

УДК 622.23.054.53

UDC 622.23.054.53

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

СОРБЦИОННАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ АПК ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ МИКРО- И МЕЗОПОРИСТОСТИ

SORPTION SPECIALIZATION OF ACTIVATED CARBONS FROM SECONDARY PLANT RAW MATERIALS OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX BY MICRO- AND MESOPOROSITY INDICATORS

Сотников Виктор Георгиевич

Sotnikov Viktor Georgievich

к.т.н, доцент

Cand.Tech.Sci., Associate Professor

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Представлены результаты оценки сорбционной специализации активированных углей, полученных из семи видов вторичного растительного сырья агропромышленного комплекса: лузги семян подсолнечника, лузги гречихи, ствола подсолнечника, свекловичного жома, костры масличного льна, скорлупы грецкого ореха и скорлупы косточки абрикоса. Показано, что выбор сырья для получения активированного угля должен осуществляться не по одному показателю, а по совокупности характеристик микро- и мезопористости

The article presents the results of assessing the sorption specialization of activated carbons obtained from seven types of secondary plant raw materials of the agro-industrial complex: sunflower seed husk, buckwheat husk, sunflower stalk, sugar beet pulp, oil flax shive, walnut shell and apricot stone shell. It is shown that the choice of raw material for activated carbon production should be based not on a single indicator, but on a combination of micro- and mesoporosity characteristics

Ключевые слова: АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ, ВТОРИЧНОЕ РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ, АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС, СОРБЦИОННАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ, МИКРОПОРИСТОСТЬ, МЕЗОПОРИСТОСТЬ, ЙОДНОЕ ЧИСЛО, МЕТИЛЕНОВЫЙ ГОЛУБОЙ

Keywords: ACTIVATED CARBON, SECONDARY PLANT RAW MATERIALS, AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX, SORPTION SPECIALIZATION, MICROPOROSITY, MESOPOROSITY, IODINE NUMBER, METHYLENE BLUE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-220-057>

Благодарности: Работа выполнена за счет гранта, предоставленного Академией наук Республики Татарстан образовательным организациям высшего образования, научным и иным организациям на поддержку планов развития кадрового потенциала в части стимулирования их научных и научно-педагогических работников к защите докторских диссертаций и выполнению научно-исследовательских работ (Соглашение №10/2025-ПД-КНИТУ от 22.12.2025)

Acknowledgments: The work was carried out with financial support from a grant provided by the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan to educational institutions of higher education, scientific and other organizations to support human resource development plans aimed at encouraging research and academic staff to defend doctoral dissertations and perform research work (Agreement No. 10/2025-PD-KNRTU dated December 22, 2025)

Введение. Активированный уголь широко применяется для очистки воды, газов, технологических растворов и промышленных выбросов. Его эффективность определяется не только величиной удельной поверхности,

но и соотношением микро- и мезопор, доступностью порового пространства для молекул различного размера и прочностью гранул.

Оценка качества активированного угля только по одному показателю, например йодному числу или удельной поверхности, недостаточна. Йодное число в большей степени характеризует развитие микропористой структуры, тогда как адсорбция метиленового голубого связана с доступностью более крупных пор и способностью сорбировать молекулы большего размера. Поэтому для определения области применения активированного угля необходимо учитывать совокупность показателей микро- и мезопористости.

В работе рассмотрены активированные угли, полученные из семи видов вторичного растительного сырья АПК: лузги семян подсолнечника, лузги гречихи, ствола подсолнечника, свекловичного жома, костры масличного льна, скорлупы грецкого ореха и скорлупы косточки абрикоса.

Цель работы — оценить сорбционную специализацию активированных углей из различных видов вторичного растительного сырья АПК по показателям микро- и мезопористости.

Методы и материалы исследования. Объектами исследования являлись гранулированные активированные угли, полученные из семи видов вторичного растительного сырья АПК: лузги семян подсолнечника, лузги гречихи, ствола подсолнечника, свекловичного жома, костры масличного льна, скорлупы грецкого ореха и скорлупы косточки абрикоса.

