

*Bibliography*

1. Eliseev S. G. Technical and operational properties of wood of aspen morphological forms : Abstract. diss. on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences / Eliseev S. G. – Krasnoyarsk, 2010.
2. Tsarev A. P. The diversity of the poplar wood use // Forest magazine. – 2018. – № 5. – P. 48–64.
3. Borovikov A. M., Ugolev B. N. Reference book on wood : Reference book / Edited by B.N. Ugolev. – M. : Forest industry, 1989. – P. 296.
4. Patent № 76644, Russian Federation, IPC8 C 10 B 1/02. Retort / Samoilenko S. A., Yuryev Y. L., Mehren-tsev A. V., Zhevlakov A. N. ; applicant and patentee Samoilenko S. A. – № 2008114950/22 ; Appl. 16.04.08 ; publ. 27.09.08, bull. № 27. – 3 p.
5. Yuryev Y. L., Gindulin I. K., Drozdova N. A. Options for processing low-grade wood to carbon materials // News of Higher Educational Institutions. Forest magazine. – 2017. – № 5. – P. 139–149.
6. Yuryev Y. L., Panova T. M. Main directions of production and processing of charcoal // Chemistry and chemi-cal technology of vegetable raw materials processing: report materials. International scientific and technical conf., dedicated to the 100th anniversary of the birth of V. M. Reznikov / Belarusian state technological university. – Minsk, 2018. – P. 20–22.
7. Patent № 118960 Russian Federation, IPC9 C 10 B 53/00. Installation for the production of charcoal and charge / Ponomarev O. S., Yuryev Y. L. ; applicant and patentee the Ural state forestry university. – № 2012106263/04 ; applic. 21.02.12 ; publ. 10.08.12, bul. № 22. – 2 p.
8. Patent № 2051097 Russian Federation, IPC6 C 01 B 31/10, C 23 C 8/00. Method of carbonized materials activation / Panyuta S. A., Yuryev Y. L., Stakhrovskaya T. E., Shishko I. I. ; applicant and patentee Ural research scientific institute the Scientific and production association «Crystal». – No. 92008212/02 ; applic. 25.11.92 ; publ. 27.12.95, bul. № 12. – 3 p.

---

УДК 630\*867.5

DOI: 10.51318/FRET.2020.71.78.006

**АКТИВАЦИЯ ОСИНОВОГО УГЛЯ**

Е. В. ЕВДОКИМОВА – инженер кафедры технологий  
целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров;  
ORCID ID: 0000-0002-8817-7593;  
e-mail: yevdokimovaekaterina@gmail.com\*

Г. И. МАЛЬЦЕВ – доктор технических наук,  
профессор кафедры химической технологии древесины,  
биотехнологии и наноматериалов;  
ORCID ID: 0000-0002-0750-0070;  
e-mail: mgi@elem.ru\*

\* ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»,  
620100, Россия, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

**Рецензент:** Сафин Р. Р., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Казанский научно-исследовательский технологический университет.

**Ключевые слова:** осина, осиновый уголь, режим активации, факторы активации.

---

Представлены результаты экспериментальных исследований по активации осинового угля зольностью 2,5 % водяным паром на выход и свойства полученного активного угля. Показано, что для активации лучше использовать уголь из спелой осины, а не из тонкомера, поскольку значения зольности у осинового угля из тонкомера сравнительно высокие и не могут гарантировать соблюдение этого показателя в товарном АУ. В этой связи необходимо применять технологию, обеспечивающую сравнительно высокий выход продукта. В наших исследованиях это условие выполнялось путем использования Z-образной вставки в печи активации.

## ACTIVATION OF ASPEN CHARCOAL

E. V. EVDOKIMOVA – Engineer of the Department of Technologies of Pulp and Paper Production and Polymer Processing;

G. I. MALTSEV – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials;

\* FSBE HE «The Ural state forest Engineering University», 620100, Russia, Yekaterinburg, Siberian tract, 37

**Reviewer:** Safin R. R., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, Kazan scientific research technological university.

