



БЕЗОПАСНОСТЬ В ТЕХНОСФЕРЕ 1/2017

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Подписные индексы: «Роспечать» – 18316, «Пресса России» – 11237

- Лазерное зондирование для контроля загрязнений
- Биотехносфера и околоземное пространство
- Фиторемедиация почв
- Радиационный риск в зоне хранилища радиоактивных отходов
- Моделирование флотационной очистки сточных вод
- Применение газотурбинных установок для очистки сточных вод
- Актуализированные образовательные стандарты и разработка профессиональных компетенций

Очистка сточных вод от левомицетина адсорбционным методом

Л.Н. Григорьев, профессор, д-р техн. наук^{1,2},

О.А. Шанова, заведующий кафедрой, доцент, канд. техн. наук²,

Л.Г. Веренцова, доцент, канд. хим. наук¹,

А.А. Родионова, ассистент, магистр экологии¹

¹Санкт-Петербургская государственная химико-фармацевтическая академия

²Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна. Высшая школа технологии и энергетики

email: grig.lev@mail.ru

Ключевые слова:

адсорбция,
микропоры,
переходные поры,
характеристическая энергия,
уравнения изотерм,
левомицетин,
сточные воды,
коэффициент массопередачи.

Представлены данные об адсорбции левомицетина из водного раствора в статических и динамических условиях на промышленных активных углях АГ-5 и БАУ-А в широком интервале концентрации. Показано, что расчет равновесной величины адсорбции и продолжительности процесса при концентрации с достаточной точностью можно выполнить, используя уравнения, соответственно, Дубинина–Радушкевича–Астахова и Дубинина–Николаева. Предложены уравнения для расчета величины адсорбции левомицетина в зависимости от объема микропор углей и характеристической энергии в зависимости от размера пор.

1. Введение в проблему

К опасным загрязняющим веществам (ЗВ), характерным для сточных вод фармацевтических предприятий, относятся антибиотики. В настоящее время для очистки сточных вод от антибиотиков, находящихся во взвешенном состоянии, предлагается ряд методов и способов, из которых наиболее известны мембранные технологии (ультра- и гиперфильтрационные, электрохимические) [1, 2]. Применение таких технологий для удаления из сточных вод растворенных антибиотиков менее эффективно и требует комплексного подхода, предусматривающего дополнительное включение в схему очистки стоков специальных методов доочистки. Один из таких методов адсорбционный с использованием в качестве адсорбентов активных углей. Следует отметить, что в последние годы этому методу уделяется значительное внимание [3–6]. *Цель работы:* оценить возможность применения промышленных активных углей для очистки сточных вод и водных растворов от левомицетина и получить информацию, необходимую при технологическом расчете процесса адсорбции.

2. Экспериментальное исследование

В качестве активных углей были выбраны АГ-5 и БАУ-А, характеристика которых приведена в [7, 8]. Угли незначительно различаются по объему микро- и переходных пор, содержанию сильно- и слабокислотных групп и существенно — по содержанию фенольных и основных групп. Предельные адсорбционные объемы пор (W) составляют: для угля АГ-5—0,25 см³·г⁻¹, для угля БАУ-А — 0,20 см³·г⁻¹. Водная вытяжка угля БАУ имеет щелочную реакцию (рН = 10,00), угля АГ-5 — нейтральную (рН = 7,04). Для выявления влияния объема пор на величину адсорбции левомицетина (ЛМЦ) при проведении исследования был использован уголь АР-3, объемы микро- и переходных пор для которого составляют, соответственно, 0,33 и 0,07 см³·г⁻¹ [7].

Подготовка активных углей к опытам включала просеивание, кипячение с дистиллированной водой, промывку горячей и холодной дистиллированной водой и сушку при $T = 383\text{K}$; размер фракции — $(1,0\text{--}1,5) \cdot 10^{-3}$ м. Водные растворы ЛМЦ готовили на основе готовой лекарственной формы (0,25 % вод-

ный раствор с добавлением борной кислоты) в интервале концентрации 25,0–1000 мг·дм⁻³.

