

УДК 544.723

УМАРОВА К.В., студент гр. ХО-51м (ЮЗГУ)  
ЛЫСЕНКО А.В., к.х.н., доцент (ЮЗГУ)  
г. Курск

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА РЕАКЦИИ ПИРОКАТЕХИНА НЕТРАДИЦИОННЫМИ СОРБЕНТАМИ

Одной из актуальных проблем для современного общества является обеспечение доступа к чистой воде. Природные водоемы часто подвержены загрязнению различными органическими соединениями, наиболее распространенным из которых является фенол [1-2].

Загрязнение сточных вод промышленными отходами – это процесс, при котором в воду попадают вредные вещества, образовавшиеся в результате производственных процессов на предприятиях. Это ухудшает качество воды, делает её непригодной для использования в различных целях (питьё, орошение, отдых) и опасной для водных обитателей. В качестве перспективного метода очистки природных вод от органических и неорганических загрязнителей рассматривается сорбция [3-4]. Этот метод отличается высокой эффективностью, технологической простотой и экономической целесообразностью [5-6].

В качестве сорбентов использовали непищевые отходы переработки пшеницы, кожевенную стружку и гранулы полиэтилена. Для изучения кинетических характеристик проводили одноступенчатую статическую сорбцию. К 1 г каждого из сорбентов приливали 50 см<sup>3</sup> водного раствора фенола с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. Время сорбции составило 10, 15, 20, 25 и 30 минут. После истечения времени сорбции растворы отфильтровывали [7].

Для определения пирокатехина в растворах после сорбции взаимодействием с хлоридом железа (III) получали его окрашенное комплексное соединение. Для этого отбирали 5 см<sup>3</sup> растворов после сорбции, помещали их в мерные колбы на 50 см<sup>3</sup>, добавляли 5 см<sup>3</sup> хлорида железа (III) и доводили объемы растворов до метки дистиллированной водой. Полученные окрашенные растворы комплексного соединения пирокатехина фотометрировали при 425 нм [8].

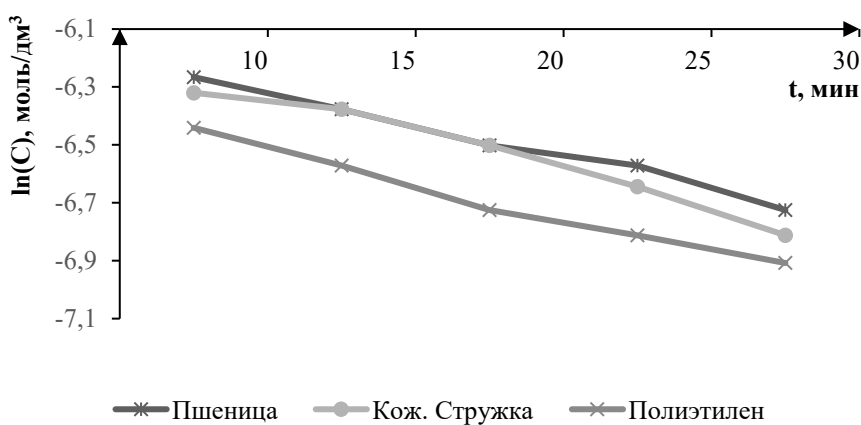
По градуировочному графику, построенному на основании результатов калибровки прибора, определяли концентрацию пирокатехина в образцах [9]. Далее определяли порядок реакции сорбции графическим и интегральным методами [10].

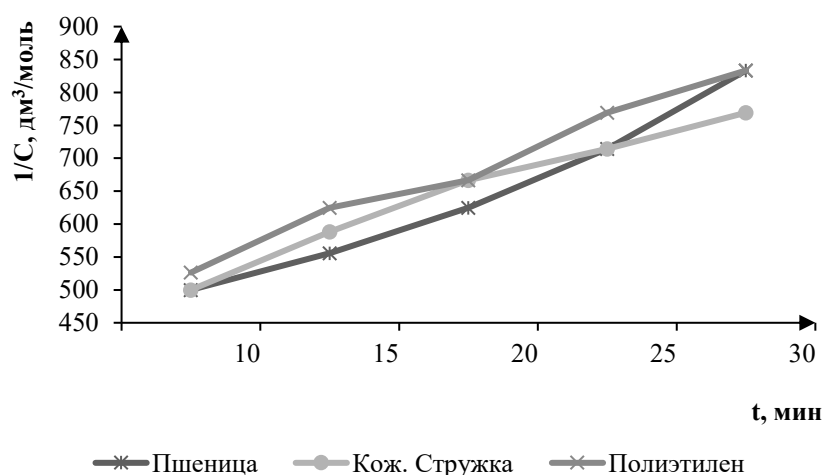
Предварительно для определения порядка реакции были построены кинетические кривые сорбции пирокатехина с нетрадиционными сорбентами по полученным концентрациям. В таблице 1 представлены получившиеся значения.

