

## Электронный дополнительный материал

УДК 661.832.2:544.723

### СТРУКТУРА И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ КОРЫ ОСИНЫ\*

© *Е.В. Веприкова<sup>1\*\*</sup>, И.П. Иванов<sup>1</sup>, Н.В. Чесноков<sup>1</sup>, Б.Н. Кузнецов<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Институт химии и химической технологии СО РАН, Федеральный исследовательский центр Красноярского научного центра СО РАН, Академгородок, 50/24, Красноярск 660036 (Россия), e-mail: [veprikova2@mail.ru](mailto:veprikova2@mail.ru)  
<sup>2</sup>Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041 (Россия)*

---

\* Полный текст статьи опубликован: Веприкова Е.В., Иванов И.П., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Структура и сорбционные свойства пористых углеродных сорбентов из коры осины // Химия растительного сырья. 2019. №3. С. 325–333. DOI: 10.14258/jcrpm.2019035180

\*\* Автор, с которым следует вести переписку.

### Статистический анализ результатов определения сорбции метиленового синего и витамина В<sub>12</sub> сорбентами из коры осины.

Статистический анализ для величин сорбции метиленового синего (МС) и витамина В<sub>12</sub> проведен на основе данных, приведенных в таблице.

Параметры пористой структуры и сорбционные свойства углеродных сорбентов из коры осины (СКО)

Сорбент	Температура получения карбонизата, °С	Свет, м <sup>2</sup> /г	V <sub>ми</sub> , см <sup>3</sup> /г	V <sub>ме</sub> , см <sup>3</sup> /г	Сорбция, A <sup>max</sup> , мг/г	
					МС	Витамин В <sub>12</sub>
СКО-1	300	1448	0.46	0.16	395.9 ± 8.5	55.4 ± 1.4
СКО-2	400	1788	0.56	0.17	422.6 ± 9.1	45.8 ± 1.1
СКО-3	500	1882	0.58	0.18	457.3 ± 9.4	44.3 ± 0.9
СКО-4	600	1476	0.46	0.09	369.6 ± 8.4	37.7 ± 0.7
СКО-5	700	1386	0.41	0.08	349.1 ± 8.2	36.6 ± 0.7
СКО-6	800	1266	0.42	0.08	332.1 ± 7.7	35.8 ± 0.7
УА-Н*		638	0.24	0.06	256.9 ± 7.7	61.4 ± 1.4

Примечание. V<sub>ми</sub>, V<sub>ме</sub> – объемы микро и мезопор, A<sup>max</sup> – максимальная сорбция маркеров, УА-Н\* – образец сравнения.

Число повторения опыта во всех случаях определения средних значений величин сорбции равно 3.

#### 1. Вопрос о статистической значимости различий величин сорбции образцов сорбентов из коры осины, полученных при различной температуре.

##### 1.1. Сорбция метиленового синего

Число степеней свободы 12, ошибка воспроизводимости (усредненная) 7.53 мг/г, ошибка определения среднего – 4.35 мг/г.

Введем обозначение образцов:

СКО-1 СКО-2 СКО-3 СКО-4 СКО-5 СКО-6

(0) (1) (2) (3) (4) (5)

В соответствии с правилами применения критерия Дункана расположим результаты в порядке возрастания:

СКО-6 СКО-5 СКО-4 СКО-1 СКО-2 СКО-3

(5) (4) (3) (0) (1) (2)

Выпишем значимые ранги рангового критерия Дункана при уровне значимости 0.05 и степени свободы 12:

р 2 3 4 5 6

Ранги 3.08 3.23 3.33 3.36 3.40

Наименее значимые ранги (НЗР), умноженные на ошибку среднего, равны:

р 2 3 4 5 6

НЗР 13.39 14.05 14.49 14.62 14.79

(2)– (5) = 125.1 > 14.79; (2) – (4) = 108.2 > 14.62; (2) – (3) = 87.7 > 14.49; (2) – (0) = 61.4 > 14.05; (2)–(1) = 34.7 > 13.39.

(1) – (5) = 90.5 > 14.62; (1) – (4) = 73.5 > 14.49; (1) – (3) = 53 > 14.05; (1) – (0) = 26.7 > 13.39.

(0) – (5) = 63.8 > 14.49; (0) – (4) = 46.8 > 14.05; (0) – (3) = 26.3 > 13.39.

