

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 193–204.

Forest of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 193–204.

Научная статья

УДК 661.183.2

DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.019

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Ю. Л. Юрьев¹, И. К. Гиндулин², Т. М. Панова³,
О. Д. Авдюкова⁴, Т. В. Штеба⁵

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,

Екатеринбург, Россия

⁵ Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России,

Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Оксана Дмитриевна Авдюкова,

avdyukovaod@gmail.com

Аннотация. Активные угли возможно получать из наиболее распространенных на территории Уральского региона пород древесины (сосна, береза, осина). Активные угли (АУ), полученные на основе березового, осинового и соснового древесных углей с выбранными режимами пиролиза и активации, соответствуют требованиям ГОСТ 6217 для древесных активных дробленых углей по адсорбционной активности по йоду и ГОСТ 4453 для активных осветляющих углей по метиленовому синему, так как именно эти показатели являются важнейшими характеристиками развития пористой структуры дробленых и осветляющих активных углей. Наибольшая сорбционная активность по йоду наблюдается у березового активного угля, полученного из древесного угля (ДУ) с конечной температурой пиролиза 800 °С, и у осинового активного угля, полученного из ДУ с конечной температурой пиролиза 400 °С. Наибольшая сорбционная активность по метиленовому синему отмечается у осинового активного угля, полученного из ДУ с конечной температурой пиролиза 400 °С, и у березового активного угля, полученного из ДУ с конечной температурой пиролиза 800 °С. Использование в качестве сырья древесины сосны возможно при переработке крупнокусковых отходов со сравнительно низкой стоимостью, несмотря на пониженные значения сорбционной активности соснового активного угля по сравнению с аналогичным продуктом на основе березы и осины. Активные угли из древесины осины имеют более открытую пористую структуру, это увеличивает адсорбционные свойства данного сорбента как по йоду, так и по метиленовому синему. Сравнительно низкая механическая прочность и повышенная зольность ограничивают области применения осинового угля. Перспективность производства и практического применения активных углей из древесины осины обусловлена относительно высокими темпами прироста биомассы и способностью эффективно колонизировать лесосеки после проведения рубок главного пользования, что обеспечивает снижение удельных затрат на заготовку и переработку данного вида сырья.

Ключевые слова: нанопористые углеродные сорбенты, активные угли, адсорбция, березовый уголь, сосновый уголь, осиновый уголь, сорбционная активность по йоду, сорбционная активность по метиленовому синему

Для цитирования: Сравнительная оценка сорбционных свойств активных углей из различных пород древесины / Ю. Л. Юрьев, И. К. Гиндулин, Т. М. Панова [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 193–204.

Original article

COMPARATIVE EVALUATION OF ADSORPTION PROPERTIES OF ACTIVE CARBONS FROM DIFFERENT WOOD SPECIES

Yuri L. Yuryev¹, Ildar K. Hindulin², Tatyana M. Panova³,
Oksana D. Avdyukova⁴, Tatyana V. Shteba⁵

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

⁵ Ural Institute of Fire Safety Science and Technology of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia

Corresponding author: Oksana D. Avdyukova,
avdyukovaod@gmail.com

Abstract. Activecoals can be obtained from the most common wood species in the Ural region (pine, birch, aspen). Active coals (AC) obtained on the basis of birch, aspen and pine coals with selected pyrolysis and activation modes meet the requirements of GOST 6217 for active crushed wood coals in terms of iodine adsorption activity and GOST 4453 for active clarifying coals in terms of methylene blue, since these indicators are the most important characteristics of the development of the porous structure of crushed wood. natural and brightening active coals. The highest sorption activity for iodine is observed in birch activated carbon obtained from charcoal (DN) with a final pyrolysis temperature of 800 °C and in aspen activated carbon obtained from DN with a final pyrolysis temperature of 400 °C. The highest sorption activity for methylene blue is observed in aspen activated carbon obtained from charcoal (DN) with a final pyrolysis temperature of 400 °C and in birch activated carbon obtained from DN with a final pyrolysis temperature of 800 °C. The use of pine wood as a raw material is possible in the processing of large-scale waste with a relatively low cost, despite the reduced sorption activity of pine activated carbon compared to a similar product based on birch and aspen. Active coals from aspen wood have a more open porous structure, which increases the adsorption properties of this sorbent for both iodine and methylene blue. Relatively low mechanical strength and high ash content limit the application areas of aspen coal. The prospects for the production and practical use of active coals and aspen wood products are determined by relatively high rates of biomass growth and the ability to effectively colonize cutting areas after the main use of logging, which reduces the unit cost of harvesting and processing this type of raw material.

Keywords: nanoporous carbon sorbents, active coals, adsorption, birch coal, pine coal, aspen coal, sorption activity for iodine, sorption activity for methylene blue

For citation: Comparative evaluation of adsorption properties of active carbons from different wood species / Yu. L. Yuryev, I. K. Gindulin, T. M. Panova [et al.] // Forests of Russia and the economy in them. 2025. № 3 (94). P. 193–204.

Введение

Основным сырьем для производства активных древесных углей (АУ) в России традиционно является березовая древесина. Получаемые на ее основе дробленые и осветляющие угли применяются во многих сферах народного хозяйства, в том числе в пищевой промышленности (Кинле, Бадер, 1984). К основным факторам, способствующим применению именно березовой древесины для производства АУ, можно отнести то, что получаемая продукция имеет сравнительно высокую механическую прочность и приемлемую зольность (Авдюкова, 2024а, б).