Таблица 1. Экспериментальные данные процесса сорбции пирокатехина из водных растворов нетрадиционными сорбентами

| Сорбент                              | t, мин | Г, % | C, моль/дм <sup>3</sup> | ln(C)  | 1/C, дм <sup>3</sup> /моль |
|--------------------------------------|--------|------|-------------------------|--------|----------------------------|
| Непищевые отходы переработки пшеницы | 10     | 98,1 | 0,0019                  | -6,266 | 526,3                      |
|                                      | 15     | 98,3 | 0,0017                  | -6,377 | 588,3                      |
|                                      | 20     | 98,5 | 0,0015                  | -6,502 | 666,6                      |
|                                      | 25     | 98,6 | 0,0014                  | -6,571 | 714,3                      |
|                                      | 30     | 99   | 0,001                   | -6,725 | 833,3                      |
| Кожевенная стружка                   | 10     | 98,2 | 0,0018                  | -6,320 | 555,6                      |
|                                      | 15     | 98,3 | 0,0017                  | -6,377 | 588,2                      |
|                                      | 20     | 98,4 | 0,0016                  | -6,502 | 666,7                      |
|                                      | 25     | 98,7 | 0,0013                  | -6,645 | 769,2                      |
|                                      | 30     | 98,9 | 0,0011                  | -6,812 | 909,1                      |
| Полиэтилен                           | 10     | 98,4 | 0,0016                  | -6,441 | 625                        |
|                                      | 15     | 98,6 | 0,0014                  | -6,572 | 714,3                      |
|                                      | 20     | 98,8 | 0,0012                  | -6,725 | 833,3                      |
|                                      | 25     | 98,9 | 0,0011                  | -6,812 | 909,1                      |
|                                      | 30     | 99   | 0,001                   | -6,908 | 1000                       |

Для первого порядка реакции построили графики в координатах  $\ln(C) = f(t)$ , а для второго порядка  $1/C = f(t)$ , представленные на рисунках 1-2.

Рисунок 1. График зависимости  $\ln(C)$  от времени для пирокатехина

Рисунок 2. График зависимости  $1/C$  от времени для пирокатехина

Для определения порядка реакции сравнивали коэффициенты корреляции ( $R^2_1$ ,  $R^2_2$ ) из графиков для каждого сорбента. Если график линейный (коэффициент корреляции близок к 1 по модулю), то он соответствует предварительному порядку реакции. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции для кинетических графиков

| Сорбент                              | $R^2_1$  | $R^2_2$ |
|--------------------------------------|----------|---------|
| Непищевые отходы переработки пшеницы | -0,99517 | 0,98997 |
| Кожевенная стружка                   | -0,98661 | 0,97503 |
| Полиэтилен                           | -0,99382 | 0,99787 |

Для более точного определения порядка реакций был использован интегральный метод. Для этого рассчитали константы скорости сорбентов для первого и второго порядка реакций ( $k_1$ ,  $k_2$ ) по формулам 1-2.

Для 1-го порядка реакции использовали формулу 1:

$$k_1 = \frac{\ln \frac{C_0}{C}}{t}, \quad (1)$$

Для 2-го порядка реакции использовали формулу 2:

$$k_2 = \frac{\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0}}{t}, \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация адсорбата в момент времени  $t$ , моль/дм<sup>3</sup>;  
 $C_0$  – исходная концентрация адсорбата, 0,1 моль/дм<sup>3</sup>;  
 $t$  – время, мин.