(3) – (5) = 37.5 > 14.05; (3) – (4) = 20.5 > 13.39.

(4) – (5) = 17 > 13.39.

Таким образом, различия величин сорбции МС для всех сорбентов из коры осины статистически значимы.

##### 1.2. Сорбция витамина В<sub>12</sub>

Число степеней свободы – 12, ошибка воспроизводимости (усредненная) – 0.77 мг/г, ошибка определения среднего – 0.45 мг/г.

В соответствии с правилами применения критерия Дункана расположим результаты в порядке возрастания:

СКО-6	СКО-5	СКО-4	СКО-3	СКО-2	СКО-1
(5)	(4)	(3)	(2)	(1)	(0)

Выпишем значимые ранги рангового критерия Дункана при уровне значимости 0,05 и степени свободы 12:

p	2	3	4	5	6
Ранги	3.08	3.23	3.33	3.36	3.40

Наименее значимые ранги (НЗР), умноженные на ошибку среднего, равны:

p	2	3	4	5	6
НЗР	1.39	1.45	1.50	1.51	1.53

$$(0) - (5) = 19.6 > 1.53; (0) - (4) = 18.8 > 1.51; (0) - (3) = 17.7 > 1.50; (0) - (2) = 11.1 > 1.45; (0) - (1) = 9.6 > 1.39.$$

$$(1) - (5) = 10 > 1.51; (1) - (4) = 9.2 > 1.50; (1) - (3) = 8.1 > 1.45; (1) - (2) = 1.5 > 1.39.$$

$$(2) - (5) = 8.5 > 1.50; (2) - (4) = 7.7 > 1.45; (2) - (3) = 6.6 > 1.39.$$

$$(3) - (5) = 1.9 > 1.45; (3) - (4) = 1.1 < 1.39.$$

Таким образом, только для сорбентов СКО-4 и СКО-5 различия величин сорбции витамина В<sub>12</sub> статистически не значимы.

## 2. Вопрос о статистической значимости различий между величинами сорбции лучшего сорбента из коры осины и образца сравнения.

### 2.1. Сорбция метиленового синего

Наибольшее значение величины сорбции маркера наблюдается для сорбента СКО-3 (табл.). Сравним величину его сорбции со значением для образца сравнения УА-Н. Число повторений 3, уровень значимости 0.05, ошибка воспроизводимости 7.53 мг/г.

В качестве нулевой гипотезы примем гипотезу о равенстве сорбции метиленового синего этими образцами (А<sub>СКО-3</sub> и А<sub>УА-Н</sub>). Нулевая гипотеза отвергается и различие величин считается статистически значимым, если

$$(A_{\text{СКО-3}} - A_{\text{УА-Н}}) > t_{1-p} S (1/n_1 + 1/n_2)^{1/2}, \quad (2.1)$$

где  $t_{1-p}$  – квантиль распределения Стьюдента (при степени свободы 4 и уровне значимости 0.05 равен 2.78); S – ошибка воспроизводимости;  $n_1$  и  $n_2$  – число повторений.

$$(A_{\text{СКО-3}} - A_{\text{УА-Н}}) = 200.4 > 17.17.$$

Следовательно, различие величин сорбции для данных сорбентов статистически значимо.

### 2.2 Сорбция витамина В<sub>12</sub>

Лучший результат по сорбции этого маркера демонстрирует сорбент из коры осины СКО-1. Сравним его значение сорбции с сорбцией образца сравнения УА-Н (А<sub>СКО-1</sub> и А<sub>УА-Н</sub>). В качестве нулевой гипотезы примем гипотезу о равенстве сорбции маркера этими образцами. Для проверки гипотезы использовали неравенство (2.1). Число повторений 3, уровень значимости 0.05, ошибка воспроизводимости 1.2 мг/г. При этих условиях имеем:

$$(A_{\text{УА-Н}} - A_{\text{СКО-1}}) = 6.0 > 2.74.$$

Следовательно, различие величин сорбции витамина В<sub>12</sub> для данных сорбентов статистически значимо.

Для этой пары сорбентов сравним величины сорбции метиленового синего:

$$(A_{\text{СКО-1}} - A_{\text{УА-Н}}) = 139 > 17.17$$

Таким образом, различие величин сорбции метиленового синего для данных сорбентов также статистически значимо.