Перспективной сырьевой базой для производства АУ, по нашему мнению, также являются древесина сосны и осины. Преимущество сосновой древесины – низкая зольность и сравнительно высокая механическая прочность. Для осины характерна высокая скорость роста и способность быстрее других пород занимать места после вырубки (Юрьев и др., 2017). Основные места произрастания осины достаточно близко расположены к наиболее заселенным территориям, что заметно снижает транспортные расходы. В связи с этим проведение сравнительной оценки свойств АУ из этих трех пород древесины и условий активации является актуальной задачей (Авдюкова и др., 2024).

Цель, объекты и методика исследований

Целью работы является сравнительная оценка сорбционных свойств АУ, полученных из березы, осины, сосны при различных режимах пиролиза и активации.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи.

1. Изучить влияние условий пиролиза и активации на свойства полученных АУ.
2. Исследовать сорбционную активность по йоду АУ из различных пород древесины (сосны, осины и березы).
3. Исследовать сорбционную активность по метиленовому синему экспериментальных АУ из вышеуказанных пород древесины.

Исходным сырьем являлись ДУ, полученные в процессе пиролиза березовой, сосновой и осин-

новой древесины в диапазоне температур от 400 до 800 °С.

Непосредственным объектом исследования являлись АУ, полученные путем активации водяным паром уже существующих древесных углей, созданных при различных технологических режимах. Все работы проводили в научно-исследовательской лаборатории УГЛТУ.

Предварительно высушенную древесину сосны, березы и осины в виде брусков заданных размеров загружали в герметичную цилиндрическую емкость. Далее ее помещали в лабораторную муфельную печь, нагретую до температуры в соответствии с режимом. Процесс пиролиза проводили в диапазоне температур 400–800 °С. К газоотводной трубке, исходящей из реторты, подключали конденсатор, через который отводили сконденсированные пиролизные газы.

Установка для проведения процесса пиролиза состоит из герметичной цилиндрической емкости, муфельной лабораторной печи с регулируемой температурой обогрева, трубопровода для отвода ПГС в конденсационную установку (рис. 1).

После завершения процесса пиролиза полученные углеродные нанопористые материалы охлаждали в реторте до температуры 25 °С, выгружали, взвешивали и анализировали согласно методам, изложенным далее.

Активация ДУ проходила с применением установки, схема которой представлена на рис. 2.

Основными функциональными элементами являются герметичная цилиндрическая емкость и парогенератор, изготовленные из нержавеющей стали. Подача воды осуществляется с помощью перистальтического насоса в парогенератор фиксированными дозами, соответствующими предварительно установленным удельным нормам водяного пара, необходимого для активации. Обогрев герметичной цилиндрической емкости осуществляется контактным способом.

Навеску ДУ вносили в герметичную цилиндрическую емкость, которую помещали в лабораторную муфельную печь, нагретую до температуры в соответствии с установленными параметрами активации, которые показаны в табл. 1.

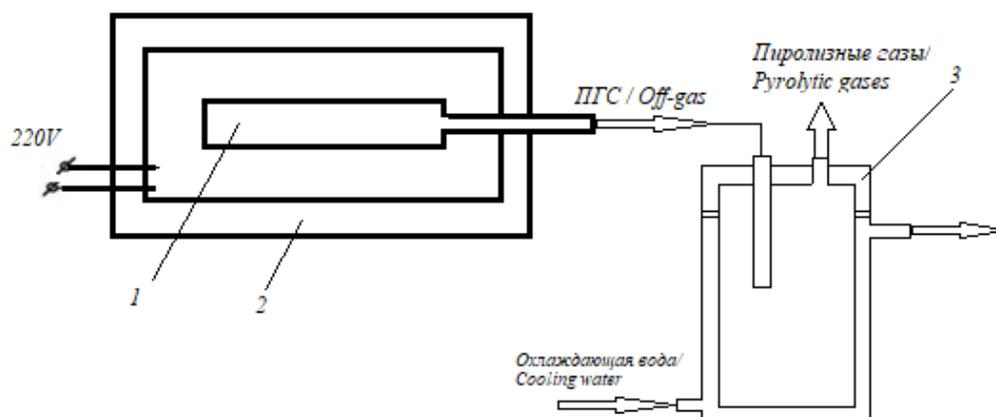


Рис. 1. Схема установки для проведения пиролиза древесины:
 1 – герметичная цилиндрическая емкость; 2 – печь муфельная лабораторная;
 3 – конденсационная установка

Fig. 1. Scheme of the installation for wood pyrolysis:
 1 – hermetic cylindrical container; 2 – laboratory muffle furnace; 3 – condensation installation

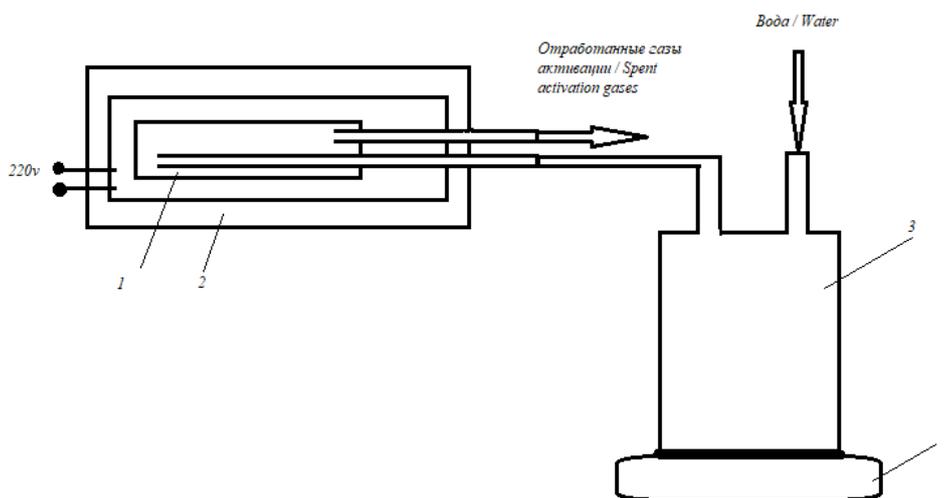


Рис. 2. Схема установки для проведения процесса активации древесины:
 1 – герметичная цилиндрическая емкость; 2 – печь муфельная лабораторная; 3 – парогенератор;
 4 – нагревательный элемент