Исходные данные для построения изотерм адсорбции получали ампульным способом (в герметичных колбах объемом 100 см³ с массой адсорбента 2,000 г и раствором ЛМЦ объемом 50 см³; колбы помещались в встряхиватель Elpan Shaker with water bath type 357 с числом качаний 150 мин⁻¹ и амплитудой 5) в статических условиях при температуре 291±2 К по общепринятой методике [9]; для каждой точки на изотерме проводилось два, иногда три, параллельных опыта. Аналитическое определение концентрации ЛМЦ проводили по методике [10]. Перед проведением исследований была определена продолжительность установления равновесия в системе активный уголь–водный раствор левомицетина, которая составила для угля АГ-5 80 мин, а для угля БАУ-А — 90 мин. Изучение адсорбции ЛМЦ в динамических условиях проводили на типовой проточной установке (диаметр колонки — 0,022 м, высота слоя угля — 0,010–0,015 м, расход потока раствора — 30,0–90,0 см³·мин⁻¹).

3. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 приведены изотермы адсорбции ЛМЦ на выбранных углях. Видно, что при малой концентрации ЛМЦ изотермы практически совпадают (а — величина адсорбции). В интервале концентрации ЛМЦ $C_0 = 25\text{--}200$ мг·дм⁻³ изотермы мало отличаются, а заметное различие наблюдается при дальнейшем повышении концентрации ЛМЦ. Можно предположить, что сходство и различие в изотермах адсорб-

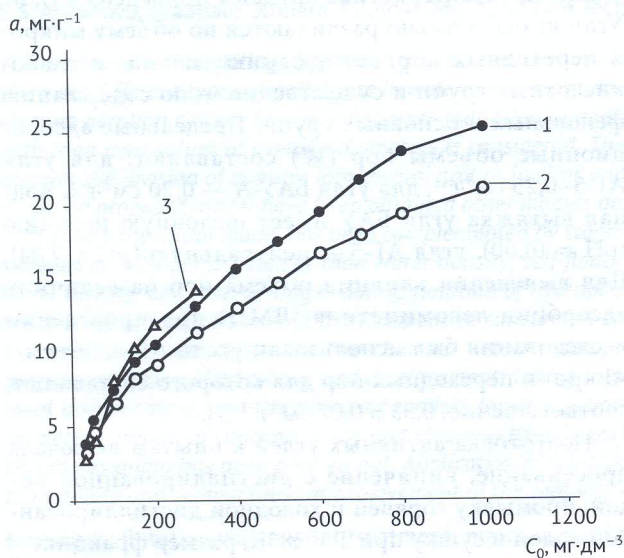


Рис. 1. Изотермы адсорбции ЛМЦ на активных углях ($T = 291$ К): 1 — АГ-5; 2 — БАУ-А; 3 — АР-3.

ции ЛМЦ на углях обусловлено наличием взаимосвязи между величиной адсорбции и объемом пор, участвующих в процессе. Для уточнения этого была построена дополнительно изотерма адсорбции ЛМЦ в сравнимых условиях на еще одном промышленном и более микропористом активном угле АР-3 (рис. 1).

Из рис. 2 видно, что между величиной адсорбции ЛМЦ ($C_0 = 100$ мг·дм⁻³) и объемами микропор ($V_{\text{ми}}$), а также суммарным объемом микро- и переходных пор (ΣV) существует линейная зависимость. Линейная зависимость соблюдается и при других значениях концентрации ЛМЦ, при этом изменяется угол наклона прямых при сохранении их параллельности — как для микропор, так и суммарного объема. Параллельность прямых косвенно свидетельствует об отсутствии заметной адсорбции в переходных порах и о проявлении хемосорбционного эффекта. Отмеченное позволяет допустить, что адсорбция ЛМЦ на данных активных углях протекает преимущественно в объеме крупных микропор, соответствующих по размерам молекуле левомицетина.

Используя метод планирования полного факторного эксперимента, с учетом условий опытов, было получено уравнение, позволяющее адекватно оценить взаимосвязь между величиной адсорбции ЛМЦ и суммарным объемом микро- и переходных пор (ΣV):

$$a = 25,53 \cdot \Sigma V + 0,024 \cdot C_0 - 3,70, \quad (1)$$

где: V — см³·г⁻¹; C_0 — мг·дм⁻³.

