66, No. 2–3, pp. 189–195. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2003.08.028

9. Yorgun S., Vural N. Preparation of activated carbon from apricot stones by chemical activation with $ZnCl_2$ for removal of phenol from aqueous solution. *International Journal of Chemical Engineering*, 2014, Article ID 762914, pp. 1–8. https://doi.org/10.1155/2014/762914

10. Lua A.C., Yang T. Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of activated carbon prepared from pistachio-nut shells. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2004, Vol. 274, No. 2, pp. 594–601. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.02.063

11. Sevilla M., Fuertes A.B. The production of carbon materials by hydrothermal carbonization of cellulose. *Carbon*, 2009, Vol. 47, No. 9, pp. 2281–2289. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2009.04.026

12. Tan I.A.W., Ahmad A.L., Hameed B.H. Preparation of activated carbon from coconut husk: Optimization study on removal of 2,4,6-trichlorophenol using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, Vol. 153, No. 1–2, pp. 709–717. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.014.

13. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р. Получение активированного угля из древесного и косточкового сырья // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 9(90). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12255

14. Орипова Л.Н., Хайитов Р.Р., Тлеумуратов К.Б., Наубеев Т.Х. Определение технических характеристик активированных углей, полученных из скорлупы косточек урюка и стебля хлопчатника // Развитие науки и технологий. 2021, №3, - С.28-32.

ISSN 3030-3907