Fig. 2. Scheme of the installation for carrying out the process of wood activation:
 1 – hermetic cylindrical container; 2 – laboratory muffle furnace; 3 – steam generator; 4 – heating element

Таблица 1
 Table 1

Параметры активации Activation Parameters

Параметр активации Activation Parameter	Значения Values		
Температура активации, °С Activation temperature, °C	800	850	900
Продолжительность, мин Duration, min	60	80	100
Удельный расход пара, кг/кг ДУ Specific steam consumption, kg/kg of DU	1	1,4	1,8

После этого включали перистальтический насос для дозированной подачи воды в парогенератор. В качестве активирующего агента применяли образующийся перегретый пар. После окончания процесса, продолжительность которого составляла 60–100 мин, производили выгрузку материала, его взвешивание и анализ (Гиндулин, Свиридов, 2022).

Адсорбционную активность по йоду определяли по ГОСТ 6217 (1974), осветляющую способность по индикатору метиленовому синему – по ГОСТ 4453 (1976).

Результаты и их обсуждение

На основании результатов анализа активных углей из березы АУ (бер), осины АУ (ос) и сосны АУ (с) была проведена сравнительная оценка сорбционных свойств полученных нанопористых углеродных материалов.

Сравнительная характеристика древесных углей из березы, осины и сосны по сорбционной активности по йоду

Сорбционная активность по йоду свидетельствует о содержании микропор в образцах сорбента.

Результаты влияния температуры пиролиза на адсорбционную активность ДУ по йоду представлены на рис. 3.

Проведенные исследования показали, что конечная температура пиролиза существенно влияет на развитие пористой структуры углеродных материалов, определяя их адсорбционную активность по йоду (ГОСТ 6217–74). Установлено, что с повышением температурного режима процесса пиролиза в целом увеличивается объем микропор.

Как следует из рис. 3, максимальная активность по йоду наблюдается у осинового и соснового ДУ, полученных при температуре пиролиза 700–800 °С. Повышенная активность по йоду соснового ДУ связана с высокой пористостью исходной древесины за счет содержания трахеид, доля которых достигает 90–95 % по объему, что и формирует микропористость древесного угля в процессе пиролиза. Древесина осины в сравнении с березой характеризуется меньшей плотностью и более рыхлой структурой, что способствует раскрытию первичной пористости при пиролизе (Гаврилова, Назаров, 2015). В целом динамика формирования микропористой структуры углей с ростом температуры пиролиза имеет схожий характер для изученных пород древесины. Максимальных значений сорбционной активности по йоду все угли достигли при температуре пиролиза 700 °С, далее показатели стабилизируются или увеличиваются незначительно.

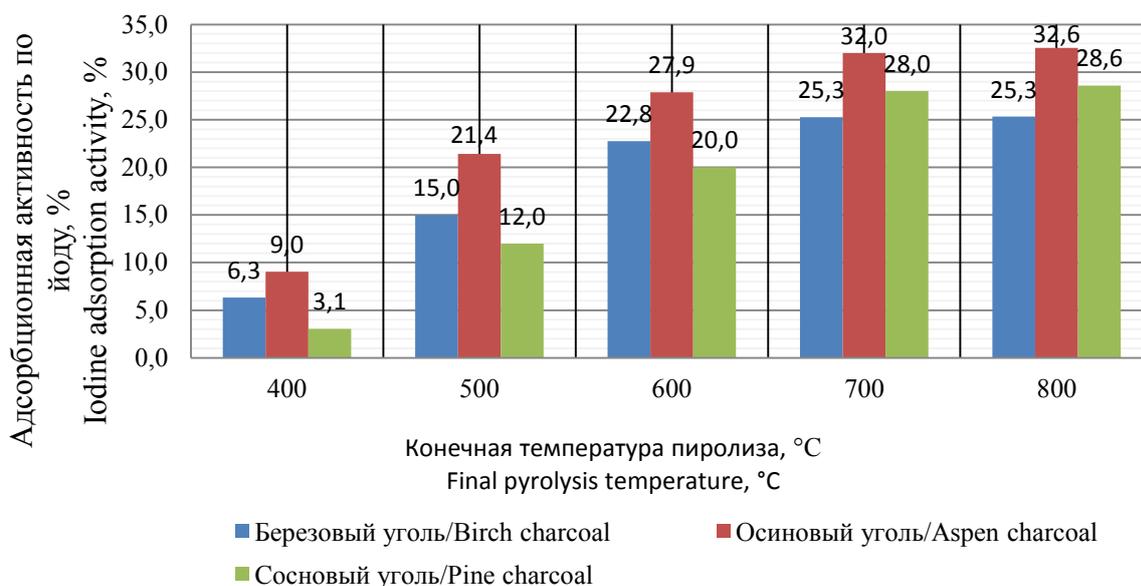


Рис. 3. Зависимость адсорбционной активности ДУ по йоду от конечной температуры пиролиза
 Fig. 3. Dependence of the iodine adsorption capacity of charcoal (DU) on the final pyrolysis temperature

Следует отметить, что все полученные ДУ характеризуются недостаточной сорбционной активностью по йоду относительно требований к активным дробленным углям. Можно предположить, что формирование первичной пористости при пиролизе в определенной степени будет предопределять последующее ее развитие при активации (Филошенко и др., 2004).

