



Исследование адсорбции анилина и нитробензола из водных растворов активированными углями, полученными из косточек фруктов

*Н. С. Торосян¹, В. А. Давтян², А. А. Акопян³, Н. Р. Оганесян⁴, М. З. Петросян⁴,
Г. О. Торосян^{5,6}✉*

¹Институт ОДКБ в Армении, Финансовая академия, Ереван, Республика Армения,

²Инвестиционный фонд устойчивого развития, Ереван, Республика Армения,

³Национальный Аграрный Университет Армении, Ереван, Республика Армения,

⁴Национальный политехнический университет Армении, Ереван, Республика Армения,

⁵Горисский государственный университет, Горис, Республика Армения,

⁶Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии НАН РА, Ереван, Республика Армения, e-mail: gagiktorosyan@inbox.ru

Поступила в редакцию: 08.02.2026 г.; после доработки: 19.03.2026 г.; принята в печать: 08.04.2026 г.

Аннотация – Анилин и нитробензол – опасные органические загрязнители, которые часто встречаются в сточных водах химической, фармацевтической и текстильной промышленности. Нитробензол служит основой для синтеза анилина, ключевого химического вещества, которое применяется в производстве множества синтетических материалов. На всех этапах синтеза, транспортировки и переработки этих веществ образуются сточные воды, в которых присутствуют как сами соединения, так и их смеси. В данной статье изучена адсорбционная очистка водных растворов, содержащих анилин и нитробензол, с применением измельченных косточек фруктов (абрикоса, персика и сливы), которые широко доступны в Армении, а также активированных углей, изготовленных на их основе. Полученные в работе результаты подтверждают эффективность и перспективность использования изученных растительных углеродных адсорбентов для очистки сточных вод, содержащих смеси ароматических аминов и нитросоединений. Показано, что углеродные адсорбенты, полученные из отходов сельскохозяйственного производства, обладают развитой пористой структурой и высокой адсорбционной способностью к органическим загрязнителям. Такие сорбенты экологичны и являются экономически выгодной альтернативой коммерческим активированным углям. Установлено, что активированный уголь демонстрирует значительно более высокую адсорбционную способность по сравнению с измельченными косточками. Показано, что при изучении очистки бинарной смеси анилин–нитробензол из водного раствора за процессом эффективнее следить по ВЭЖХ. Это позволит лучше и эффективнее осуществить мониторинг при аварийных ситуациях на производствах с анилин–нитробензоловой смесью. Также четко установлено, что процесс адсорбции на активированном угле и измельченных косточек сливы анилина и нитробензола из водной смеси при малых концентрациях лучше описывается моделью мономолекулярной сорбции Ленгмюра.

Ключевые слова: анилин, нитробензол, бинарная система, дробленные косточки фруктов, активированный уголь, очистка сточных вод, адсорбция, модель Ленгмюра, модель Фрейндлиха

Study of adsorption of aniline and nitrobenzene from aqueous solutions by activated carbons obtained from fruit pits

*Nver S. Torosyan¹, Vahan A. Davtyan², Hayastan A. Hakobyan³,
Nelli R. Hovhannisyan⁴, Marine Z. Petrosyan⁴, and Gagik H. Torosyan^{5,6}*✉

¹CSTO Institute in Armenia, Financial Academy, Yerevan, Republic of Armenia,

²Sustainable Development Investment Fund, Yerevan, Republic of Armenia,

³National Agrarian University of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia,

⁴National polytechnic university of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia,

⁵Goris State University, Goris, Republic of Armenia,

⁶Scientific and Technological Center for Organic and Pharmaceutical Chemistry of the NAS RA,
e-mail: gagiktorosyan@inbox.ru

Received: February 8, 2026; Revised: March 19, 2026; Accepted: April 8, 2026

Abstract – Aniline and nitrobenzene are hazardous organic pollutants commonly found in wastewater from the chemical, pharmaceutical, and textile industries. Nitrobenzene serves as the basis for the synthesis of aniline, a key chemical used in the production of numerous synthetic materials. All stages of the synthesis, transportation, and processing of these substances generate wastewater containing both the compounds themselves and their mixtures. This article examines the adsorption treatment of aqueous solutions containing aniline and nitrobenzene using crushed fruit pits (apricot, peach, and plum), which are widely available in Armenia, and activated carbons produced from them. The results obtained in the study confirm the effectiveness and potential of using the studied plant-derived carbon adsorbents for the treatment of wastewater containing mixtures of aromatic amines and nitro compounds. It is shown that carbon adsorbents obtained from agricultural waste possess a developed porous structure and high adsorption capacity for organic pollutants. Such sorbents are environmentally friendly and are a cost-effective alternative to commercial activated carbons. It has been established that activated carbon exhibits significantly higher adsorption capacity compared to crushed plum kernels. It has been proposed that when studying the purification of an aniline–nitrobenzene binary mixture from an aqueous solution, the process can be more effectively monitored using HPLC. This will allow for more efficient and effective monitoring during emergency situations at facilities handling aniline–nitrobenzene mixtures. It has been clearly established also that the adsorption of aniline and nitrobenzene from an aqueous mixture at low concentrations on activated carbon and crushed plum kernels is best described by the Langmuir model of monomolecular sorption.

Keywords: aniline, nitrobenzene, binary system, crushed fruit pits, activated carbon, wastewater treatment, adsorption, Langmuir model, Freundlich model

ВВЕДЕНИЕ

Проблема очистки сточных вод от смеси анилина с нитробензолом стала весьма актуальной после масштабной аварии в 2005 году в одном из цехов по производству анилина на химическом заводе (филиал China National Petroleum Corporation) в городе Цзилинь (Китай). Авария вызвала загрязнение рек Сунгари и Амура, что привело к остановке водоснабжения такого крупного города как Харбин [1].

В настоящее время для получения анилина из нитробензола в промышленных масштабах предпочтительным и высокоэффективным методом является каталитическое гидрирование [2].

Необходимо отметить, что восстановление нитробензола до анилина – классическая и до сих пор промышленно значимая трансформация в органической химии. Исторически одним из первых методов восстановления нитробензола до анилина была реакция Н.Н. Зинина, положившая начало производству анилина и анилинокрасочной промышленности [2].