Для уточнения данного допущения и учитывая, что изучаемые активные угли относятся к микро-

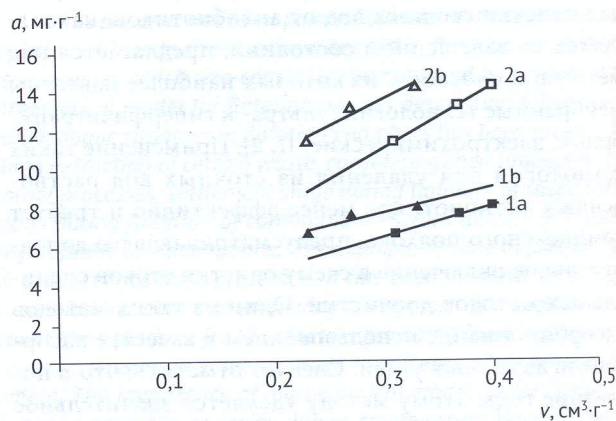


Рис. 2. Влияние объема микропор и суммы объемов микро- и переходных пор на величину адсорбции
1а — при $C_0 = 100$ мг·дм⁻³ для объема микропор;
1б — при $C_0 = 300$ мг·дм⁻³ для суммы микро- и переходных пор;
2а — при $C_0 = 100$ мг·дм⁻³ для объема микропор;
2б — при $C_0 = 300$ мг·дм⁻³ для суммы микро- и переходных пор.

Таблица 1

Значения констант уравнения ДР

Адсорбент	a_{np} , мг·г ⁻¹	E , кДж·моль ⁻¹ (г, нм)
АГ-5	$a_{np1} = 19,27$	$E_1 = 4,38$ (1,6)
	$a_{np2} = 32,36$	$E_1 = 2,99$ (1,8)
	$\sum a_{np} = 51,63$	
БАУ-А	$a_{np1} = 17,18$	$E_1 = 4,13$ (1,7)
	$a_{np2} = 29,51$	$E_2 = 2,73$ (1,9)
	$\sum a_{np} = 46,63$	

пористым материалам, были проанализированы изотермы адсорбции ЛМЦ в координатах линейных форм $\{lga_0 - [lg(S/C_0)]^n\}$ уравнений Дубинина–Радушкевича ($n = 2$) (ДР) и Дубинина–Астахова ($n \neq 2$) (ДА):

$$a_0 = a_{np} \cdot \exp[-(A/E)^n], \quad (2)$$

где: a_0 — величина адсорбции, мг·г⁻¹; A — дифференциальная мольная работа адсорбции, кДж·моль⁻¹, $[A = RT \ln(S/C_0)^n]$; a_{np} — предельная величина адсорбции; E — характеристическая энергия адсорбции, кДж·моль⁻¹; n — показатель степени, постоянный для конкретной адсорбционной системы; C_0 и S — соответственно, концентрация адсорбтива (ЛМЦ) и его растворимость, мг·дм⁻³.

Из рис. 3 видно, что изотермы адсорбции ЛМЦ на углях АГ-5 и БАУ-А в координатах линейной формы уравнения ДР ступенчатые и представляют собой две прямые линии с различными углами наклона, экстраполирование которых до оси ординат приводит к различным значениям предельной величины адсорбции. Наличие двух линейных участков свидетельствует о неоднородном характере микропор в адсорбентах; в данном случае неоднородность поверхности обусловлена, видимо, протеканием адсорбции ЛМЦ в микропорах различного размера: не только в микропорах с распределением по размерам, соответствующему уравнению ДР, но и в более крупных — супермикропорах. Значения констант уравнения ДР приведены в табл. 1.

Величина характеристической энергии адсорбции определена из условия: $E^2 = 0,434(RT)^2 / \text{tg}\alpha$, где $\text{tg}\alpha$ — угол наклона соответствующего участка ломаной линии на рис. 3. По величине E можно вычислить размер пор, участвующих в адсорбции ЛМЦ. Для этого проанализированы известные экспериментальные данные [11], которые в координатах $lgE - r$ (радиус

пор, нм) хорошо укладываются на прямую линию. В результате обработки данных получено выражение

$$E = 63,09 \cdot e^{-1,62r}, \quad (3)$$

позволяющее приблизительно определить радиус пор (см. табл. 1).