**Keywords:** aspen, aspen charcoal, activation mode, activation factors.

The results of experimental studies on the activation of aspen coal with an ash content of 2.5 % by water steam on the yield and properties of the resulting activated carbon are presented. It is shown that for activation it is better to use coal from ripe aspen, rather than from thin aspen, since the ash content of aspen coal from thin aspen is relatively high and cannot guarantee compliance with this indicator in the commercial activated carbon. In this regard, it is necessary to use a technology that provides a relatively high yield of the product. In our studies, this condition was met by using a Z-shaped insert in the activation furnace.

### Введение

Как сырьё для производства активных углей осина практически не применяется, хотя ее основные запасы сосредоточены именно в обжитых районах РФ. Это обстоятельство указывает на актуальность решения вопросов, связанных с получением и переработкой осинового угля. Решение проблемы облегчается тем, что разработанные технологии и оборудование для пиролиза древесины [1, 2, 3] и переработки древесного угля [4, 5] почти не зависят от породы исходной древесины.

Вместе с тем многие аспекты, касающиеся свойств и применения активного угля (АУ) из осиневой древесины, изучены еще недостаточно.

### Цель, задачи, методика и объекты исследования

Для активации мы использовали образец промышленного осинового угля (ГОСТ 7657), полученный из спелой осиневой древесины на модульной пиролизной установке типа МПРУ [1] при конечной температуре пиролиза 600 °С. Для активации использовали Z-образную встав-

ку [6] с подачей водяного пара. Для определения показателей качества ДУ и АУ использовались общепринятые методы анализа. Исходный осиневый уголь имел типичные показатели качества, такие как зольность, содержание нелетучего углерода и влажность (2,5, 84 и 1,2 % соответственно).

Для получения адекватных зависимостей процесса активации осинового угля был выбран план ПФЭ 23. Диапазон значений факторов составил: температура процесса активации ( $X_1$ ) – 760 или 820 °С, удельный расход водяного пара ( $X_2$ ) – 1,3 или

1,8 кг/кг ДУ. Продолжительность активации (на основании ранее проведенных опытов) находилась в пределах ( $X_3$ ) 90 или 120 мин. Функции отклика – выход АУ ( $Y_1$ , %), адсорбционная активность по йоду ( $Y_2$ , %), адсорбционная активность по мелассе ( $Y_3$ , %), адсорбционная активность по метиленовому синему ( $Y_4$ , %). Далее с помощью компьютерного моделирования [7, 8, 9] получено полиномиальное уравнение 5D для  $Y_{(1,2,3,4)}$ .

**Результаты исследований и их обсуждение**

Матрица планирования и результаты показаны в табл. 1.

В результате эксперимента выяснено, что на выход АУ как из осины, так и из березы, в большей мере влияет удельный расход пара. Несколько меньшее воздействие имеет температура процесса активации, а влияние продолжительности процесса в исследованном диапазоне является незначимым. Это видно

из уравнения регрессии (1), адекватно описывающего влияние основных действующих факторов на выход и свойства АУ:

$$Y_1 = 54,03 - 5,68X_1 - 6,86X_2. \quad (1)$$

Более сильное влияние удельного расхода пара показывает и уравнение регрессии (2) относительно активности осинового АУ по йоду:

$$Y_2 = 76,6 + 3,9X_1 + 4,8X_2. \quad (2)$$

Микропористая структура осинового АУ развита примерно на 15–20 % лучше, чем березового АУ, полученного в тех же условиях. На это указывает показатель активности по йоду. Он может использоваться в тех же сферах, как и стандартный уголь БАУ. Как и у других АУ, полученных на основе древесины, пористая структура осинового АУ имеет все типы пор – микропоры, мезопоры и макропоры. На рис. 1 изображена поверхность отклика для выхода активного угля. Максимальный выход

продукта достигается при удельном расходе пара 1,3 кг/кг ДУ и температуре 760 °С.

На рис. 2 отображена зависимость адсорбционной активности по йоду от основных действующих факторов процесса активации осинового угля. Видно, что даже при минимальных значениях температуры процесса активации 760 °С и удельного расхода пара 1,3 кг/кг ДУ показатели адсорбционной активности по йоду соответствуют требованиям ГОСТ 6217–74.