Производство нитробензола и анилина в мире постоянно увеличивается, поэтому не вызывает сомнения необходимость совершенствования методов контроля загрязнения этими продуктами окружающей среды. В процессе производства анилина из нитробензола в стоках присутствуют в основном непрореагировавший нитробензол, целевой продукт анилин, а также малые количества катализаторов, щелочи и побочных ароматических аминов [2].

Химическая устойчивость анилина и нитробензола в водной среде и выраженная токсичность обуславливают необходимость разработки эффективных методов очистки сточных вод, содержащих данные соединения. Предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляют:

- для анилина 0,1 мг/дм³. (2-ой класс опасности (высокоопасные вещества) [3],
- для нитробензола 0,2 мг/дм³ (3-ий класс опасности относится к группе сильнодействующих ядовитых соединений [4].

Нитробензол является основным продуктом промышленного нитрования бензола и ключевым предшественником анилина. В свою очередь, анилин служит важным сырьем для производства красителей, полиуретанов, фармацевтических субстанций и ингибиторов коррозии.

Большинство существующих исследований посвящено удалению анилина или нитробензола из воды по отдельности [5–7].

В научной литературе описан ряд сорбентов, которые являются отходами сельскохозяйственной, пищевой, микробиологической, химической промышленности [6–17].

Адсорбционная очистка признана одним из наиболее универсальных и технологически простых методов удаления органических токсикантов. Активированные угли демонстрируют высокую сорбционную емкость по отношению к ароматическим соединениям за счет развитой микропористости и π – π взаимодействий с графитоподобными доменами поверхности [8]. В последние годы активно исследуются биоугли и углеродные адсорбенты, полученные из сельскохозяйственных отходов, как экономически доступная альтернатива коммерческим активированным углям [9].

Анилин и нитробензол обладают выраженной токсичностью, вызывают метгемоглобинемию, нарушения функций печени и центральной нервной системы, а также проявляют канцерогенные свойства при длительном воздействии [10]. Водные растворы этих соединений устойчивы к биodeградации и способны длительно сохраняться в природных водоемах. Основными источниками загрязнения изучаемыми здесь веществами являются предприятия

по производству красителей, фармацевтических субстанций, полимерных материалов и взрывчатых веществ.

Реальные промышленные стоки почти всегда содержат анилин и нитробензол совместно, что приводит к изменению механизмов массопереноса, адсорбционного равновесия и кинетики удаления. Авторами работы [11] установлено, что при адсорбции из бинарной смеси анилин-нитробензол имеет место адсорбция этих органических молекул по отдельности.

В последние годы значительный интерес вызывает использование углеродных адсорбентов, полученных из отходов сельскохозяйственной промышленности, благодаря их низкой стоимости, развитой пористой структуре и высокой аффинности к ароматическим загрязнителям. Эти сорбенты с точки зрения экономичности и практической значимости имеют ряд преимуществ [12–18]:

- получение сорбентов из отходов аграрного сектора способствует их эффективной утилизации, что, в свою очередь, оказывает положительное влияние на экологическую обстановку в регионах, где расположены промышленные предприятия;
- сравнительно легкая утилизация после использования сжиганием;
- высокая адсорбционная способность; необходимо отметить, что косточки фруктов – отличное сырье, так как они богаты углеродом и могут формировать высокопористую структуру, что позволяет получать эффективные адсорбенты для очистки воды, воздуха, а также в медицине [16–18].

Целью работы является анализ закономерностей адсорбционной очистки водных растворов, содержащих бинарную систему анилин–нитробензол, и обоснование эффективности углеродных адсорбентов растительного происхождения для решения данной экологической задачи.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Приборы и физико-химические методы. УФ спектры сняты на спектрофотометре “Specord-50” согласно стандартной методике.

Хроматографические исследования проводились высокоэффективным жидкостным хроматографом (ВЭЖХ) (система Water 486-detector, Water 600S-controller, Water 626-Pump), на колонке 250x4 мм заполненный микросферическими силикагелевыми сорбентами с C18-группами на поверхности, скорость потока мобильной фазы 1 мл/мин. Детектор УФ-254 нм.

Подготовка скорлупы косточек плодовых культур. Скорлупа косточек предварительно очищалась от биоорганических примесей промыванием спиртом (100 г сорбента отстаивали в течение 12 ч в 150 мл спирте, после фильтрации сорбент подвергался дальнейшей обработке, а спирт использовался после перегонки), или же отгонкой водяным паром (200 г сорбента помещали в колбу с 50 мл водой смесь барботировали водяным паром, в конденсате наблюдались следы биоорганических примесей). Затем подвергалась сушке, измельчению на шаровой мельнице и фракционированию на ситах, отбиралась фракция 0,8–1,0 мм [15].

Получение активированных углей (АУ). АУ были получены в лаборатории адсорбентов и наполнителей ИОНХ НАН РА. Для экспериментов использовалась

измельченная скорлупа фруктовых косточек фракции 0,5–3,0 мм. Карбонизация проводилась в полулитровом корундовом тигле при температуре 300–700°C продолжительность процесса 1–3 ч в среде азота, активация – в 300-миллилитровом кварцевом реакторе при температуре 700–1000°C, продолжительность процесса 1–5 ч с использованием водяного пара и парогазовой смеси.

Физико-химические свойства полученных АУ [15]:

- удельная поверхность АУ – 980–1440 м²/г (в том числе поверхность мезопор 170–200 м²/г),
- объем микропор – $W_0=0,34\text{--}0,48$ см³/г,
- общий объем микро- и мезопор – 0,45–0,75 см³/г,
- адсорбционная активность по метиленовому голубому – 120–305 мг/г,
- по йоду – 787,4–1092,2 мг/г.

Адсорбция анилина и нитробензола из водных растворов. Сорбенты в количестве $1,0\pm0,01$ г вносили в определенные объемы водного раствора анилина или нитробензола ($100\pm0,1$ мл), с начальной концентрацией 0,01 моль/л для анилина, и 0,005 моль/л для нитробензола. Смесь тщательно перемешивали на магнитной мешалке в течение 6 ч, при температуре 20°C, пробу отстаивали в течение 24 часов, затем фильтровали и определяли количества оставшихся анилина и нитробензола.

Определение остаточных количеств исследуемых веществ осуществлялось двумя методами:

А) Ультрафиолетовой (УФ) спектрофотометрией в области 200–300 нм (рис. 1). Предварительно получены калибровочные спектры (рис. 1, 2) для отдельных молекул.

Следует отметить, что для смеси исследуемых веществ УФ спектроскопия не рекомендуется, из-за наложения спектральных линий.