Сравнительная характеристика сорбционных свойств активных углей из березы, осины и сосны

На рис. 4 и 5 представлены зависимости влияния температуры активации на адсорбционные свойства АУ, полученных из березового ДУ при разных температурах пиролиза (400, 600 и 800 °С): АУ (бер, 400), АУ (бер, 600) и АУ (бер, 800) соответственно.

Из рис. 4 видно, что при температуре активации 800 °С заметного влияния на адсорбционную активность по йоду АУ из березы температура пиролиза не оказывает. С ужесточением режима активации адсорбционная активность по йоду березовых АУ увеличивается. При $T = 850$ °С наибольший прирост наблюдается для АУ, полученного из ДУ при температуре пиролиза 600 °С. Это связано

с тем, что на стадии пиролиза происходит значительное образование низкомолекулярных летучих веществ из лигноуглеводной матрицы, что обеспечивает вскрытие микропор и приводит к резкому увеличению их объема. Увеличение температуры активации до 900 °С для АУ (бер, 600) увеличивает его активность по йоду незначительно, всего на 7%. В то же время для АУ, полученных из березового ДУ при температуре пиролиза 400 и 800 °С, наблюдается более значительное увеличение активности – на 24 и 29% соответственно. Пониженные значения активности для АУ на базе ДУ, полученного при сравнительно невысокой температуре пиролиза, связано с тем, что в данных условиях углеродная матрица не успевает сформироваться, что препятствует формированию микропор.

Результаты, представленные на рис. 5, свидетельствуют, что максимальные значения адсорбционной активности по метиленовому синему (ГОСТ 4453–74) для АУ (бер) достигаются при температуре пиролиза 800 °С. Это связано с разрушением аморфной структуры древесного угля, что благоприятно сказывается на формировании как первичной, так и вторичной мезопористой структуры.

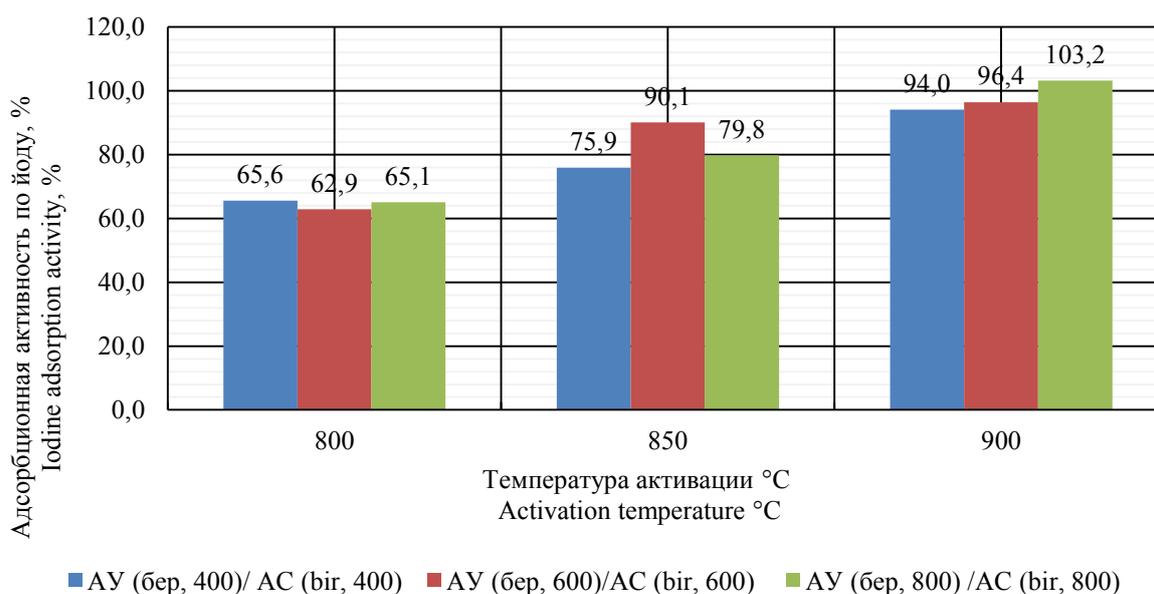


Рис. 4. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по йоду для АУ, полученных из березовых ДУ при разных температурах пиролиза
Fig. 4. Effect of activation temperature on the iodine adsorption activity of activated carbons derived from birch charcoal at different pyrolysis temperatures

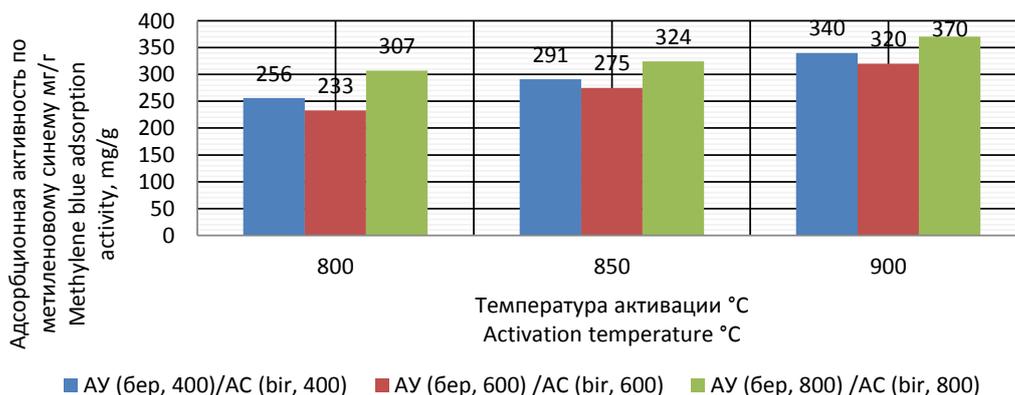


Рис. 5. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по метиленовому синему для АУ, полученных из березовых ДУ при разных температурах пиролиза