Далее была построена математическая модель активации осинового угля. Цель операции – достижение максимально возможной адсорбционной активности по йоду при активации угля.

В пакете Excel с помощью функции «Регрессия» получено следующее полиномиальное уравнение 5D для  $Y_{(1,2,3,4)}$ :

$$\begin{aligned} Y \cdot 10^{-1(1,2,3,4)} = Y_{5D} = & \\ = f(X_1 \cdot 10^{-2}, X_2, X_3 \cdot 10^{-1}, X_4 \cdot 10^{-1}) = & \\ = -35,949 + 29,239X_1X_2 + & \\ + 3,28X_1X_3 + 11,172X_1X_4 - & \\ - 66,615X_2X_4 - 4,4X_1^2 - & \\ - 2,065X_2^2 - 8,837X_3^2 + 0,126X_4^2; & \\ R_{(1,2,3,4)}^2 = 0,998. & \end{aligned}$$

Таблица 1  
Table 1

Матрица планирования и результаты эксперимента  
Planning matrix and experiment results

Факторы Factors			Функции отклика Response functions			
$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
-1	-1	-1	68,1	68,1	107,8	201,3
-1	-1	1	65,1	67,7	272,3	254,6
-1	1	1	52,1	77	97,5	189,3
-1	1	-1	53,6	77,6	274,7	267,6
1	1	1	39,9	85,6	261,9	255,2
1	1	-1	43,2	85,2	291,7	263,8
1	-1	1	54,1	75,9	263,2	288,8
1	-1	-1	56,4	75,4	252	216,0

Для проверки адекватности полиномиального уравнения 5D для функции  $Y_{(1,2,3,4)}$  провели дополнительные эксперименты по активации ДУ с не использованными ранее значениями исследованных технологических параметров процесса. Полученные экспериментальные значения на величину адсорбционной активности АУ по йоду сравнили с величинами, рассчитанными по уравнению  $Y_{(1,2,3,4)} = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$ .

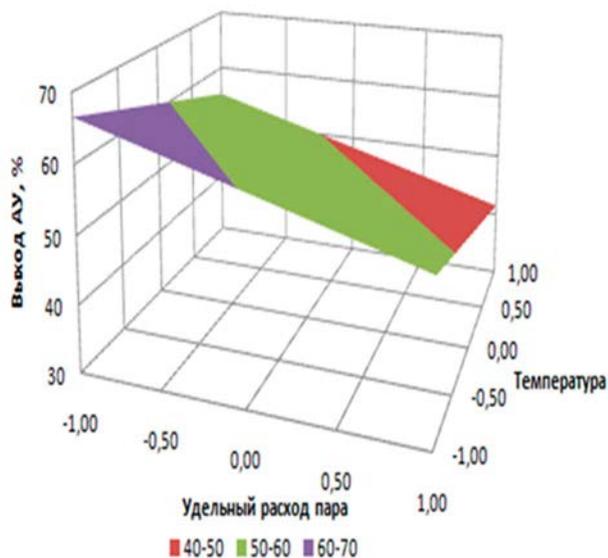


Рис. 1. Зависимость выхода активированного угля от температуры процесса активации и удельного расхода пара  
 Fig. 1. Dependence of the yield of activated carbon on the temperature of the activation process and the specific steam consumption

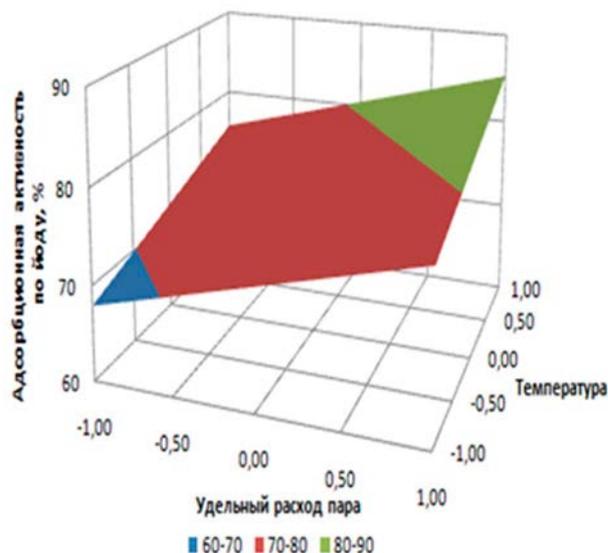


Рис. 2. Зависимость адсорбционной активности по йоду от температуры процесса активации и удельного расхода пара  
 Fig. 2. Dependence of the iodine adsorption activity on the temperature of the activation process and the specific steam consumption