Для расчета изотерм адсорбции, подобных приведенным на рис. 3, предлагается [11, 12] использовать суммарное уравнение ДР, включающее (в нашем случае) два уравнения с соответствующими константами a_{np} и E (индекс 1 относится к нижнему участку ступенчатой изотермы — первой подструктуре, 2 — к верхнему — второй подструктуре):

$$a_0 = a_1 + a_2 = a_{np,1} \cdot \exp(-(A/E_1)^2) + a_{np,2} \cdot \exp(-(A/E_2)^2). \quad (4)$$

Из табл. 2 видно, что расчет величины адсорбции ЛМЦ для случая, когда микропористая структура угля (на примере АГ-5) состоит из двух подструктур,

Таблица 2

Относительная погрешность расчета изотермы адсорбции ЛМЦ на угле АГ-5

C_0 , мг·дм ⁻³	a_0 (экспериментальное значение)	ν			
		$a_0 = a_1 + a_2$	$a_0 = a_1$	$a_0 = a_2$	$a_0 = (a_1 + a_2)/2$
25	3,81	25,35	7,24	71,41	23,17
50	5,50	33,76	7,77	45,78	14,61
100	7,60	42,20	7,65	21,55	5,50
200	10,42	48,59	8,92	1,93	1,61
300	13,30	46,59	2,59	1,32	0,64
400	15,79	43,69	9,15	1,11	3,86
500	17,40	43,13	12,13	2,47	4,48
600	19,58	40,63	17,01	1,46	7,20
700	21,40	38,15	21,03	0,16	9,89
800	22,90	36,63	23,85	0,87	11,52
1000	26,42	31,93	30,59	4,45	16,44
Среднее значение ν		39,15	13,45	13,86	8,99

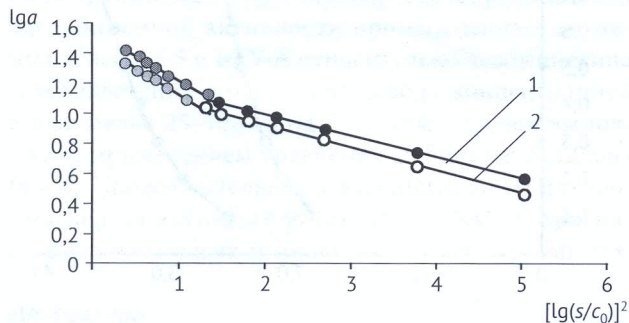


Рис. 3. Изотермы адсорбции ЛМЦ в координатах уравнения Дубинина–Радушкевича ($T = 291$ К):
1 — АГ-5; 2 — БАУ-А

не позволяет получить значения, близкие к экспериментальным. Относительное среднеквадратическое отклонение результатов расчета (ν) достаточно высоко и составляет 39,15 %, изменяясь от 25,35 до 48,59 %. Однако показатель ν можно уменьшить, если аппроксимировать ломаную изотерму адсорбции ЛМЦ уравнением, характеризующим только одну из двух подструктур; при этом предпочтение следует отдать уравнению для первой подструктуры, поскольку оно позволяет рассчитывать адсорбцию с достаточным для практики значением ν (до 10–15 %) при концентрации ЛМЦ, обычно характерной для сточных вод фармацевтических предприятий (до 400–500 мг·дм⁻³). Формально, учитывая данные таблиц, уравнение ДР может быть использовано для расчета величины равновесной адсорбции ЛМЦ, если за результат принять среднее арифметическое значение a_0 : $a_0 = (a_1 + a_2)/2$. Однако достаточно высокие значения ν в области низкой концентрации ЛМЦ (< 50 мг·дм⁻³) не позволяют рекомендовать такой способ расчета.

