

DOI: 10.58168/TBiEc2025_344-348

УДК 66.092-977

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПИРОЛИЗА КОСТОЧЕК СЛИВЫ И ДРУГИХ
ПЛОДОВЫХ КОСТОЧЕК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ**
COMPARATIVE ANALYSIS OF PYROLYSIS OF PLUM SEEDS AND OTHER FRUIT SEEDS
FOR THE PRODUCTION OF ACTIVATED CARBON

Сотников В.Г., к.т.н., доцент Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия. **Sotnikov V.G.**, PhD, Associate Professor Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Краснова К.Р., магистрант Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия. **Krasnova K.R.**, graduate student Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Сафин Р.Г., д.т.н., профессор Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия. **Safin R.G.**, doctor of Engineering, Professor Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Ильясов И.Р., аспирант Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия. **Ilyasov I.R.**, postgraduate Student Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.

Аннотация: рассматриваются процессы переработки косточек сливы, абрикоса и вишни в активированный уголь, изучаются их адсорбционные свойства и условия получения. Проведен сравнительный анализ технических характеристик, таких как удельная поверхность, объем пор и сорбционная активность. Лучшие результаты достигнуты для активированного угля из косточки абрикоса, близкий уровень показал уголь из косточки сливы. Косточка вишни отличилась минимальной зольностью и оптимальным соотношением пор. Определены оптимальные условия пиролиза, включая температуру, скорость разогрева и режим охлаждения. Исследование подтвердило перспективность использования косточек плодовых культур для производства активированного угля с высокими адсорбционными характеристиками.

Abstract: the processes of processing plum, apricot and cherry seeds into activated carbon are considered, their adsorption properties and production conditions are studied. A comparative analysis of such technical characteristics as specific surface area, pore volume and sorption activity has been carried out. The best results were achieved for activated carbon from apricot kernels, a similar level was shown by coal from plum kernels. The cherry stone was characterized by minimal ash content and optimal pore ratio. Optimal pyrolysis conditions, including temperature, heating

rate, and cooling mode, have been determined. The study confirmed the prospects of using fruit seeds for the production of activated carbon with high adsorption characteristics.

Ключевые слова: растительное сырье, косточковые плоды, активированный уголь, пиролиз.

Keywords: plant raw materials, stone fruits, activated carbon, pyrolysis.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00043, <https://rscf.ru/project/25-26-00043/>

Активированный уголь производится из разнообразного сырья, содержащего углерод, проявляя свойства высокоэффективного адсорбента. Научные исследования свидетельствуют о распространенной практике изготовления активированного угля путем переработки различных видов агропромышленных отходов, включая следующие материалы: скорлупа грецкого ореха, косточка абрикоса, косточка сливы, виноградные косточки, косточки вишни, миндальная скорлупа. Результаты исследований показывают широкий спектр возможных исходных материалов для производства активированного угля и создают условия для рационального использования отходов сельскохозяйственного производства [1-4].

В данной работе в качестве исходного материала использованы косточки сливы, косточки абрикоса и косточки вишни.

Косточковые плоды — это разновидность плодов, особенностью которых является наличие крупной центральной косточки, внутри которой скрыто семя [5].

Слива, абрикос и вишня относятся к одному семейству и их косточки имеют схожий химический состав. Содержание органических компонентов косточек варьируется в зависимости от сорта плода: содержание целлюлозы составляет около 37 – 44%, лигнина 18 – 32%. Одним из отличий данных косточек является масса: масса косточки сливы составляет 9 – 16% от общей массы плода; косточка абрикоса 7 – 13%; косточка вишни 2 – 5% [6-8].

Обработка косточек — это технология преобразования растительных остатков в различные продукты, включающие биоуголь и активированный уголь [9].

