

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

УДК 543.421/.424

КИНЕТИКА СОРБЦИИ КАТИОННОГО
РОЗОВОГО 2С ДРЕВЕСНЫМ СОРБЕНТОМ

© 2022 г. А. П. Афонина^{а,*}, О. В. Бурькина^{а,**}

^а Юго-Западный государственный университет, Курск, Россия

*e-mail: madamafonina@gmail.com

**e-mail: buoksana@yandex.ru

Поступила в редакцию 21.09.2021 г.

После доработки 21.09.2021 г.

Принята к публикации 25.09.2021 г.

Исследована кинетика процесса сорбции катионного розового 2С березовыми опилками. Получена кинетическая кривая процесса сорбции, определен порядок реакции. Изучено влияние модификации древесного сорбента на кинетику сорбции выбранного красителя.

Ключевые слова: сорбция, краситель, кинетика, порядок реакции, сточные воды, сорбент

DOI: 10.31857/S0044453722030025

Реки – источник пресной воды, без которой невозможна жизнь животного и растительного мира. Природные воды – возобновляемый природный ресурс, но ограниченный и подвержен негативному воздействию. С развитием промышленности, транспорта, сельского хозяйства антропогенная и техногенная нагрузки на природные и водные объекты заметно усилились [1]. Реки под влиянием хозяйственной деятельности человека засоряются и истощаются; они загрязняются также непосредственными сбросами в них вредных веществ из промышленных и бытовых сточных вод [2–4]. Одни из загрязняющих веществ – промышленные красители, которые содержатся в сточных водах предприятий легкой промышленности, производства красителей, бытового обслуживания. Красители – биологически активные вещества, они представляют собой яды локального действия, обладающие токсическим и угнетающим действием на микроорганизмы [5]. Содержание красителя в водном объекте более 0.1 мг/л влияет на кислородный режим воды, ХПК, БПК и особенно на процессы аммонификации и оказывают канцерогенное, мутагенное, аллергическое воздействие. Кроме того, наличие красителей в сточных водах ухудшает работу очистных сооружений [6].

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой на окружающую среду ее сохранение, в частности поверхностных природных вод, становится одной из важных проблем современного мира [7]. Сорбционные методы очистки природных и сточных вод представляют собой наибольший интерес, поскольку эффективны по отноше-

нию к поллютантам различного происхождения и просты в аппаратном оформлении. Использование местных природных сорбентов и отходов предприятий [8–10] делает этот способ еще и экономически и экологически выгодным.

Один из эффективных сорбентов по отношению к промышленным красителям можно получить, используя отходы деревообрабатывающей промышленности (опилки, кора и т.п.) [11, 12]. Для повышения ценности природного материала, как сорбента, проводят химическое модифицирование его поверхности [13, 14].

Для изучения был выбран представитель катионных красителей – катионный розовый 2С, который используется для окрашивания полиакрилонитрильных волокон в различные оттенки розового. Полученные окраски отличаются яркостью, чистотой цвета, высокой светостойкостью. Катионный розовый 2С относится к группе полиметиновых красителей, в частности к гемиданинам. Положительный заряд расположен в хромофорной части молекулы красителя (рис. 1).

Важнейший этап для выявления эффективности сорбента – изучение кинетических и термо-

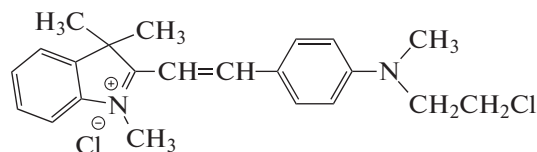


Рис. 1. Химическая формула катионного розового 2С.

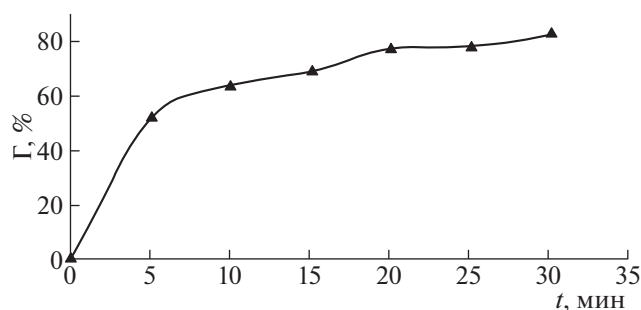


Рис. 2. Кинетическая кривая сорбции катионного розового 2С древесными опилками.