Следует отметить, что линейность изотермы адсорбции ЛМЦ не достигается при использовании уравнения ДА с показателем $n=3$, из чего следует, что адсорбция ЛМЦ при концентрации 500 мг·дм⁻³ и выше протекает в супермикropорах и, возможно, мелких мезопорах. Это подтверждается расчетом размера пор по выражению (3) и тем, что линейность изотермы достигается только при $n=1$ (рис. 4). Из рис. 4 находим значения констант уравнения ДА: для угля АГ-5 — $a_{np} = 53,70$ мг·г⁻¹, $E = 2,07$ кДж·моль⁻¹; для угля БАУ — $a_{np} = 44,16$ мг·г⁻¹, $E = 2,08$ кДж·моль⁻¹; для обоих углей $n = 1$. Интересно отметить, что ве-

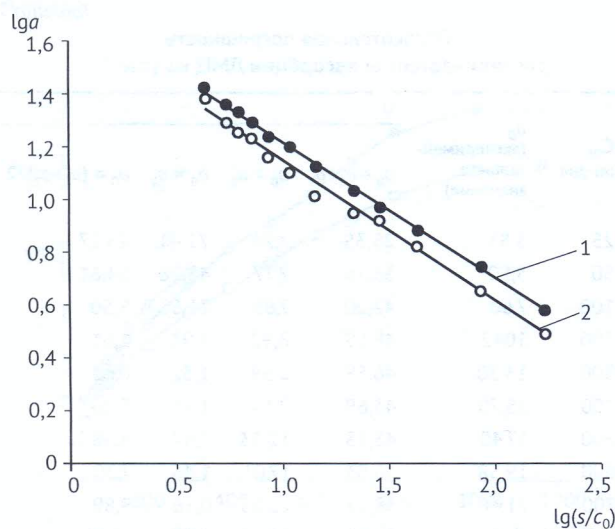


Рис. 4. Изотермы адсорбции ЛМЦ в координатах уравнения Дубинина–Астахова при $n = 1$ ($T = 291$ К):
1 – АГ-5; 2 – БАУ-А

личина a_{np} , вычисленная по уравнению ДА ($n = 1$), незначительно отличается от суммарной величины предельной адсорбции ($a_{np1} + a_{np2}$), вычисленной по уравнению ДР (см. табл. 1) при адсорбции ЛМЦ на углях АГ-5 и БАУ-А.

Для определения динамических характеристик были построены выходные кривые адсорбции ЛМЦ (рис. 5). Из рис. 5 видно, что в отличие от равновесных значений величины динамической адсорбции различаются: в сравнимых условиях продолжительность адсорбции ЛМЦ единицей массы адсорбента на угле АГ-5 выше, чем на угле БАУ-А.

На рис. 6 приведены выходные кривые адсорбции ЛМЦ в полулогарифмических координатах. Можно видеть, что в достаточно большой области относительных значений проскоковой концентрации (C_{np}/C_0) ЛМЦ наблюдается линейная зависимость, наклон которой для угля АГ-5 с повышением относительной проскоковой концентрации практически не изменяется. Это свидетельствует о том, что в области изученных проскоковых концентраций ЛМЦ (как, собственно, и начальных) адсорбция протекает во внешнедиффузионной области [13], и основное сопротивление массопереносу сосредоточено в жидкой фазе; для угля БАУ-А сопротивление массопереносу также сосредоточено в жидкой фазе. Отмеченное выше позволяет предложить для расчета продолжительности (τ_{np}) адсорбции ЛМЦ на углях АГ-5 и БАУ-А (при заданной высоте (h) слоя загрузки и начальной концентрации) уравнение Дубинина–Николаева [13], использованное нами ранее при расчете продолжительности адсорбции стрептомицина сульфата [6].

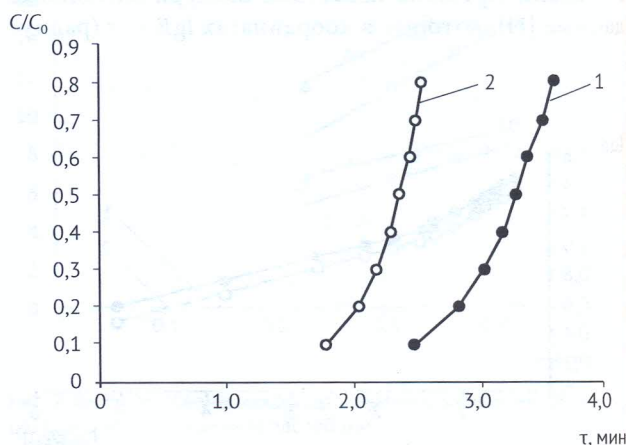


Рис. 5. Выходные кривые адсорбции ЛМЦ (высота слоя угля – 0,010 м):
1 – АГ-5; 2 – БАУ-А