Переработка косточек сливы, абрикоса и вишни в активированный уголь осуществляется в несколько основных этапов. Первым этапом является подготовка сырья: косточки измельчаются до размера частиц 1 мм, измельчение осуществляется в вальцевой мельнице; сушатся в сушильной камере до влажности 10%. Следующий этап – карбонизация измельченных косточек. Карбонизация протекает без доступа кислорода при температуре 400 – 600°C. Далее материал подвергается активации горячим водяным паром при средней температуре 600°C.

Определение технических характеристик данных активированных углей, указанных в таблице 1, осуществляется по ГОСТам. Удельная поверхность активированных углей и сорбционная активность по йоду измерялись в соответствии с методиками, указанными в ГОСТ 6217-74. Определение объема пор осуществляется по методике из ГОСТ 17219-71.

Показатель зольности активированных углей установлен в соответствии с требованиями ГОСТ 55960-2014.

Таблица 1 - Сравнительные технические характеристики активированных углей из косточки сливы, абрикоса и вишни

Наименование показателей \ Сырье	АУ-С	АУ-А	АУ-В
Удельная поверхность, м ² /г	760	825	653
Объем пор, см ³ /г	0,54	0,62	0,46
Сорбционная активность по йоду, мг/г	976	1030	870
Показатель зольности, %	2,5	2,9	2

Исходя из данных таблицы, видно, что активированный уголь из косточки абрикоса показывает хорошие характеристики по большинству критериев: удельная поверхность, объем пор и сорбционная активность. Активированный уголь из косточки сливы уступает абрикосу, но остаётся достаточно конкурентоспособной, особенно в сорбционных характеристиках. Активированный уголь из косточки вишни демонстрирует наименьшие показатели по многим параметрам, но показывает низкий уровень зольности.

Важную роль в производстве и применении активированных углей играют типы пор, они определяют эффективность и адсорбционную способность активированного угля. Анализ размера и соотношения пор в активированных углях из сливы, абрикоса и вишни указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Распределение пор по типам в активированном угле из косточки сливы, абрикоса и вишни

Тип пор \ Сырье	АУ-С	АУ-А	АУ-В
Микропоры	65%	64%	57%
Мезопоры	26%	26%	30%
Макропоры	7%	7%	6%

Анализ данных показал, что косточки сливы и абрикоса дают активированный уголь с преобладанием микропор, что делает их наиболее подходящими для адсорбции мелких молекул. Косточка вишни предлагает хороший баланс между микропорами и мезопорами, что расширяет сферы применения активированного угля, включая адсорбцию средних и крупных молекул.

Косточки сливы, абрикоса и вишни содержат некоторое количество летучих веществ, которые могут играть роль в процессе пиролиза и карбонизации при получении активированного угля.

Средние показатели содержания летучих веществ: косточка сливы: 5–10%; косточка абрикоса: 6–12%; косточка вишни: 4–8%.

Из-за различий химических и физических характеристик представленных косточек, условия пиролиза схожи, но есть и определенные различия.

Оптимальные температуры пиролиза находятся в одном диапазоне 400 – 600°C для всех косточек. Минимальная температура пиролиза для получения качественного активированного угля из косточки сливы составляет 500°C, из косточки абрикоса - 550°C, из косточки вишни - 450°C.

Скорость разогрева при пиролизе оказывает значительное влияние на процесс и качество получаемого активированного угля. Косточка сливы и абрикоса допускает быстрый нагрев (около 10–20 °C/мин), тогда как косточка вишни лучше переносит медленный нагрев (5–10 °C/мин).

Также важную роль в процессе пиролиза играет режим охлаждения. Косточка сливы и абрикоса быстрее охлаждаются после окончания пиролиза, в то время как косточки вишни нуждаются в более плавном охлаждении для недопущения трещин и дефектов.