динамических характеристик процессов сорбции. Ранее [15, 16] нами была изучена сорбционная способность древесных опилок по отношению катионному розовому 2С и определен тип изотермы сорбции. Для изучения кинетических закономерностей процесса сорбции катионного розового 2С древесными опилками использовали статический метод одноступенчатой сорбции.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования брали березовые опилки с пилорамы в Брянской области, Брасовском районе, пгт. Локоть. Предварительно опилки промывали и высушивали, а затем просеивали через лабораторные сита с $d = 0.5$ мм. Для исследования выбирали фракцию с $d < 0.5$ мм. Далее опилки выдерживали в горячей воде в течение определенного времени. Эта операция необходима, поскольку опилки содержат дубильные вещества, придающие водным растворам кислую среду, которая может менять структуру хромофорных групп красителя, а значит, влиять на цвет красителя. Отсутствие дубильных веществ в водной вытяжке проверяли методом Якимова и Курницкой. После 30-минутной выдержки опилок в горячей воде дубильные вещества в фильтрате не определялись.

Для определения процента сорбции использовали фотометрический метод — метод калибровочного графика. На аналитических весах взвешивали навески опилок массой 1 г и помещали их в химические стаканы объемом 100 мл, добавляли 50 мл раствора красителя концентрацией 0.5 г/л. Полученную смесь перемешивали на магнитной мешалке при комнатной температуре, варьируя время сорбции от 5 до 30 мин с шагом 5 мин. После завершения процесса сорбции растворы отфильтровали и фотометрировали относительно дистиллированной воды при $\lambda = 546$ нм на спектрофотометре ПЭ-5400УФ. С помощью калибровочного графика определили остаточные концентрации красителей. Сорбционную способность Γ (%) рассчитывали по формуле, приведенной в [15].

По полученным данным строили кинетическую кривую сорбции красителя катионного розового 2С древесными опилками (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что кинетическая кривая на начальном участке (до 5 мин) резко возрастает, а далее, при увеличении времени сорбции, происходит постепенное заполнение доли активных адсорбционных центров сорбента красителем катионным розовым 2С и степень сорбции не меняется. Максимальная сорбция достигается при времени сорбции 30 мин и составляет 82.6%, т.е. при времени сорбции 30 мин возникает динамическое сорбционное равновесие, которое на кинетической кривой проявляется в виде плато.

Для определения стадии, лимитирующей скорость протекания процесса сорбции, использовали графоаналитический метод построения зависимости: $\ln(1 - F) = f(t)$ (внешне диффузионная кинетика) и $F = f(t^{1/2})$ (внутридиффузионная кинетика). Результаты графической обработки экспериментальных данных в соответствующих координатах представлены на рис. 3.

Графически анализ показал, что коэффициенты линейной корреляции для обеих зависимостей достаточно высоки: для внешней диффузии 0.8498, для внутренней — 0.9801. Это позволяет предположить, что процесс протекает в смешанно-диффузионном режиме, т.е. контролируется одновременно внешней и внутренней диффузией.

Порядок процесса сорбции определяли графическим методом, который заключается в построении зависимости концентрации реагента от времени в различных координатах и определении наиболее линейной зависимости (рис. 4). При проведении анализа необходимо учитывать и величину коэффициента корреляции, где она наибольшая, тот график и рассматривается.

Анализ графических зависимостей показал, что наибольший коэффициент корреляции и прямолинейная зависимость наблюдаются для третьего графика, построенного для реакции псевдо-второго порядка. Константа скорости для данного порядка вычисляли по формуле:

$$k = \frac{1}{t} \left(\frac{1}{C} - \frac{1}{C_0} \right),$$

где t — время сорбции, с; C — концентрация красителя после сорбции, г/л; C_0 — концентрация красителя до сорбции, г/л. Полученная величина константы скорости составила 7.2×10^{-3} л/(гс).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении кинетических исследований установлено, что максимальная сорбция красителя катионного розового 2С достигается в течение 30 мин и составляет 82.6%. При проведении графоаналитического анализа выявлено, что про-