Следует отметить, что значение коэффициента массопередачи, полученное из условия мгновенного проскока ЛМЦ (рис. 6), практически не зависит от начальной концентрации ЛМЦ и составляет одинаковую для углей АГ-5 и БАУ-А величину $K_m = 11,34 \pm 0,13 \text{ мин}^{-1}$. Изменение расхода потока раствора в интервале $30\text{--}90 \text{ см}^3 \cdot \text{мин}^{-1}$ способствует незначительному повышению величины K_m .

Применение уравнения Дубинина–Николаева для практических расчетов затруднено вследствие необходимости экспериментально определять коэффициент массопередачи. В связи с этим и учитывая, что внутридиффузионным сопротивлением в широком диапазоне концентраций ЛМЦ можно пренебречь, была рассмотрена возможность применять для расчета коэффициента массопередачи критериальное уравнение вида $Nu' = f(Re')$, в котором: Nu' — диффузионный критерий Нуссельта ($Nu' = K'_m \cdot d_{гр}/D$); Re' — критерий Пекле ($Re' = \omega \cdot d_{гр}/D$); здесь K'_m — коэффициент массопередачи в жидкой фазе (в нашем случае $K'_m = K_m$); $d_{гр}$ — диаметр гранулы (м); D — коэффициент молекулярной диффузии ЛМЦ в воде, рассчитанный по методу Уилка–Чанга [14] ($\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$); ω — фиктивная скорость движения жидкости в адсорбере ($\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$). В результате получено уравнение:

$$K_m (\text{с}^{-1}) = 10,25 \cdot Re'^{0,1} \cdot D \cdot S_{уд} / d_{гр}, \quad (5)$$

где $S_{уд}$ — удельная поверхность угля, м^{-1} .

Относительное стандартное отклонение расчетного (по (5) и экспериментального значений K_m в изученном интервале значений Re ($142\text{--}430 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) не превышает 1,80%. Из выражения (5) также видно, что влияние скорости потока жидкости на величину K_m незначительно.

4. Заключение

Для очистки сточных вод от левомицетина целесообразно использовать активные угли с преобладанием крупных ($\geq 1 \text{ нм}$) микропор. Расчет равновесной адсорбционной активности промышленных активных углей АГ-5 и БАУ-А относительно левомицетина при извлечении его из сточных вод с концентрацией в интервале $25\text{--}1000 \text{ мг} \cdot \text{дм}^{-3}$ рекомендуется выполнять с применением уравнения Дубинина–Астахова ($n = 1$). Продолжительность адсорбции ЛМЦ из сточных вод на активных углях АГ-5 и БАУ-А при малых его начальных и проскоковых концентрациях,

Литература

1. Li Shi-zhong. Membrane (RO-UF) filtration for antibiotic wastewater treatment and recovery of antibiotics. / Li

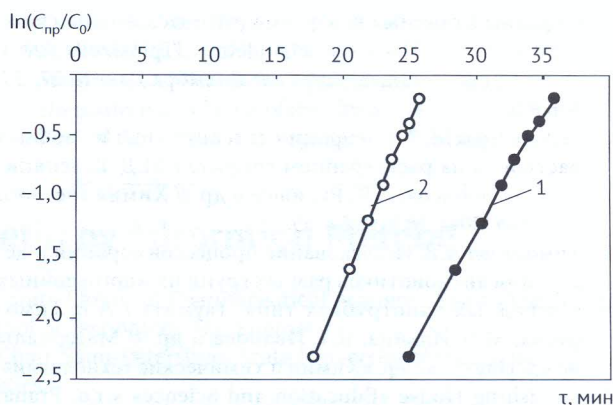


Рис. 6. Выходные кривые адсорбции ЛМЦ в координатах уравнения Дубинина–Николаева (высота слоя угля – 0,010 м)
1 – АГ-5; 2 – БАУ-А

а также заданной высоте слоя загрузки угля в адсорбер может быть рассчитана по уравнению Дубинина–Николаева. Показана возможность использовать при расчете коэффициента массопередачи критерии Нуссельта и Пекле.