Если рассчитанные константы скорости совпадают, значит, порядок реакции определен верно. Нулевой порядок реакции не использовали в расчетах, потому что при этом порядке скорость реакции постоянна во времени и не зависит от концентрации реагирующих веществ.

Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнение констант скорости сорбентов

| Сорбент                              | t, мин | $k_1$ | $k_2$ |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|
| Непищевые отходы переработки пшеницы | 10     | 0,2   | 51,6  |
|                                      | 15     |       | 38,6  |
|                                      | 20     |       | 32,8  |
|                                      | 25     |       | 28,2  |
|                                      | 30     |       | 27,4  |
| Кожевенная стружка                   | 10     | 0,19  | 49,0  |
|                                      | 15     |       | 36,4  |
|                                      | 20     |       | 30,8  |
|                                      | 25     |       | 28,2  |
|                                      | 30     |       | 27,4  |
| Полиэтилен                           | 10     | 0,18  | 65,0  |
|                                      | 15     |       | 50,0  |
|                                      | 20     |       | 37,9  |
|                                      | 25     |       | 32,9  |
|                                      | 30     |       | 30,0  |

Таким образом, сорбция пирокатехина всеми исследуемыми нетрадиционными сорбентами имеет первый порядок реакции, что было доказано графическим и интегральным методами. Сравнительный анализ констант скорости сорбции показал, что наименьшей скоростью поглощения характеризуются кожевенная стружка и полиэтилен. В то же время отходы пшеницы демонстрируют наибольшую скорость сорбции. Следовательно, непищевые отходы переработки пшеницы обладают не только более высокой эффективностью, но и более быстрым поглощением двухатомного фенола по сравнению с другими исследованными сорбентами.

#### Список литературы:

1. Сазонова, А.В. Перспективы использования природных сорбентов для очистки сточных вод от техногенных загрязнений / А.В. Сазонова, С.Е. Лямцев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии, 2015. № 3 (16). С. 80-85.
2. Волвенкина, К.В. Изучение сорбции фенола полиэтиленом / К.В. Волвенкина, З.С. Коновальцева // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 7-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21-22 марта 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 68-71.

3. Коновальцева, З.С. Изучение сорбции пирокатехина кожевенной стружкой / З.С. Коновальцева, К.В. Волвенкина, О.В. Бурыкина // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2023: Сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 09-10 ноября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 21-24.
4. Патент на изобретение RU 2424193 C1, 20.07.2011. Способ сорбционной очистки сточных вод от фенолов. В.С. Мальцева, Т.А. Будыкина, А.В. Сазонова. Заявка № 2009143280/05 от 23.11.2009.
5. Коновальцева, З.С. Изучение сорбции пирокатехина отходами переработки пшеницы / З.С. Коновальцева, К.В. Волвенкина, О.В. Бурыкина // Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии – 2023: Сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Курск, 11 октября 2023 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2023. – С. 31-34.
6. Мальцева, В.С. Исследование механизма сорбции фенола из сточных вод природными сорбентами / В.С. Мальцева, А.В. Сазонова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Физика и химия, 2013. №1. С. 065-074.
7. Волвенкина, К.В. Изучение сорбции гидрохинона кожевенной стружкой / К.В. Волвенкина, З.С. Коновальцева // Молодежь и наука: шаг к успеху: сборник научных статей 7-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 21-22 марта 2024 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 65-68.
8. Волвенкина, К.В. Анализ изотермы сорбции раствора фенола отходами переработки зерновых культур / К.В. Волвенкина, З.С. Коновальцева // Юность и знания – гарантия успеха – 2022: сборник научных статей 9-й Международной молодежной научной конференции: в 3 т., Курск, 15-16 сентября 2022 года. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 58-60.
9. Бурыкина, О.В. Изучение сорбции фенола непищевыми отходами переработки пшеницы / О.В. Бурыкина, З.С. Коновальцева, К.В. Волвенкина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2023. – Т. 13, № 2. – С. 222-234.
10. Волвенкина, К.В. Изучение сорбции фенола кожевенной стружкой / К.В. Волвенкина, З.С. Коновальцева, О.В. Бурыкина // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2023: Сборник научных статей 12-й Международной молодежной научной конференции. В 4-х томах, Курск, 09-10 ноября 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 13-15.