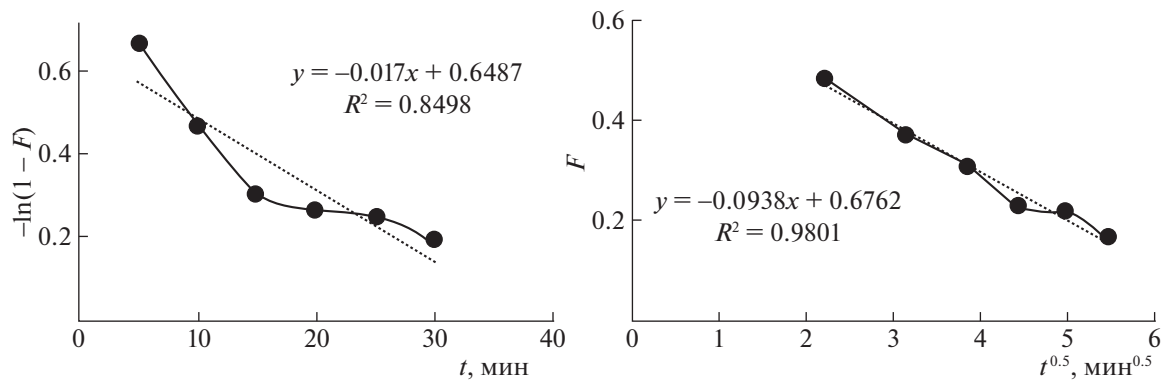


Рис. 3. Графоаналитическое определение лимитирующей стадии сорбции катионного розового 2С древесными опилками.