Обозначения

- a — величина адсорбции, $\text{мг} \cdot \text{г}^{-1}$;
- S — растворимость адсорбтива, $\text{мг} / \text{дм}^3$;
- C_0 — начальная концентрации адсорбтива, $\text{мг} \cdot \text{дм}^{-3}$;
- $C_{пр}$ — проскоковая концентрации адсорбтива, $\text{мг} \cdot \text{дм}^{-3}$;
- h — высота слоя угля, м;
- K_m — коэффициент массопередачи, с^{-1} ;
- T — температура адсорбции, К;
- $V_{ми}$ — удельный объем микропор, $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$;
- $V_{пп}$ — удельный объем переходных пор, $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$;
- ω — фиктивная линейная скорость потока раствора, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$;
- $a_{пр}$ — предельная величина адсорбции, $\text{мг} \cdot \text{г}^{-1}$;
- α — коэффициент, учитывающий отклонение времени, соответствующего точке пересечения продолжения линейного участка выходной кривой с осью абсцисс от времени (рис. 3), определяющего положение половинной концентрации стрептомицина, безразмерный;
- r — радиус пор, нм;
- d — диаметр гранулы;
- E — характеристическая энергия адсорбции, $\text{кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$;
- Nu — массообменный критерий Нуссельта;
- Re — диффузионный критерий Пекле;
- D — коэффициент молекулярной диффузии, $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Shi-zhong, Li Xiao-yan, Wang Dian-Zuo. Separ. and Purif. Technol. 2004, 34, № 1–3. p.109–114.

2. Обработка сточных вод фармацевтического производства. Pharma- Abwasser behandeln. CITplus/2004,7,№ 3. с. 15 (Инф. Аналит. журнал «Мембраны», № 27, 27. МБ.82).
3. Веденяпина М.Д. Адсорбция тетрациклина из водных растворов на расширенном графите / М.Д. Веденяпина, Д.А. Борисов, А.К. Ракишев и др. // Химия твердого топлива. 2014. № 5. С. 51–55.
4. Тимофеева А.В. Исследование процессов сорбции и десорбции антибиотиков разных групп на многослойных углеродных нанотрубках типа «Таунит» / А.В. Тимофеева, М.В. Ильина, В.Т. Иванова и др. // Материалы между. Научн. конф. «Химия и химические технологии». Publishing House «Education and Science» s.r.o. Praha, 2013, т. 65. pp.47–54.
5. Swarna Priva S. Equilibrium, isotherm, kinetic and thermodynamic adsorption studies of tetracycline hydrochloride onto commercial grade granular activated carbon // S. Swarna Priva, K.V. Radha. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2014, V. 7, issue 1, pp. 42–51.
6. Григорьев Л.Н. Очистка сточных вод от стрептомицина адсорбционным методом / Л.Н. Григорьев, О.А. Шанова, Л.Г. Веренцова, А.А. Родионова // Безопасность в техносфере. 2015. № 32. С. 62–66.
7. Ануров С.А. Физико-химические аспекты адсорбции диоксида серы углеродными адсорбентами // Успехи химии, 1996, т. 65, вып.8. с. 718–731.
8. Фарберова Е.А. Разработка модифицированного углеродного сорбента для обеззараживания воды / Е.А. Фарберова, А.В. Виноградова, Е.С. Шергина. Вестник Пермского ГТУ // Химическая технология и биотехнология. 2010. № 11. С. 24–28.
9. Экспериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии / Под ред. Ю.С. Никитина, Р.С. Петровой. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1990. 318 с.
10. Коваленко Л.И., Родионова Г.М. Руководство к лабораторным занятиям по фармацевтической экологии / Под редакцией А.П. Арзамасцева. М.: Медицина, 2007. 176 с.
11. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е изд. М.: Химия, 1984. 592 с.
12. Грег С., Синг К. Адсорбция. Удельная поверхность. Пористость. М.: Мир, 1984. 306 с.
13. Николаев К.М., Дубинин М.М., Поляков Н.С. // Кинетика и динамика физической адсорбции. Тр. третьей Всесоюзн. конф. по теоретическим вопросам адсорбции. М.: Наука, 1973. С. 117–123.
14. Расчет физико-химических свойств жидкостей. Справочник/ Е.А. Столяров, Н.Г. Орлова. Л.: Химия, 1976. 112 с.