Проведённое исследование показало, что активированный уголь, полученный из косточек сливы, абрикоса и вишни, обладает высокими адсорбционными характеристиками и может эффективно использоваться в различных сферах. Наиболее удачными оказались результаты для активированного угля из косточек абрикоса, косточки сливы показала близкие результаты, уступая лишь незначительно по уровню сорбционной активности. Косточка вишни имела наименьшие показатели, но отличилась самой низкой зольностью и показала оптимальное соотношение микро- и мезопор, расширяя спектр адсорбируемых веществ и молекул.

Список литературы

1. Методика расчета зоны активации в установке производства активированного угля / Р. Г. Сафин, Р. Р. Зиатдинов, В. Г. Сотников, Д. Г. Рябушкин // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2021. – № 4(212). – С. 43-50. – DOI 10.17213/1560-3644-2021-4-43-50.
2. Конденсатор смешения для разделения пиролизных газов / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников, Д. Г. Рябушкин [и др.] // Деревообрабатывающая промышленность. – 2021. – № 4. – С. 84-91.
3. Энергосберегающая технология переработки древесных отходов / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников, И. Р. Каримов [и др.] // Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 19–20 октября 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2021. – С. 192-196. – DOI 10.34220/ERSTST2021_192-196.

4. Обзор существующих установок для производства пиролизного топлива / В. Г. Сотников, А. Н. Загиров, Д. А. Гурьянов [и др.] // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 3(59). – С. 117-122. – DOI 10.18324/2077-5415-2023-3-117-122.
5. Evert R.F., Esau K. Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development. John Wiley & Sons, 2006.
6. Palazoglu T.K., Atilgan C., Canakci M. Physical Properties of Apricot, Plum and Cherry Stones. International Agrophysics, Volume 22, Number 4, December 2008, Pages 313-318.
7. Горина В.М., Корзин В.В., Месяц Н.В., Марчук Н.Ю. Содержание химических веществ в плодах и продуктах переработки абрикоса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2018. — №73. — С. 32–35.
8. Ерёмин, Г.В. Помология, том III. Косточковые культуры. — Орёл. Издательство ВНИИСПК, 2008. — С. 5—7

References

1. Methodology for calculating the activation zone in an activated carbon production unit / R. G. Safin, R. R. Ziatdinov, V. G. Sotnikov, D. G. Ryabushkin // News of higher educational institutions. North Caucasus region. Technical sciences. - 2021. - No. 4 (212). - P. 43-50. - DOI 10.17213 / 1560-3644-2021-4-43-50.
2. Mixing condenser for separating pyrolysis gases / R. G. Safin, V. G. Sotnikov, D. G. Ryabushkin [et al.] // Woodworking industry. - 2021. - No. 4. - P. 84-91. 3. Energy-saving technology for processing wood waste / R. G. Safin, V. G. Sotnikov, I. R. Karimov [et al.] //
3. Ecological and resource-saving technologies in science and technology: Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, October 19–20, 2021. - Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, 2021. - Pp. 192-196. - DOI 10.34220/ERSTST2021_192-196.
4. Review of existing installations for the production of pyrolysis fuel / V. G. Sotnikov, A. N. Zagirov, D. A. Guryanov [et al.] // Systems. Methods. Technologies. - 2023. - No. 3 (59). - Pp. 117-122. – DOI 10.18324/2077-5415-2023-3-117-122.
5. Evert R.F., Esau K. Esau's Plant Anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Planet Body: Their Structure, Function, and Development. John Wiley & Sons, 2006.
6. Palazoglu T.K., Atilgan C., Canakci M. Physical Properties of Apricot, Plug and Cherry Stones. International Agrophysics, Volume 22, Number 4, December 2008, Pages 313-318.
7. Gorina V.M., Korzin V.V., Monts N.V., Marchuk N.Yu. The content of chemicals in fruits and processed apricot products // Proceedings of the Kuban State Agrarian University. - 2018. — No. 73. — pp. 32-35.
8. Eremin, G.V. Pomology, volume III. Stone-stone crops. — The eagle. VNIISPK Publishing House, 2008. pp. 5-7