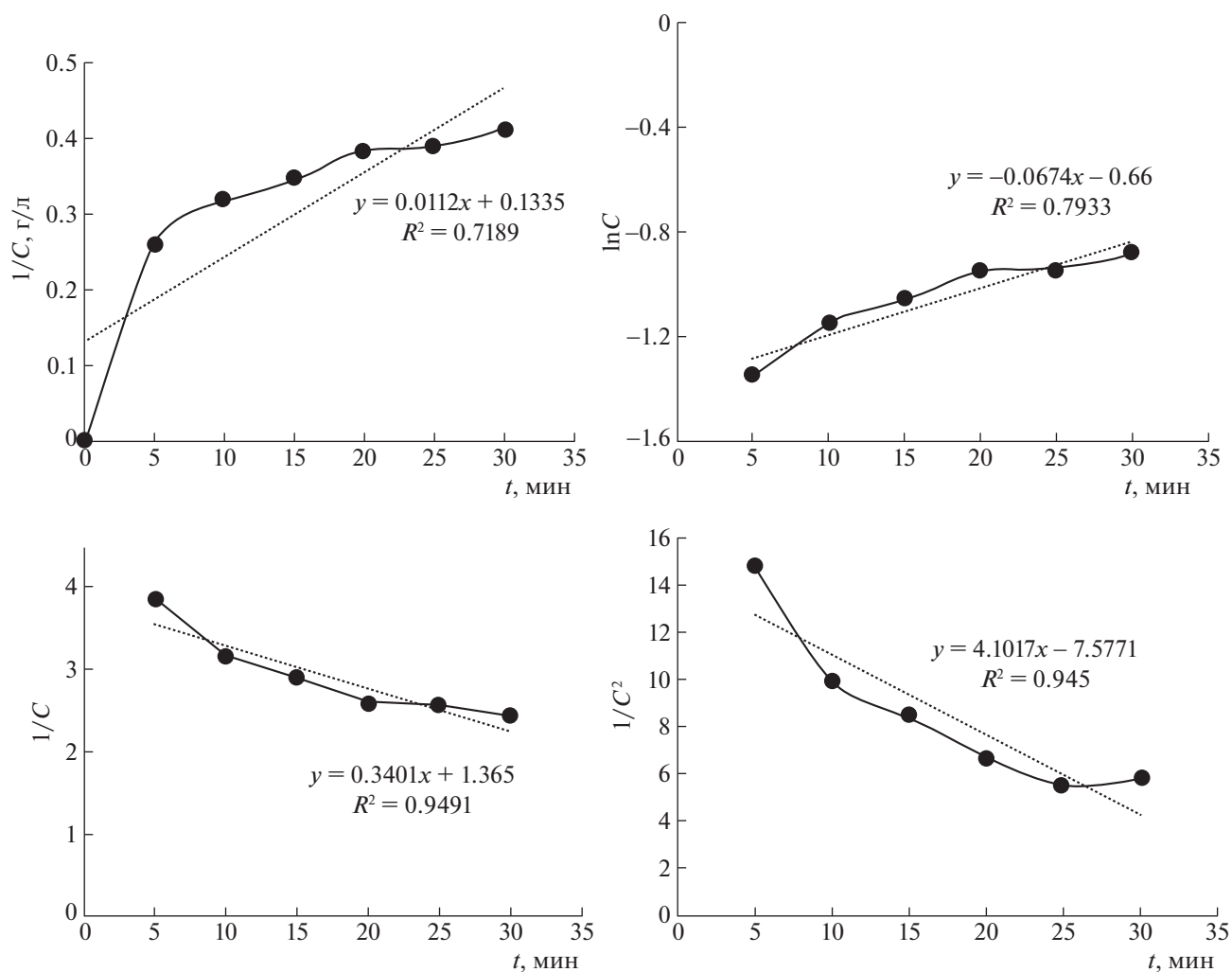


Рис. 4. Зависимости концентрации реагента от времени для реакций нулевого (а), первого (б), второго (в) и третьего (г) порядков.

цесс протекает в смешанно-диффузионном режиме, т.е. контролируется одновременно внешней и внутренней диффузией. Графическим методом определено, что процесс сорбции красителя катионного розового 2С относится к реакциям псевдо-второго порядка. С использованием кинетического уравнения для реакций второго порядка рассчитана константа скорости процесса сорбции древесным сорбентом красителя катионного розового 2С (7.2×10^{-3} л/(гс)).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад “О состоянии и охране окружающей среды на территории Курской области в 2019 году”. Курск, 2020. С. 199.
2. Зеленкова Т.И., Хоботова С.Н., Мальцева В.С., Бурыкина О.В. // Сб. Проблемы развития аграрного сектора региона. Матер. Всеросс. научно-практической конф., в 4-х частях. Курск, 2006. С. 178–180.
3. Бурыкина О.В., Мальцева В.С. // Сб. Научное обеспечение агропромышленного производства. Матер. Междунар. научно-практической конф. Ответственный за выпуск И.Я. Пигорев. Курск, 2010. С. 287–290.
4. Фатьянова Е.А., Мальцева В.С., Бурыкина О.В. // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. Сер. Техника и технологии. 2012. № 2–3. С. 270.
5. Степанов Б.И. Введение в химию и технологию органических красителей / Б.И. Степанов. М.: Химия, 1997. 488 с.
6. Ксенофонов Б.С. Проблемы очистки вод. М.: Знание, 1991. 34 с.
7. Методы решения экологических проблем / Мельник Л.Г., Лукаш О.А., Авдасёв В.Н. и др. / Под ред. Л. Г. Мельника. Т. 4: Экологические вызовы и экономические возможности. Сумы, 2015.
8. Фролова Н.В., Пыхова О.О., Сазонова А.В. и др. / В сб. Молодежь и XXI век – 2012. Матер. IV Междунар. молодежной научной конф. Отв. ред. А.А. Горохов. Курск, 2012. С. 231–233.
9. Сазонова А.В., Лямцев С.Е. // Изв. Юго-Западн. гос. ун-та. Сер. Техника и технологии. 2015. № 3 (16). С. 80–85.
10. Сапаргалиев Е.М. Экосфера: ВК информационно-аналитический ежегодник. Усть-Каменогорск, 2005. С. 42–43.
11. Разиньков Д.Ю. // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке /Матер. 4-й Междунар. научно-практической конф. Махачкала, 30 апреля 2014 г. Махачкала: ООО “Апробация”, 2014. С. 10–12.
12. Бурыкина О.В., Гатилова О.В. // Современный научный вестник. Белгород. 2013. Т. 6. № 1. С. 69–71.
13. Семенович А.В., Лоскутов С.Р. // Химия растительного сырья. 2004. № 3. С. 121.
14. Афонина А.П., Махрамов И.А., Бурыкина О.В. // Матер. Междунар. научно-практической конф. “Научные достижения 2019”. 2019. С. 212.
15. Афонина А.П., Махрамов И.А., Бурыкина О.В. // Будущее науки – 2019: сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 25–26 апреля 2019 г. Курск: Юго-Западный гос. ун-т, 2019. С. 237.
16. Воронаева В.В. // Там же. С. 247.