Fig. 5. Effect of activation temperature on the methylene blue adsorption activity of activated carbons derived from birch charcoal at different pyrolysis temperatures

При температуре пиролиза 600 °C происходят вторичные процессы поликонденсации, которые вызывают формирование более упорядоченной турбостратной структуры угля, которая препятствует развитию мезопор в процессе активации. При использовании низких температур пиролиза ($T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$) вышеуказанные явления не происходят, что приводит к увеличению сорбционной активности по метиленовому синему в процессе активации по сравнению с таковой у ДУ, полученного при 600 °C.

Результаты зависимости влияния температуры активации на адсорбционные свойства АУ, полученных из осинового ДУ при разных температурах пиролиза, представлены на рис. 6 и 7.

Из рис. 6 видно, что температура пиролиза 400 °C является оптимальной для последующего получения АУ(ос). Данная особенность осины связана с тем, что ее структура более рыхлая и пористая, при использовании высоких температур пиролиза происходит разрушение стенок пор, что позволяет сделать вывод о низкой устойчивости углеродной матрицы осинового угля к воздействию высоких температур. Наибольшая адсорбционная активность по йоду наблюдается у АУ(ос, 400) при температуре активации 900 °C и составляет 102,3 % от массы угля, что связано с максимальным раскрытием микропор древесины осины при данном режиме активации.

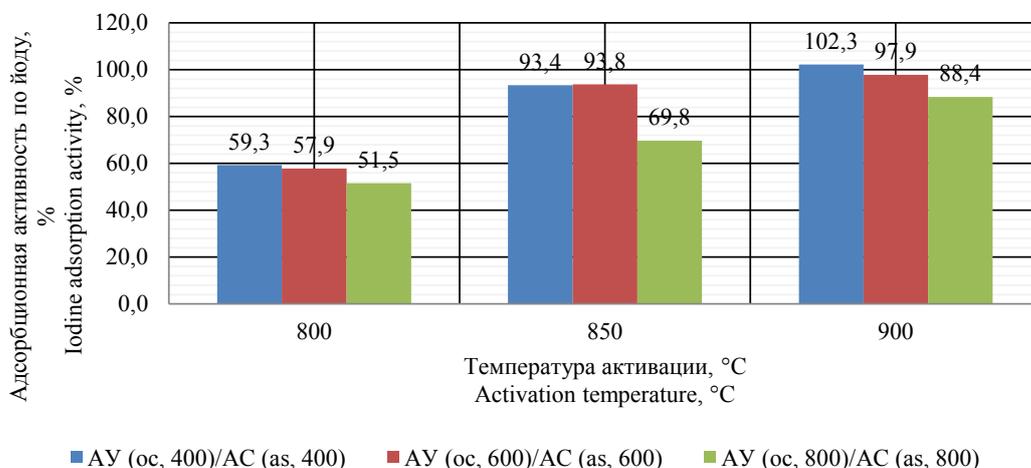


Рис. 6. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по йоду для АУ, полученных из осиновых ДУ при разных температурах пиролиза

Fig. 6. Effect of activation temperature on the iodine adsorption activity of activated carbons derived from aspen charcoal at different pyrolysis temperatures

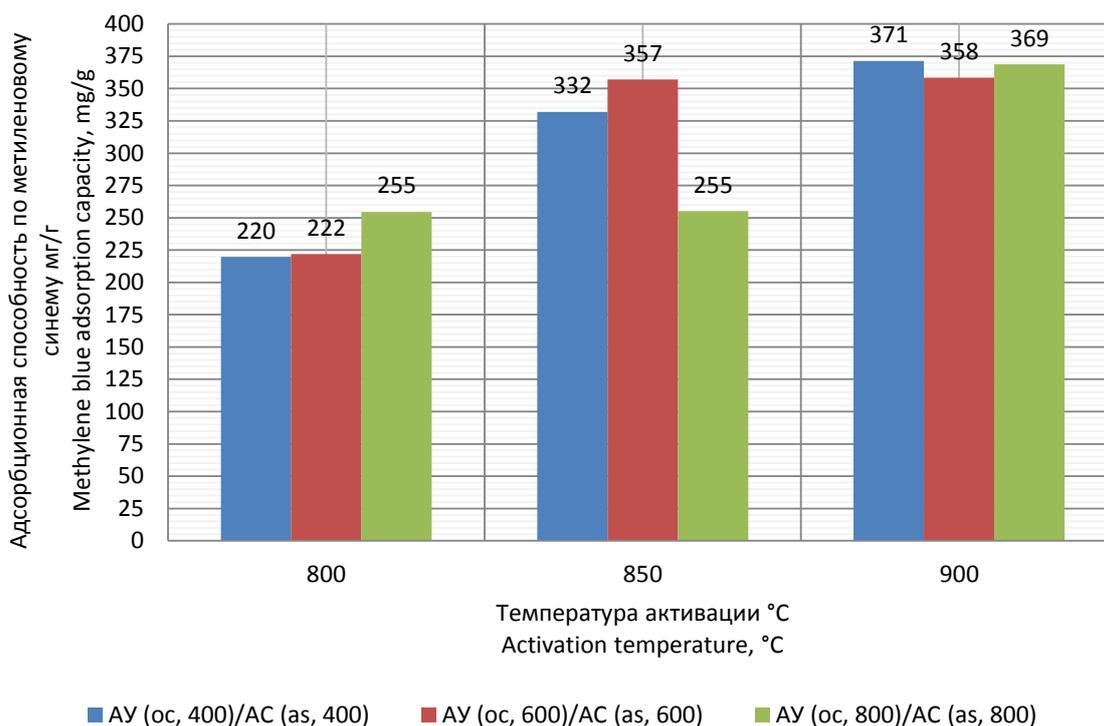


Рис. 7. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по метиленовому синему для АУ, полученных из осиновых ДУ при разных температурах пиролиза
 Fig. 7. Effect of activation temperature on the methylene blue adsorption activity of activated carbons derived from aspen charcoal at different pyrolysis temperatures