Выбранные виды сырья относятся к различным группам растительных отходов и отличаются плотностью, фракционным составом, зольностью, содержанием лигноцеллюлозных компонентов и способностью к формированию карбонизованного полуфабриката [1–3]. Это позволяет сопоставить не только общий уровень сорбционных свойств, но и направленность формирования микро- и мезопористой структуры активированных углей.

Получение активированных углей включало предварительную подготовку сырья, сушку, измельчение, формование гранул, медленный пиролиз и последующую паровую активацию карбонизатов. Паровая активация проводилась перегретым водяным паром до формирования развитой пористой структуры. После активации образцы охлаждали и подвергали определению сорбционных и физико-механических характеристик [4–5].

Для оценки микропористости использовали йодное число, характеризующее способность активированного угля адсорбировать низкомолекулярные вещества. Для оценки вклада более крупных пор определяли адсорбцию метиленового голубого, которая отражает доступность порового пространства для молекул большего размера. Дополнительно учитывали удельную поверхность, общий объём пор и механическую прочность гранул.

Сорбционная специализация активированных углей оценивалась по совокупности показателей. Образцы с высокими значениями йодного числа и развитой удельной поверхностью рассматривались как преимущественно микропористые сорбенты. Образцы с повышенной адсорбцией метиленового голубого относились к материалам с выраженным вкладом мезопористой структуры. При этом механическая прочность гранул учитывалась как ограничивающий технологический показатель, определяющий пригодность угля к практическому применению в насыпных и фильтрующих слоях.

Результаты исследований. Сравнение активированных углей, полученных из различных видов вторичного растительного сырья АПК, показало, что природа исходного сырья существенно влияет на направленность формирования пористой структуры. Полученные материалы отличаются не только уровнем сорбционной активности, но и соотношением показателей, характеризующих микро- и мезопористость.

На рис. 1 представлены значения йодного числа активированных углей, полученных из исследованных видов сырья.

Полученные данные показывают, что высокие значения йодного числа характерны не только для традиционно плотных косточково-ореховых материалов, но и для отдельных лузговых и лубяных отходов. Это указывает на возможность формирования выраженной микропористой структуры у активированных углей из разных морфологических групп растительного сырья. Следовательно, способность сырья формировать микропористый сорбент определяется не только его плотностью, но и характером термохимической трансформации карбонизата при активации.

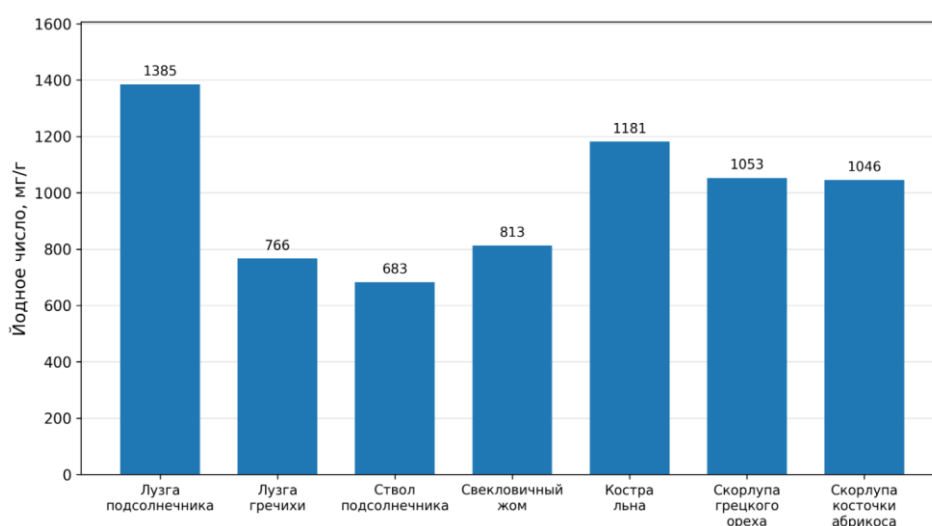


Рис. 1. Йодное число активированных углей, полученных из различных видов вторичного растительного сырья АПК

На рис. 2 представлены значения адсорбции метиленового голубого активированными углями из исследованных видов сырья.