Б) Высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ), предварительно установив время выхода веществ в наших условиях (рис. 3).

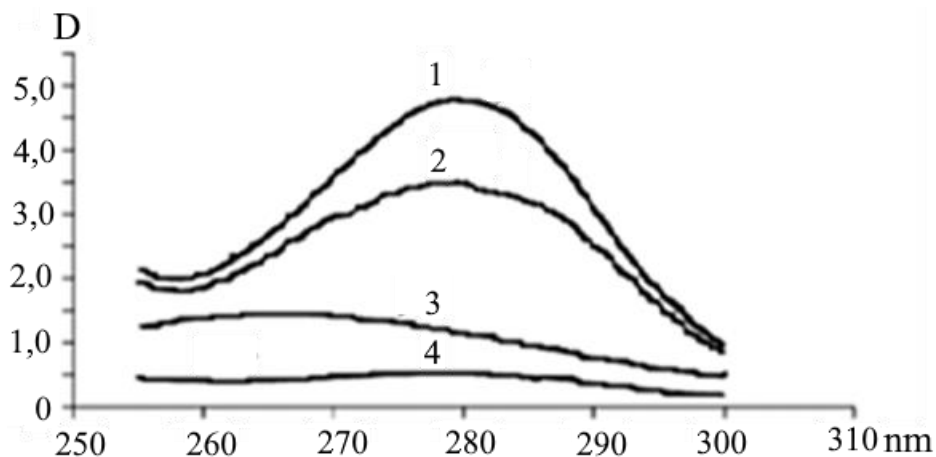


Рис. 1. УФ спектры анилина в разных концентрациях в воде: 1 – 0,01 моль/л; 2 – 0,005 моль/л; 3 – 0,002 моль/л; 4 – 0,0005 моль/л.

Fig. 1. UV spectra of aniline at different concentrations in water: 1 – 0,01 mol/l; 2 – 0,005 mol/l; 3 – 0,002 mol/l; 4 – 0,0005 mol/l.

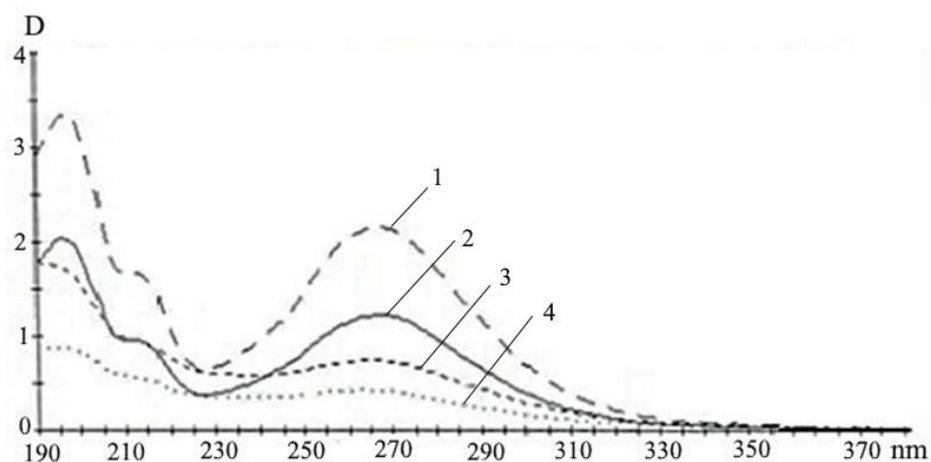


Рис. 2. УФ спектры нитробензола в разных концентрациях в воде: 1 – 0,005 моль/л; 2 – 0,003 моль/л; 3 – 0,002 моль/л; 4 – 0,001 моль/л.

Fig. 2. UV spectra of nitrobenzene at different concentrations in water: 1 – 0,005 mol/l; 2 – 0,003 mol/l; 3 – 0,002 mol/l; 4 – 0,001 mol/l.

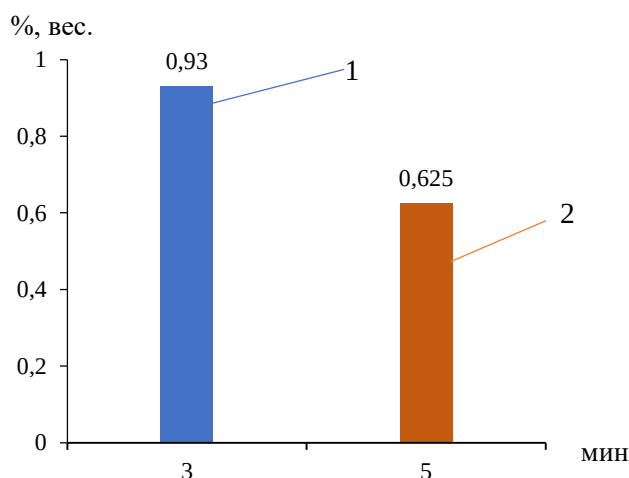


Рис. 3. Спектр ВЭЖХ для водного раствора смеси анилин–нитробензол после их адсорбции: водный раствор анилина (1) с концентрацией 0,01 моль/л и нитробензола (2) 0,005 моль/л.

Fig. 3. HPLC spectrum of an aqueous solution of an aniline–nitrobenzene mixture before adsorption: aqueous solution of aniline (1) with a concentration of 0,01 mol/l and nitrobenzene (2) with a concentration of 0,005 mol/l.

Хроматограммы, полученные после извлечения анилина и нитробензола из водной фазы (рис. 3), показывают, что метод ВЭЖХ эффективен для анализа смеси этих веществ в воде.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Была изучена адсорбционная способность анилина и нитробензола по отдельности на измельченных косточках фруктов и полученных из них активированных углях для их водных растворов. Результаты приведены на рисунках 4 и 5.