Как видно из рис. 7, наибольшая адсорбционная активность по метиленовому синему для АУ(ос) наблюдается при температуре пиролиза 400 °C, температуре активации 900 °C и составляет 371 мг/г. С ужесточением режима активации происходит разрушение жестких упорядоченных структур и наблюдается образование вторичной мезопористости.

На рис. 8 и 9 представлены зависимости влияния температуры активации на адсорбционные свойства АУ, полученных из сосновых ДУ при разных температурах пиролиза.

Из рис. 8 видно, что при сравнительно мягких условиях активации температура пиролиза заметного влияния на сорбционную активность сосновых АУ по йоду не оказывает.

Наибольшая адсорбционная активность по йоду наблюдается у АУ(с) при температуре пиролиза 800 °C, температуре активации 900 °C и составляет 95,6% от массы угля, что связано с максимальным раскрытием микропор древесины сосны при данном режиме. В целом сравнительно низкая сорбционная активность АУ(с) меньше АУ(бер)

и АУ(ос), что связано со структурой исходной древесины.

При температуре пиролиза 600 °C в связи с особенностью строения хвойных пород древесины разрушается аморфная структура угля, что благоприятно сказывается на формировании первичной и вторичной мезопористой структуры, при максимальных режимах активации наблюдается максимальная адсорбционная активность по метиленовому синему: 343 мг/г.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать некоторые обобщения относительно сорбционных свойств АУ из разных пород древесины в процессе пиролиза и активации, что показано в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 следует, что более высокой сорбционной активностью по йоду обладает АУ(бер, 800) и АУ(ос, 400).

Из данных табл. 3 можно сделать вывод, что наибольшей сорбционной активностью по метиленовому синему обладают АУ(бер, 800) и АУ(ос, 400).

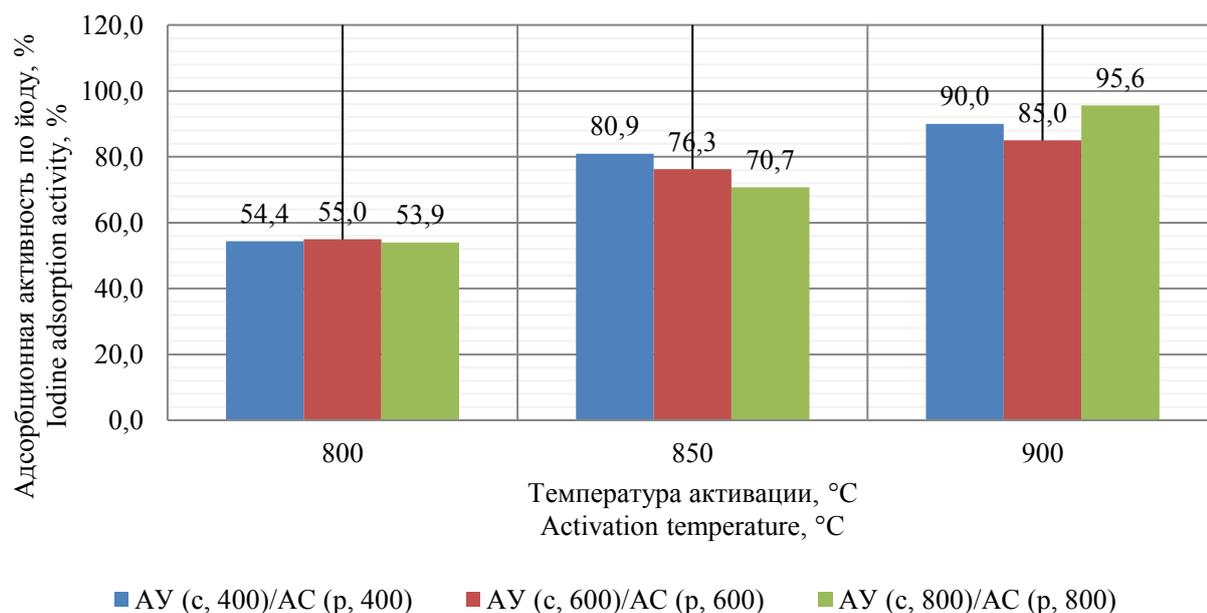


Рис. 8. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по йоду для АУ, полученных из сосновых ДУ при разных температурах пиролиза

Fig. 8. Effect of activation temperature on the iodine adsorption activity of activated carbons derived from pine charcoal at different pyrolysis temperatures