Величина средних расхождений между экспериментальными и рассчитанными значениями активности АУ по йоду не превышает 3,4 %. Наибольшие расхождения от величины опытных

значений переменной  $Y_{1(1,2,3,4)} = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$  выявлены для граничных значений в интервалах параметров  $X_1 - X_4$  (табл. 2).  
 На основе экспериментальных данных нами построена адек-

ватная математическая модель активации осинового угля и установлена максимально возможная величина адсорбционной активности полученного активированного угля по йоду.

Таблица 2  
 Table 2

Экспериментальные и расчётные значения остаточных концентраций  
 Experimental and calculated values of residual concentrations

$X_1 \cdot 10^{-2}, ^\circ\text{C}$	$X_2, \text{кг/кг}$	$X_3 \cdot 10^{-1}, \text{мин}$	$X_4 \cdot 10^{-1}, \%$	$Y_1 \cdot 10^{-1}$		$\Delta Y_1 / Y_{1(\text{экс})}, \%$
				Опытные значения Experimental values	Расчётные значения Estimated values	
7,5	1,3	1,2	3,2	7,112	7,236	1,82
8,7				14,827	14,936	0,73
7,6	1,2	0,95	2,5	7,905	7,973	0,86
	2,2			10,35	10,0	3,38
	1,3	1,4		6,95	6,88	1,01
		1,2		8,543	8,752	2,45
	6,5	1,2		9,102	9,044	0,64
				6,95	6,81	2,01

Сравнительно быстрое развитие вторичной микро- и мезопористости в течение процесса активации осинового угля во многом объясняется применением в качестве агента активации чистого водяного пара, а не смеси его, например, с дымовыми газами.

### Выводы

Для активации лучше использовать уголь из спелой осины, а не из тонкомера, поскольку значения зольности у осинового угля из тонкомера сравнительно высокие и не могут гарантировать соблюдение этого показателя

в товарном АУ. По этой же причине необходимо применять технологию, обеспечивающую сравнительно высокий выход продукта. В наших исследованиях это условие выполнялось путем использования Z-образной вставки в печи активации.

Нами предлагается технология, обеспечивающая получение до 1000 т/год АУ марок типа БАУ. Для указанного объема производства АУ потребуется около 1600 т/год угля, произведенного из осинового сырья.

Разработанная технология УМ позволяет примерно в два раза увеличить стоимость про-

дукции, производимой в настоящее время из 1 м<sup>3</sup> осинового сырья, и обеспечить устойчивое развитие предприятий лесного комплекса.

Выход ДУ при пиролизе спелой осинового сырья влажностью 20 % в выбранном нами режиме пиролиза составляет около 28 %.

Выход АУ при выбранном режиме активации составляет около 70 % от загрузки исходного угля-сырца. При переработке осинового угля удельный расход пара на активацию составляет 1,3 кг/кг ДУ.