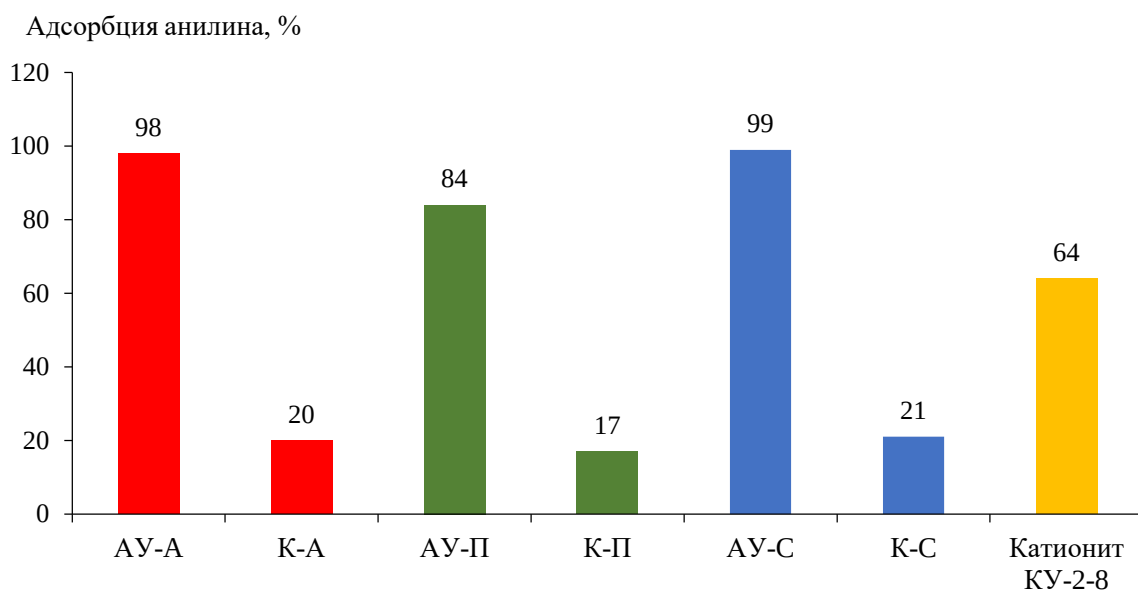


Рис. 4. Адсорбция анилина на косточках фруктов (К-А– абрикос, К-П – персик, К-С –слива) и полученных из них АУ (АУ-А – абрикос, АУ-П – персик, АУ-С – слива) и катионита КУ-2-8.

Fig. 4. Adsorption of aniline on crushed fruit pits (К-А – apricot, К-П – peach, К-С – plum) and activated carbons from them (АУ-А – apricot, АУ-П – peach, АУ-С – plum) and cation exchanger KU-2-8.

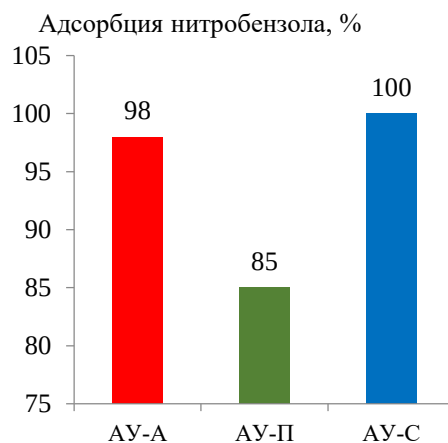


Рис. 5. Адсорбция нитробензола на АУ из косточек абрикоса, персика и сливы (АУ-А, АУ-П, АУ-С).

Fig. 5. Adsorption of nitrobenzene on activated carbons from pits of apricot, peach and plum (АУ-А, АУ-П, АУ-С).

Необходимо отметить, что в водном растворе анилин и нитробензол существуют преимущественно в виде отдельных молекул [19]. Известно, что адсорбция ароматических молекул происходит главным образом за счет конкурентной индивидуальной адсорбции на активных участках поверхности, в то время как локальные π - π и донорно-акцепторные взаимодействия могут приводить к образованию слабых поверхностно-связанных комплексов после адсорбции [11, 19].

Также известно, что удельная поверхность сорбентов из измельченных косточках значительно уступает удельной поверхности активированного угля полученных из них [6, 16]. На основании полученных результатов можно предположить, что в случае адсорбции на исследуемых сорбентах имеет место физическая адсорбция под воздействием Ван-Дер-Ваальсовских сил, а

адсорбционная активность сорбента изменяется в зависимости от типа сорбента, его удельной поверхности и размера и строения молекулы адсорбата.

При оценке адсорбционной способности измельченных косточек и активированных углей, полученных из них, необходимо учитывать, что экономическая эффективность применения сорбентов из возобновляемых источников зависит от ряда факторов:

1. Использование доступных местных отходов производства.
2. Сокращение затрат на более дорогостоящие сорбенты.
3. Отработанные сорбенты, содержащие большое количество органических соединений, могут быть утилизированы путем термического разложения в котельных установках.

Исследованы водные растворы изучаемых веществ, наиболее часто встречающиеся в водных стоках. Эксперименты по адсорбции нитробензола и анилина на активированных углях (рис. 4, 5) показали, что нитробензол и анилин обладают почти одинаковой адсорбционной способностью и константами сорбции. Вследствие этого в настоящих экспериментальных условиях исключается конкурентное поглощение кого-либо из них.

Далее изучалась возможность поглощения исследуемых веществ при совместном нахождении в водной среде, так как реальные сточные воды содержат смеси (рис. 3). Известно, что, когда две органические молекулы присутствуют в растворе и имеют общую поверхность адсорбента, они конкурируют за одни и те же адсорбционные центры [19]. Степень поглощения каждого компонента зависит от:

- размера, формы молекулы;
- полярности;
- способности к образованию специфических взаимодействий с функциональными группами поверхности;
- растворимости в воде;
- π - π взаимодействий с углеродными поверхностями.

В системе анилин–нитробензол оба вещества являются ароматическими, поэтому оба могут взаимодействовать с углеродными поверхностями посредством π - π -стэкинга, но их функциональные группы ведут себя по-разному.

Ниже приводятся данные об основных молекулярных различиях между анилином и нитробензолом, что позволяет объяснить процесс совместной адсорбции изучаемых молекул (табл. 1).

Согласно данным рисунка 4 более высокой адсорбционной активностью по отношению к анилину и нитробензолу обладают АУ из скорлупы косточек сливы и абрикоса, что, по всей вероятности, связано с размерами их пор. Ранее было показано, что среди измельченных косточек фруктов слива также обладает более высокой сорбционной активностью [8].

Механизм адсорбции анилина и нитробензола из водных растворов

Одним из основных критериев оценки адсорбционных свойств адсорбента является изотерма адсорбции, определяющая зависимость активности адсорбента от концентрации адсорбата в равновесных условиях. На рисунке 6 представлены изотермы адсорбции анилина на измельченных косточках сливы (К-С) и АУ из

них. Эти изотермы были получены в результате исследования равновесного состояния водного раствора анилина на этих сорбентах. Графическая зависимость величины адсорбции (А) от концентрации (С) представлена на рис. 6.