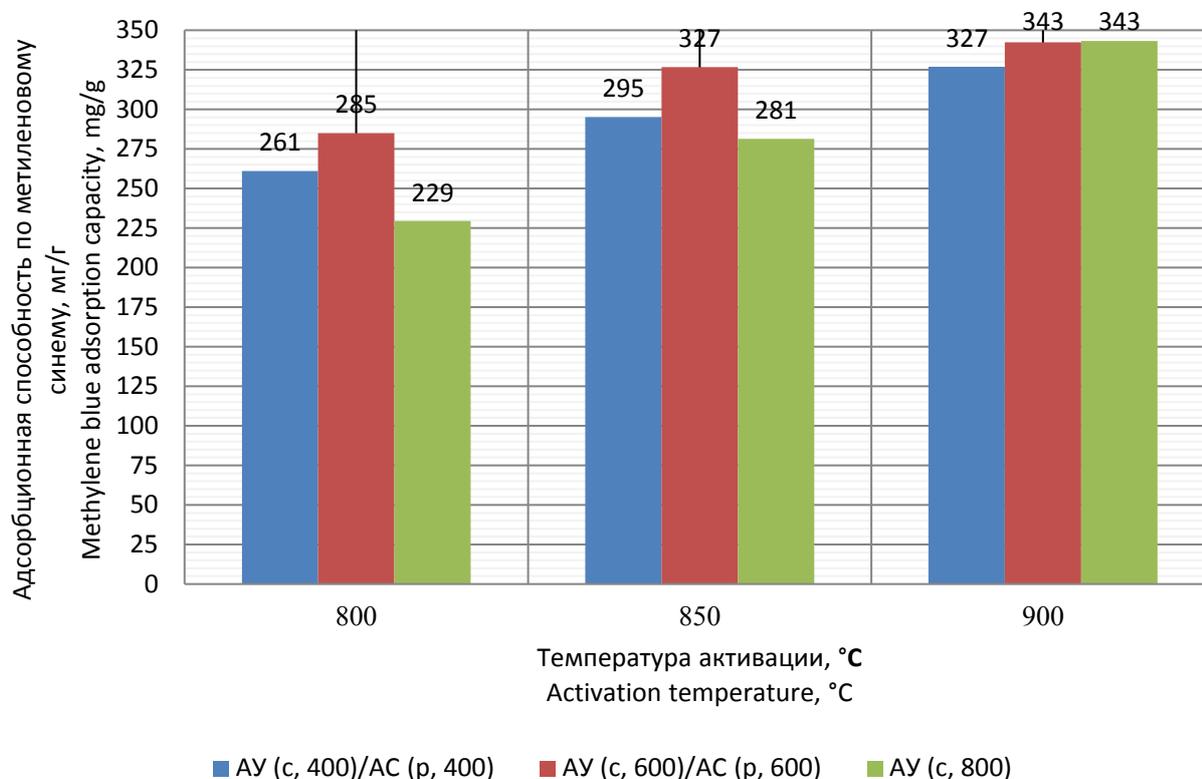


Рис. 9. Зависимость влияния температуры активации на адсорбционную активность по метиленовому синему для АУ, полученных из сосновых ДУ при разных температурах пиролиза

Fig. 9. Effect of activation temperature on the methylene blue adsorption activity of activated carbons derived from pine charcoal at different pyrolysis temperatures

Таблица 2
Table 2

Рекомендуемые режимы обработки для получения активных углей, применяемых для сорбции низкомолекулярных соединений
Recommended treatment modes for the production of activated carbons used for sorption of low molecular weight compounds

Параметры Parameter	Порода древесины Wood species		
	Береза/ Birch	Осина/Aspen	Сосна/Pine
Температура пиролиза, °С Pyrolysis temperature, °C	800	400	800
Температура активации, °С Activation temperature, °C	900	900	900
Продолжительность активации, мин Activation duration, min	100	100	100
Удельный расход пара, кг/кг ДУ Specific steam consumption, kg/kg of charcoal	1,8	1,8	1,8
Адсорбционная активность по йоду, % Iodine adsorption activity, %	103,2	102,3	95,6

Таблица 3
Table 3

Рекомендуемые режимы обработки для получения активных углей, применяемых для сорбции соединений со сравнительно высокой молекулярной массой
Recommended treatment modes for the production of activated carbons used for sorption of compounds with relatively high molecular weight

Параметры Parameter	Порода древесины Wood species		
	Береза/ Birch	Осина/Aspen	Сосна/Pine
Температура пиролиза, °С Pyrolysis temperature, °C	800	400	600
Температура активации, °С Activation temperature, °C	900	900	900
Продолжительность активации, мин Activation duration, min	80	100	100
Удельный расход пара, кг/кг ДУ Specific steam consumption, kg/kg of charcoal	1,8	1,8	1,8
Адсорбционная активность по метиленовому синему, мг/г Methylene blue adsorption activity, mg/g	370	371	343

Выводы

1. Активные угли, полученные на основе березового, осинового и соснового ДУ с выбранными нами режимами пиролиза и активации соответствуют требованиям ГОСТ 6217 для древесных активных дробленых углей по адсорбционной активности по йоду и ГОСТ 4453 для активных осветляющих углей по метиленовому синему.

2. Наибольшая сорбционная активность по йоду (103,2 %) наблюдается у березового АУ, полученного из ДУ с конечной температурой пиролиза 800°С, и у осинового активного угля (102,3 %), полученного из ДУ с конечной температурой пиролиза 400 °С. В связи с этим для производства АУ, предназначенных для сорбции низкомолекулярных соединений рекомендованы АУ из древесины

осины, так как при равных условиях активации для получения осинового АУ достаточно использования более низкой температура пиролиза.

3. Наибольшая сорбционная активность по метиленовому синему наблюдается у АУ (ос, 400) – 371 мг/г и АУ (бер, 800) – 371 мг/г. Для получения АУ с повышенной мезопористостью рекомендована древесина осины, подвергнутая пиролизу при температуре 400 °С, температуре активации 900 °С, продолжительности 100 мин, с удельным расходом пара 1,8 кг/кг ДУ.