### Библиографический список

1. Пат. 76644 Российская Федерация, МПК8 С 10 В 1/02. Реторта / С. А. Самойленко, Ю. Л. Юрьев, А. В. Мехренцев, А. Н. Жевлаков ; заявитель и патентообладатель Самойленко С. А. – № 2008114950/22 ; заявл. 16.04.08 ; опубл. 27.09.08, Бюл. № 27. – 3 с.
2. Пат. 118960 Российская Федерация, МПК9 С 10 В 53/00. Установка для производства древесного угля и шихты / О. С. Пономарев, Ю. Л. Юрьев ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет». – № 2012106263/04 ; заявл. 21.02.12 ; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22. – 2 с.
3. Юрьев Ю. Л., Панова Т. М. Основные направления производства и переработки древесного угля // Химия и химическая технология переработки растительного сырья : матер. докл. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения В. М. Резникова / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2018. – С. 20–22.
4. Юрьев Ю. Л., Гиндулин И. К., Дроздова Н. А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Изв. вузов. Лесн. жур. – 2017. – № 5. – С. 139–149.
5. Исследование процесса окисления активного древесного угля кислородом воздуха / И. К. Гиндулин, Ю. Л. Юрьев, С. В. Еранкин, Л. А. Петров // Химия растительного сырья. – 2007. – № 4. – С. 117–120.
6. Пат. 2051097 Российская Федерация, МПК6 С 01 В 31/10, С 23 С 8/00. Способ активации карбонизованных материалов / С. А. Панюта, Ю. Л. Юрьев, Т. Е. Стахровская, И. И. Шишко ; заявитель и патентообладатель Уральский научно-исследовательский институт Научно-производственного объединения «Кристалл». – № 92008212/02 ; заявл. 25.11.92 ; опубл. 27.12.95, Бюл. № 12. – 3 с.
7. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов : практич. руководство / В. А. Холоднов, В. П. Дьяконов, Е. Н. Иванова, Л. С. Кирьянова. – СПб. : АНО НПО «Профессионал», 2003. – 480 с.
8. Дьяконов В. П. Энциклопедия Mathcad 2000i и Mathcad 11. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 832 с.

9. Дворецкий С. И., Егоров А. Ф., Дворецкий Д. С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования : учеб. пособие / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2003. – 223 с. (ISBN 5-8265-0213-4).

### *Bibliography*

1. Patent №76644 Russian Federation, IPC8 C 10 B 1/02. Retort / S. A. Samoylenko, Y. L. Yuryev, A. V. Mehrentsev, A. N. Zhevnikov ; applicant and patentee Samoylenko S. A. – № 2008114950/22 ; applic. 16.04.08 ; publ. 27.09.08, bul. № 27. – 3 p.

2. Patent № 118960 Russian Federation, IPC9 C 10 B 53/00. Installation for the production of charcoal and charge / O. S. Ponomarev, Y. L. Yuryev ; applicant and patentee the Ural state forestry university. – № 2012106263/04 ; applic. 21.02.12 ; publ. 10.08.12, bul. No. 22. – 2 p.

3. Yuryev Y. L., Panova T. M. Main directions of production and processing of charcoal // Chemistry and chemical technology of vegetable raw materials processing: report materials. International scientific and technical conf., dedicated to the 100th anniversary of the birth of V. M. Reznikov / Belarusian state technological university. – Minsk, 2018. – P. 20–22.

4. Yuryev Y. L., Gindulin I. K., Drozdova N. A. Options for processing low-grade wood to carbon materials // News of Higher Educational Institutions. Forest magazine. – 2017. – № 5. – P. 139–149.

5. Research of the process of active charcoal oxidation with aerial oxygen / I. K. Gindulin, Y. L. Yuryev, S. V. Erankin, L. A. Petrov // Chemistry of vegetable raw materials. – 2007. – № 4. – P. 117–120.

6. Patent № 2051097 Russian Federation, IPC6 C 01 B 31/10, C 23 C 8/00. Method of carbonized materials activation / S. A. Panyuta, Y. L. Yuryev, T. E. Stakhrovskaya, I. I. Shishko ; applicant and patentee Ural research scientific institute the Scientific and production association «Crystal». – № 92008212/02 ; applic. 25.11.92 ; publ. 27.12.95, bul. № 12. – 3 p.

7. Mathematical modeling and optimization of chemical-technological processes: practical guide / V. A. Kholodnov, V. P. Diakonov, E. N. Ivanova, L. S. Kiryanova. – St. Petersburg : Autonomous non-commercial organization Scientific and production association «Professional», 2003. – 480 p.

8. Dyakonov V. P. Encyclopedia of Mathcad 2000i and Mathcad 11. – M. : SOLON-Press, 2004. – 832 p.

9. Dvoretzky S. I., Egorov A. F., Butler D. S. Computer modelling and optimization of technological processes and machinery : textbook / Tambov state technical university. – Tambov, 2003. – 223 p. (ISBN 5-8265-0213-4).

---

---