Таблица 1. Основные молекулярные различия

Table 1. Major molecular differences

№	Свойство	Анилин	Нитробензол
		Функциональная группа	
		–NH ₂ (основная, электронодонор)	–NO ₂ (сильно электроноакцепторная)
1	Растворимость в воде, г/л (20°C)	36 ¹	2 (малорастворимый) [4]
2	Способность к образованию водородных связей	Да (донор и акцептор)	Только акцептор
3	Относительная полярность	0,42 ¹	4,5 ²

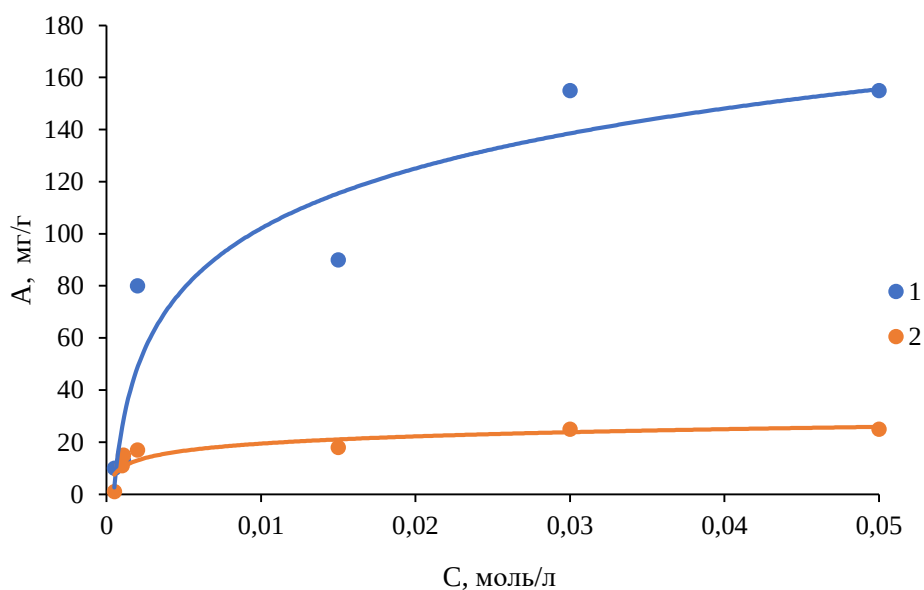


Рис. 6. Изотермы адсорбции анилина на АУ, приготовленном из косточек сливы (1) и на измельченных косточках сливы (2).

Fig. 6. Adsorption isotherms of aniline on activated carbon (AC) prepared from plum pit shells (PPS) (1) and PPS (2).

Та же зависимость для водного раствора нитробензола представлена на рис. 7.

¹ https://www.chemicalbook.com/chemicalproductproperty_ru_cb7169544.htm

² https://www.chemicalbook.com/chemicalproductproperty_ru_cb7854756.htm

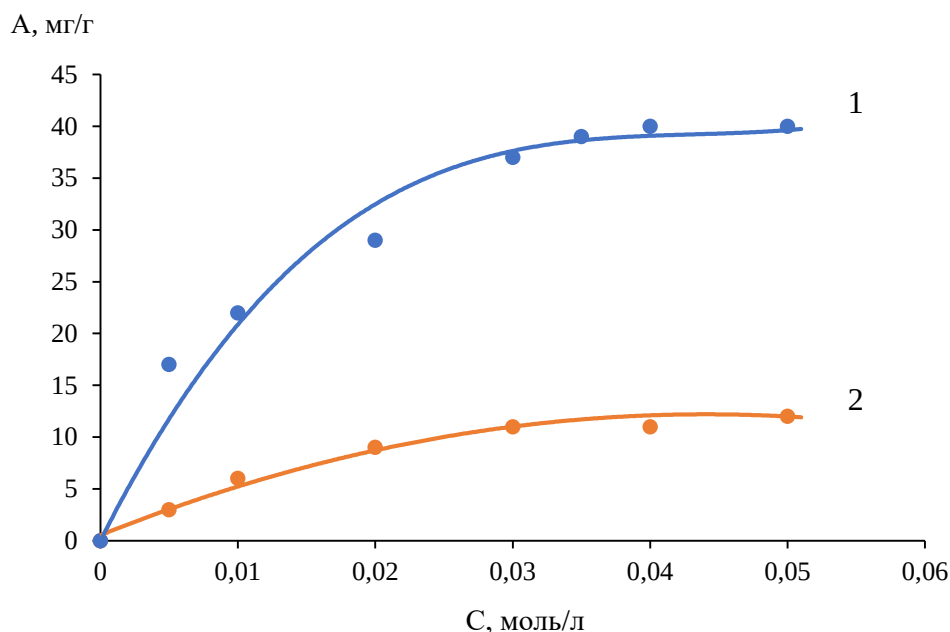


Рис. 7. Изотермы адсорбции нитробензола на АУ-С (1) и на К-С (2).

Fig. 7. Adsorption isotherms of nitrobenzene on AC prepared from PPS (1) and PPS (2).

На рисунках 6 и 7 представлены изотермы по адсорбции анилина и нитробензола на сорбентах на основе измельченных косточек сливы и АУ из них. Из рисунков видно, что сорбционная активность АУ в обоих случаях намного выше активности косточек.

Известно, адсорбция жидкостей на твердых адсорбентах описывается эмпирическими уравнениями, полученными опытным путем, такими как уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра [18, 20]. Следует отметить, что уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра достаточно хорошо описывают процесс адсорбции при малых и больших концентрациях адсорбентов, а уравнение Фрейндлиха применимо только для средних концентраций органических веществ в растворе [5, 18, 20].

И действительно, рассмотрение экспериментальных и теоретических фактов по адсорбции анилина и нитробензола из водных растворов при малых концентрациях на измельченных косточках фруктов (в данном случае сливы, а также абрикоса) показало, что в этом случае процесс адсорбции может быть описан уравнением изотермы Ленгмюра [5, 18]. Также известно, что уравнение Ленгмюра применимо только для частного случая адсорбции, когда адсорбат адсорбируется на поверхности адсорбента мономолекулярным слоем [16, 18]. Такое расположение адсорбата на адсорбенте следует ожидать при его низких концентрациях.