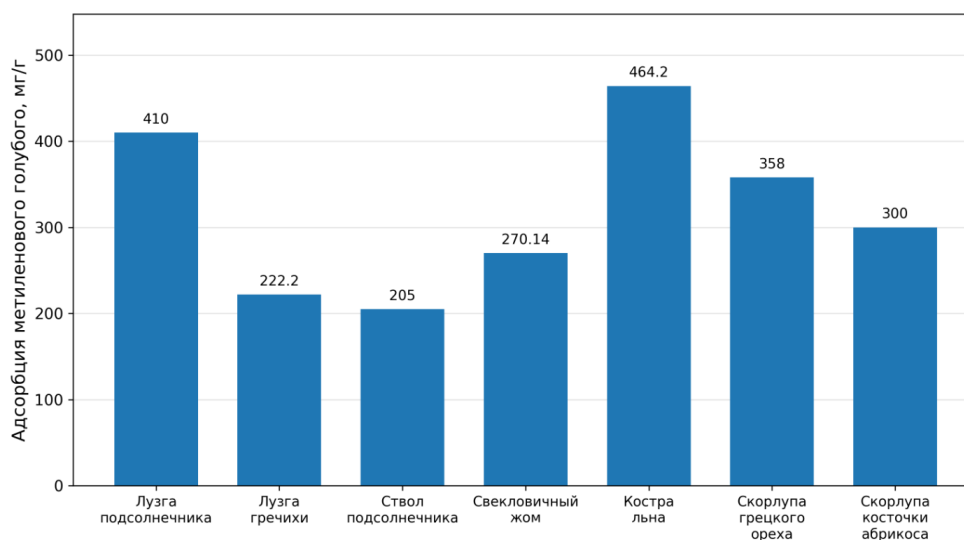


Рис. 2. Адсорбция метиленового голубого активированными углями, полученными из различных видов вторичного растительного сырья АПК

Анализ данного показателя позволяет оценить доступность порового пространства для более крупных органических молекул. В отличие от йодного числа, адсорбция метиленового голубого характеризует не столько общий уровень микропористости, сколько наличие мезопор и транспортных каналов. Поэтому расхождение между активностью по йоду и метиленовому голубому указывает на различие функционального назначения получаемых сорбентов.

На рис. 3 представлена карта сорбционной специализации активированных углей по двум показателям: йодному числу и адсорбции метиленового голубого.

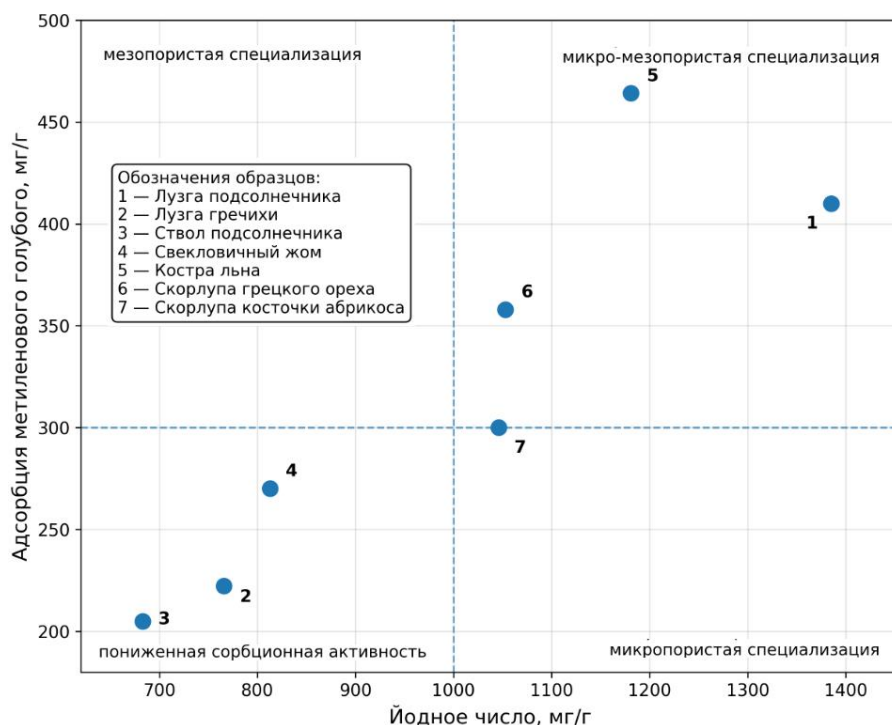


Рис. 3. Карта сорбционной специализации активированных углей из вторичного растительного сырья АПК по йодному числу и адсорбции метиленового голубого