4. Максимальные значения адсорбционной активности по йоду имеет АУ (с, 800) – 95,6 % и по метиленовому синему АУ (с, 600) – 343 мг/г. Несмотря на пониженные значения сорбционной активности, по сравнению с аналогичным продуктом на основе березы и осины использование в качестве сырья древесины сосны возможно при

переработке крупнокусковых отходов со сравнительно низкой стоимостью.

5. Активные угли, полученные из древесины осины, имеют более открытую пористую структуру, что влияет на сравнительно высокие адсорбционные свойства как по йоду, так и по метиленовому синему. Сравнительно низкая механическая прочность и повышенная зольность ограничивают области применения осинового угля. По нашему мнению, перспективы получения и использования осинового угля связаны с достаточно высокой скоростью роста и способностью быстрее других пород занимать места после вырубки, что снижает себестоимость сырья. Основные места произрастания осины довольно близко расположены к наиболее заселенным территориям, что заметно снижает логистические расходы.

Список источников

- Авдюкова О. Д. Древесный уголь: производство и применение в пищевой промышленности // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2024а. № 66. С. 322–325.
- Авдюкова О. Д. Способы получения адсорбентов из древесины // Вестник молодого ученого БГИТУ : сб. ст., посвящ. 95-летию университета. Брянск, 2024б. С. 9–11.
- Авдюкова О. Д., Юрьев Ю. Л., Дроздова Н. А. Некоторые особенности применения осинового угля // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : мат. XX Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2024. С. 540–543.
- Гаврилова Н. Н., Назаров В. В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных : учеб. пособие. М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. 132 с.
- Гиндулин И. К., Свиридов А. В. Основы исследования процессов адсорбции и адсорбционных материалов : учеб.-метод. пособие. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. 72 с.
- ГОСТ 4453–74. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1976. 23 с.
- ГОСТ 6217–74. Уголь древесный активный дробленый. Технические условия. М. : Изд-во стандартов, 1974. 8 с.
- Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л. : Химия, 1984. 216 с.
- Филоненко Ю. Я., Глазунова И. В., Бондаренко А. В. Адсорбция: теоретические основы, адсорбенты, адсорбционные технологии / под общ. ред. Ю. Я. Филоненко. Липецк : ЛЭГИ, 2004. 103 с.
- Юрьев Ю. Л., Гиндулин И. К., Дроздова Н. А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Лесной журнал. 2017. № 5. С. 139–149.

References

- Avdyukova O. D. Charcoal: Production and Application in the Food Industry // Actual Problems of the Forestry Complex. 2024a. № 66. P. 322–325. (In Russ)

- Avdyukova O. D.* Methods of Obtaining Adsorbents from Wood // Bulletin of the Young Scientist of BGITU : Collection of Articles Dedicated to the 95th Anniversary of the University. Bryansk, 2024б. P. 9–11. (In Russ.)
- Avdyukova O. D., Yuriev Yu. L., Drozdova N. A.* Some Features of the Application of Aspen Charcoal // Scientific Creativity of Young People for the Russian Forestry Complex : Materials of the 20th All-Russian (National) Scientific and Technical Conference. Yekaterinburg, 2024. P. 540–543. (In Russ)
- Filonenko Yu. Ya., Glazunova I. V., Bondarenko A. V.* Adsorption: Theoretical Foundations, Adsorbents, Adsorption Technologies / under the general editorship of Yu. Ya. Filonenko. Lipetsk : LEGI, 2004. 103 p.
- Gavrilova N. N., Nazarov V. V.* Analysis of the Porous Structure Based on Adsorption Data : Textbook. Moscow : D. I. Mendeleev Russian Chemical Technological University, 2015. 132 p.
- Gindulin I. K., Sviridov A. V.* Fundamentals of Research on Adsorption Processes and Adsorption Materials : Educational and Methodological Guide, Yekaterinburg : UGLTU, 2022. 72 p.
- GOST 4453–74. Active lightening powdered wood charcoal. Technical conditions. Moscow : Publishing House of Standards. 1976. 23 p. (In Russ)
- GOST 6217–74. Active crushed wood charcoal. Technical conditions. Moscow : Publishing House of Standards. 1976. 23 p. (In Russ)
- Kinle X., Bader E.* Active Charcoal and Its Industrial. Leningrad : Chemistry, 1984. 216 p.
- Yuriev Yu. L., Gindulin I. K., Drozdova N. A.* Options for processing low-grade wood into carbon materials // Lesn. zhurn. 2017. № 5. P. 139–149. (In Russ)

Информация об авторах

Юрий Леонидович Юрьев – профессор;
yurievuyul@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1187-7401>

Ильдар Касимович Гиндулин – кандидат технических наук;
gindulinik@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3249-3228>

Татьяна Михайловна Панова – кандидат технических наук;
panovاتم@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-82290-3606>

Оксана Дмитриевна Авдюкова – аспирант;
avdyukovaod@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>

Татьяна Валерьевна Штеба – доцент, кандидат технических наук
shtebatv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2243-290X>

Information about the authors

Yuri L. Yuriev – Grand PhD;
yurievuyul@m.usfeu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1187-7401>

Ildar K. Gindulin – Candidate of Technical Sciences;
gindulinik@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3249-3228>

Tatyana M. Panova – Candidate of Technical Sciences;
panovاتم@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-82290-3606>

Oksana D. Avdyukova – Graduate student;
avdyukovaod@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-0742-3455>

Tatyana V. Shteba – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences
shtebatv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2243-290X>

Статья поступила в редакцию 07.04.2025; принята к публикации 07.05.2025.

The article was submitted 07.04.2025; accepted for publication 07.05.2025.