Как видно из рисунков 8–11, адсорбционные изотермы адсорбции анилина и нитробензола из сточных вод достаточно хорошо описываются уравнением Ленгмюра.

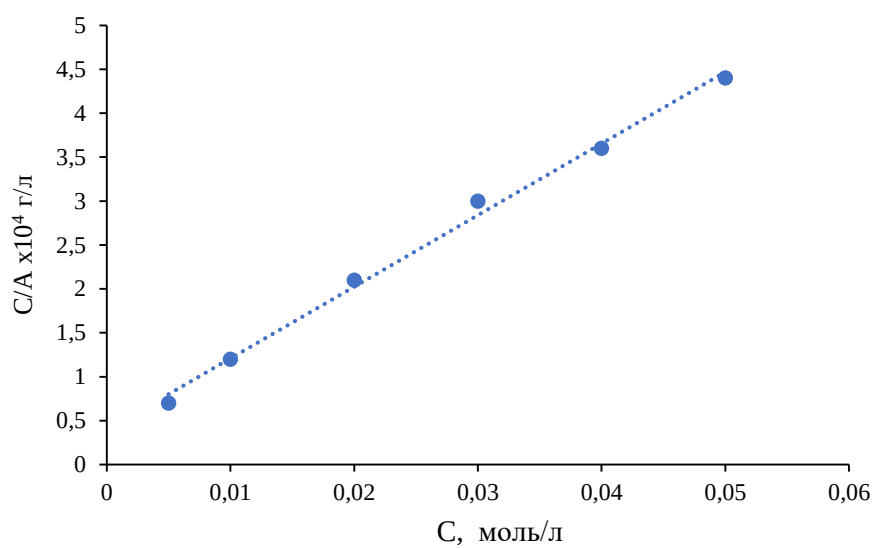


Рис. 8. Линейная корреляция изотермы Ленгмюра для адсорбции анилина на АУ-С.

Fig.8. The linear correlation of Langmuir isotherm for the adsorption of aniline on AC prepared PPS.

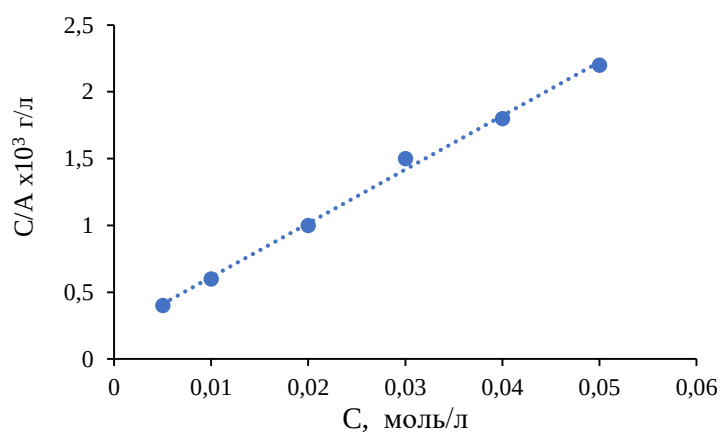


Рис. 9. Линейная корреляция изотермы Ленгмюра для адсорбции анилина на К-С.

Fig.9. The linear correlation of Langmuir isotherm for the adsorption of aniline on PPS.

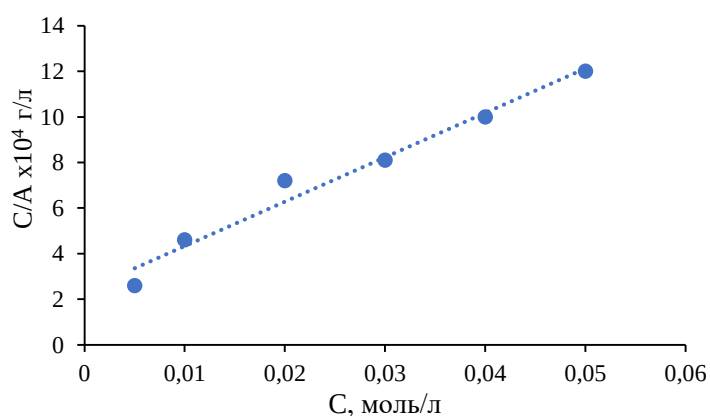


Рис. 10. Линейная корреляция изотермы Ленгмюра для адсорбции нитробензола на АУ-С.

Fig.10. The linear correlation of Langmuir isotherm for the adsorption of nitrobenzene on AC prepared from PPS.

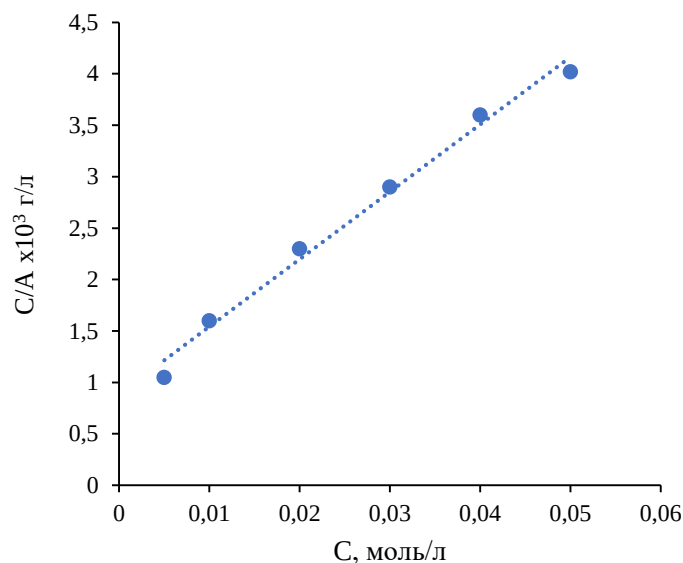


Рис. 11. Линейная корреляция изотермы Ленгмюра для адсорбции нитробензола на К-С.

Fig.11. The linear correlation of Langmuir isotherm for the adsorption of nitrobenzene on PPS.

Из рисунков 8–11 видно хорошее соответствие экспериментальных данных уравнению Ленгмюра. Для обоих адсорбентов наблюдается почти идеальная линейность, но с различной адсорбционной способностью.

Рассчитаны также данные для уравнения Фрейндлиха при изучении адсорбции анилина на исследуемых сорбентах (рис. 12, 13).