Карта сорбционной специализации показывает, что исследованные активированные угли нельзя ранжировать только по принципу «лучше — хуже». Материалы с высоким йодным числом целесообразно рассматривать как сорбенты с выраженной микропористой направленностью, пригодные для сорбции низкомолекулярных веществ и газофазных органических соединений. Образцы с повышенной адсорбцией метиленового голубого имеют более выраженную мезопористую и транспортную структуру, что делает их перспективными для сорбции крупных органических молекул, красителей и компонентов технологических растворов.

Таким образом, сорбционная специализация активированных углей определяется не отдельным максимальным показателем, а соотношением микропористой и мезопористой составляющих. Плотные косточково-

ореховые материалы преимущественно ориентированы на получение микропористых сорбентов, тогда как отдельные лузговые и лубяные отходы могут формировать угли с развитой микро-мезопористой структурой. Это позволяет рассматривать вторичное растительное сырьё АПК не как единую сырьевую группу, а как набор прекурсоров для получения углеродных сорбентов различного функционального назначения.

Выводы. Проведённая оценка показала, что активированные угли, полученные из разных видов вторичного растительного сырья АПК, отличаются направленностью формирования пористой структуры и имеют различную сорбционную специализацию.

Установлено, что использование только одного показателя, например йодного числа или адсорбции метиленового голубого, не позволяет полноценно оценить область рационального применения активированного угля. Более обоснованным является совместный анализ показателей, характеризующих микро- и мезопористость.

Показано, что плотные косточково-ореховые виды сырья преимущественно формируют угли с выраженной микропористой направленностью, тогда как отдельные лузговые и лубяные отходы обеспечивают более развитую микро-мезопористую и транспортную структуру.

Таким образом, выбор сырья для получения активированного угля должен осуществляться с учётом предполагаемой области применения сорбента: для малых молекул и газофазной сорбции предпочтительны микропористые угли, а для крупных органических молекул, красителей и технологических растворов — материалы с развитой мезопористой и транспортной структурой.

Библиографический список

1. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. Powder Technology. 2020; 364: 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
2. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. Procedia Engineering. 2016; 148:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>
3. Agar D. A., Rudolfsson M., Kalen G., Campargue M., Perez D. D. S., Larsson S. H. A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. Fuel Processing Technology. 2018; 180:47-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.006>
4. Сафин, Р. Г. Термическая переработка костры масличного льна в активированный уголь / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // Химия растительного сырья. – 2024. – № 1. – С. 347-353. – DOI 10.14258/jcprm.20240112026
5. Сафин, Р. Г. Характеристики гранулированного активированного угля из смеси отходов растительного сырья / Р. Г. Сафин, В. Г. Сотников // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 7. – С. 196-205. – DOI 10.18799/24131830/2024/7/4386.

References

1. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. Powder Technology. 2020; 364: 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
2. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. Procedia Engineering. 2016; 148:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>
3. Agar D. A., Rudolfsson M., Kalen G., Campargue M., Perez D. D. S., Larsson S. H. A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. Fuel Processing Technology. 2018; 180:47-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.006>
4. Safin, R. G. Termicheskaya pererabotka kostry maslichnogo lna v aktivirovanny ugol / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // Khimiya rastitelnogo syrya. – 2024. – № 1. – S. 347-353. – DOI 10.14258/jcprm.20240112026
5. Safin, R. G. Kharakteristiki granulirovannogo aktivirovannogo uglya iz smesi otkhodov rastitelnogo syrya / R. G. Safin, V. G. Sotnikov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2024. – T. 335, № 7. – S. 196-205. – DOI 10.18799/24131830/2024/7/4386.