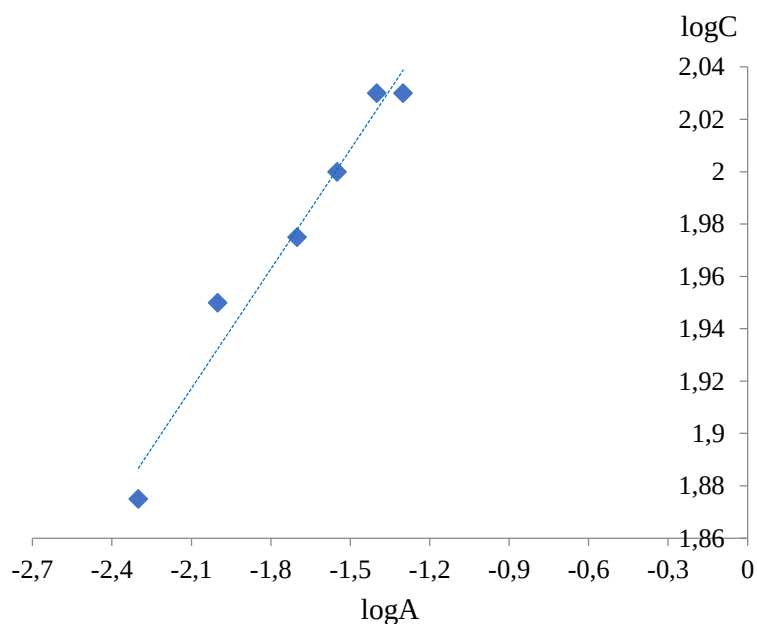


Рис. 12. Линейная корреляция изотермы Фрейндлиха для адсорбции анилина на АУ-С.

Fig. 12. The linear correlation of Freundlich isotherm for the adsorption of aniline on AC prepared PPS.

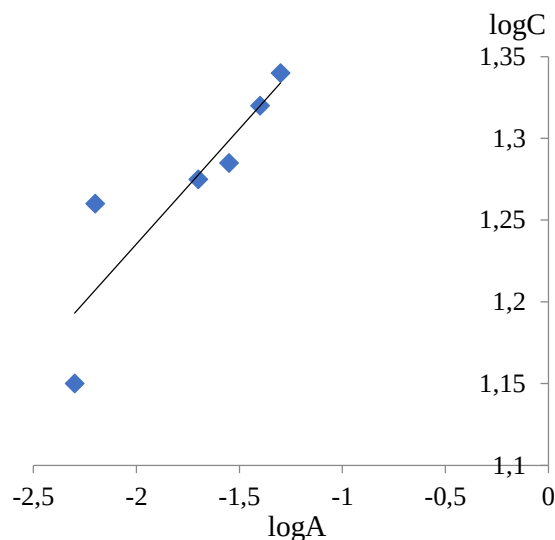


Рис. 13. Линейная корреляция изотермы Фрейндлиха для адсорбции анилина на АУ, приготовленном из КСл.

Fig.13. The linear correlation of Freundlich isotherm for the adsorption of aniline on AC prepared PPS.

Рисунки 12, 13 показывают нецелесообразность применения уравнения Фрейндлиха для изучения адсорбции анилина и нитробензола при малых концентрациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по адсорбции анилина и нитробензола, а также их бинарных смесей в водных растворах с использованием активированных углей, полученных на основе косточек ряда фруктов (абрикоса, персика и сливы) широко распространенных в Армении, а также из измельченных косточек установлено:

1. Активированные угли из косточек фруктов демонстрируют значительно более высокую адсорбционную способность по сравнению с измельченными косточками и могут служить в качестве эффективных сорбентов для извлечения анилина и нитробензола из водных растворов.
2. Наиболее высокой адсорбционной активностью отличаются АУ из косточек сливы и абрикоса. Их активность значительно превышает активность обычно используемого катионита марки КУ-2-8.
3. Измельченные косточки фруктов имеют существенно меньшую адсорбционную способность. Но при экономических расчетах эта низкая активность может компенсироваться отсутствием затрат на производство из них активированного угля.
4. Установлено, что процесс адсорбции анилина и нитробензола из водной смеси на АУ и измельченных косточках сливы лучше соответствует модели Ленгмюра, чем модели Фрейндлиха.
5. Высокая корреляция экспериментальных данных указывает на монослойную адсорбцию на относительно однородных поверхностях.

Таким образом, АУ из косточек сливы и абрикоса представляют собой экологически чистые биосорбенты с адсорбционной активностью по отношению к таким опасным органическим загрязнителям, каковыми являются анилин и

нитробензол. Полученные результаты будут служить основой для дальнейшего изучения адсорбции бинарной смеси анилин/нитробензол.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS:

The authors declare no conflict of interests.

Список литературы:

1. Полотнюк О. Я. (2013). К истории пуска первого производства анилина парофазным контактным восстановлением нитробензола водородом. *Катализ в промышленности*, 4, 77–80.
2. Рапопорт В. Л., Пелых Т. И., Золотухина Г. Ф., Бердников Н. В. (2007). Экспрессное определение нитробензола в природной воде методом ВЭЖХ. *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*, (2), 146–150.
3. Сборник методических указаний МУК 4.1.646 - 4.1.660-96, Минздрав России, Москва 1997.
4. Сборник методических указаний МУК 4.1.737-99- 4.1.754-99 (Выпуск 2) Минздрав России, Москва 1999.
5. Полетаева М. А., Комарова Л. Ф. (2007). Экологические технологии: исследования по разработке технологии очистки сточных вод от анилина. *Инженерная экология*, (1), 40–47.
6. Алексанян А. Р., Арутюнян С. А., Торосян Г. О. (2007). Поглощение анилина из водных растворов сорбентами. *Химический журнал Армении*, 60(3), 481–485.
7. Midda, M. O., Srivastava, V. Ch., & Kushwaha, J. P. (2020). Optimizing experimental binary adsorption of aniline–nitrobenzene onto granular activated carbon packed bed by Taguchi's methodology. *Journal of Water Process Engineering*, 34, 101045.
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101045>.
8. Bansal, R., & Goyal, M. (2005). Activated Carbon Adsorption. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420028812>.
9. Tan XiaoFei, T. X., Liu YunGuo, L. Y., Zeng GuangMing, Z. G., Wang Xin, W. X., Hu XinJiang, H. X., Gu YanLing, G. Y., & Yang ZhongZhu, Y. Z. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*, 125, 70–85.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>.
10. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. Nitrobenzene and Aniline. (2017).
11. Villacañas, F., Pereira, M. F. R., Órfão, J. J., & Figueiredo, J. L. (2006). Adsorption of simple aromatic compounds on activated carbons. *Journal of Colloid and Interface Science*, 293(1), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.06.032>.
12. RU (11) 2 622 660(13) C1. Способ получения активированного модифицированного угля. Заявка: 2016105328, 18.02.2016.
13. Yağşi, N. U. (2004). *Production and characterization of activated carbon from apricot stones* (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
14. Ahmedna, M., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (2000). Granular Activated Carbons from Agricultural By-products: Preparation, Properties, and Application in Cane Sugar Refining (Bulletin# 869).
15. Торосян Г. О., Алексанян А. Р., Мартиросян В. Г., Галстян Г. Ф., Давтян В. А., Саркизова Ю. С., Казинян А. А. (2008). Использование сельхозотходов в качестве сорбента для удаления органических веществ из водных растворов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 51(12), 99–101.
16. Алиева А. К., Селимов Ч. А., Саитов Р. М., Баламирзоева Р. М. (2020). Получение угольного сорбента для средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) из скорлупы

косточек плодовых культур. Материалы 24-ой Международной специализированной онлайн выставки «Безопасность и охрана труда» БИОТ-2020, Москва, 08–11 декабря.

17. Ahmad, A. A., Al-Raggad, M., & Shareef, N. (2021). Production of activated carbon derived from agricultural by-products via microwave-induced chemical activation: a review. *Carbon Letters*, 31(5), 957–971. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00208-z>.
18. Грег С., Синг К. (1984). Адсорбция, удельная поверхность, пористость. *Москва: Мир*.
19. Jadhav, A. J., & Srivastava, V. C. (2013). Adsorbed solution theory based modeling of binary adsorption of nitrobenzene, aniline and phenol onto granulated activated carbon. *Chemical engineering journal*, 229, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.021>.
20. Parfitt, G.D., & Rochester, C.H. (1983). Adsorption from solution at the solid/liquid interface.

References:

1. Polotnyuk, O. Ya. (2013). On the history of the launch of the first aniline production by vapor-phase contact reduction of nitrobenzene with hydrogen. *Catalysis in Industry*. 4, 77–80.
2. Rapoport, V. L., Pelykh, T. I., Zolotukhina, G. F., & Berdnikov, N. V. (2007). Rapid determination of nitrobenzene in natural water by HPLC. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, (2), 146–150.
3. Collection of methodological guidelines MUK 4.1.646-4.1.660-96, Ministry of Health of Russia, Moscow 1997.
4. Collection of methodological guidelines MUK 4.1.737-99-4.1.754-99 (Issue 2) Ministry of Health of Russia, Moscow 1999.
5. Poletaeva, M. A., Komarova, L. F. (2007). Environmental technologies: research on the development of technology for wastewater treatment from aniline. *Engineering Ecology*, (1), 40–47.
6. Aleksanyan, A. R., Harutyunyan, S. A., & Torosyan, G. O. (2007). Absorption of aniline from aqueous solutions by sorbents. *Chemical Journal of Armenia*. 60(3), 481–485.
7. Midda, M.O., Srivastava V. Ch., & Kushwaha, J.P. (2020). Optimizing experimental binary adsorption of aniline–nitrobenzene onto granular activated carbon packed bed by Taguchi’s methodology. *Journal of Water Process Engineering*. 34, 101045. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101045>.
8. Bansal R., & Goyal M. (2005). Activated Carbon Adsorption. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420028812>.
9. Xiaofei Tan, Yunguo Liu, Guangming Zeng, Xin Wang, Xinjiang Hu, Yanling Gu, & Zhongzhu Yang. (2015). Application of biochar for the removal of pollutants from aqueous solutions. *Chemosphere*. 125, 70–85. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.12.058>.
10. WHO. Guidelines for Drinking-water Quality. Nitrobenzene and Aniline. (2017).
11. Villacanas F., Manuel F. R., Pereira J., Órfão J.M., & José Luís Figueiredo. (2006). Adsorption of simple aromatic compounds on activated carbons. *Journal of Colloid and Interface Science*. 293(1), 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.06.032>.
12. RU (11) 2 622 660(13) C1. Method for producing activated modified carbon. Application: 2016105328, 18.02.2016.
13. Yağşi, N. U. (2004). *Production and characterization of activated carbon from apricot stones* (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).
14. Ahmedna, M., Marshall, W. E., & Rao, R. M. (2000). Granular Activated Carbons from Agricultural By-products: Preparation, Properties, and Application in Cane Sugar Refining (Bulletin# 869).
15. Torosyan, G. O., Aleksanyan, A. R., Martirosyan, V. G., Galstyan, G. F., Davtyan, V. A., Sarkizova, Yu. S., & Kazinyan A. A. (2008). Use of agricultural waste as a sorbent for the removal of organic matter from aqueous solutions. *ChemChemTech = Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 51(12), 99–101.
16. Alieva, A. K., Selimov, Ch. A., Saitov, R. M., & Balamirzoeva R. M. (2020). Production of carbon sorbent for personal respiratory protective equipment (PPE) from fruit seed shells. Proceedings of the 24th International Specialized Online Exhibition “Occupational Safety and

Health” BIOT-2020, Moscow, December 8–11. Abdulbari A. Ahmad, Marwan Al-Raggad, & Noama Shareef. Production of activated carbon derived from agricultural by-products via microwave-induced chemical activation: a review, *Carbon Letters*
<https://doi.org/10.1007/s42823-020-00208-z>.

17. Ahmad, A. A., Al-Raggad, M., & Shareef, N. (2021). Production of activated carbon derived from agricultural by-products via microwave-induced chemical activation: a review. *Carbon Letters*, 31(5), 957–971. <https://doi.org/10.1007/s42823-020-00208-z>.
18. Greg, S., & Sing, K. (1984). Adsorption, specific surface, porosity. Moscow: Mir.
19. Jadhav, A. J., & Srivastava, V. C. (2013). Adsorbed solution theory based modeling of binary adsorption of nitrobenzene, aniline and phenol onto granulated activated carbon. *Chemical engineering journal*, 229, 450–459. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.06.021>.
20. Parfitt, G.D., & Rochester, C.H. (1983). Adsorption from solution at the solid/liquid interface.