References

1. Li Shi-zhong. Membrane (RO-UF) filtration for antibiotic wastewater treatment and recovery of antibiotics. / Li Shi-zhong, Li Xiao-yan, Wang Dian-Zuo. Separ. and Purif. Technol. 2004, 34, I. 1–3, pp.109–114.
2. Обработка сточных вод фармацевтического производства [Treatment of pharmaceutical wastewater]. CITplus. Journal of Membrane Science, V.7, I. 3, 2004. p. 15. (in Russian)
3. Веденяпина М.Д., Борисов Д.А., Ракишев А.К. Адсорбция тетрациклина из водных растворов на расширенном графите [Adsorption of tetracycline from the aqueous solutions of the expanded graphite]. *Химия твердого топлива* [Solid Fuel Chemistry]. 2014, V. 48, I. 5, pp. 323–327. (in Russian)
4. Тимофеева А.В., Ильина М.В., Иванова В.Т. Исследование процессов сорбции и десорбции антибиотиков разных групп на многослойных углеродных нанотрубках типа «Таунит» [Investigations into the processes of sorption and desorption of antibiotics of different groups on Taunit multiwalled carbon nanotubes]. *Материалы междунациональной научной конференции «Химия и химические технологии»* [Materials All-Union Conference «Chemistry and chemical technology»]. «Education and Science» Publ., 2013, V. 65. pp.47–54 (in Russian). (in Russian)
5. Swarna Priva S. Equilibrium, isotherm, kinetic and thermodynamic adsorption studies of tetracycline hydrochloride onto commercial grade granular activated carbon // S. Swarna Priva, K.V. Radha. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences, 2014, V. 7, I. 1, 42–51 pp. ISSN- 0975–1491.
6. Grigorjev L, Shanova, O., Verentsova, L. Oчистка сточных вод от стрептомицина адсорбционным методом [Wastewater Purification from Streptomycin Through Adsorption Method]. *Bezopasnosts v tekhnosfere* [Safety in the technosphere]. 2015, V.4, I. 2, pp. 62–66. (in Russian)
7. Anurov S.A. Fiziko-himicheskie aspekty adsorbtsii dioksida sery uglerodnymi adsorbentami [Physico-chemical aspects of absorption of sulfur dioxide by carbon adsorbents]. *Uspehi Khimii* [Russian Chemical Reviews]. 1996, V. 65, I. 8, pp. 718–731. (in Russian)
8. Farberova E.A., Vinogradova A.V., Shergina E.S. Razrabotka modifitsirovannogo uglerodnogo sorbenta dlja obezrazhivaniya vody [Development of modified carbon sorbent for water disinfection]. *Vestnik Permskogo Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Himicheskaja tehnologija i biotekhnologija* [Bulletin of the Perm State Technical University. Chemical technology and biotechnology]. 2010, V.11, pp. 24–28. (in Russian)
9. Nikitin, Yu.S., Petrova, R.S. *Ekspериментальные методы в адсорбции и молекулярной хроматографии* [Experimental Techniques in Adsorption and Molecular Chromatography]. Moscow: Mosk. Gos. Univ. Publ., 1990. 318 p. (in Russian)
10. Kovalenko L.I., Rodionova G.M. *Rukovodstvo k laboratornym zanjatijam po farmaceuticheskoj jekologii* [Guide to laboratory work on Pharmaceutical Ecology]. Moscow, «Medicina» Publ., 2007. 176 p. (in Russian)
11. Kel'cev N.V. *Osnovy adsorbtsionnoj tehniki* [Fundamentals of adsorption technique]. Moscow: Himija Publ., 1984. 592 p. (in Russian)
12. Gregg S.J., Sing K.S.W. *Adsorbtsiya. Udel'naya poverkhnost'. Poristost'* [Adsorption. Specific surface area. Porosity]. Moscow, Mir Publ., 1984. 306 p. (in Russian)

13. Nikolaev K.M., Dubinin M.M., Polyakov N.S. *Kinetika i dinamika fizicheskoy adsorbicii. Tr. tret'ej Vsesojuzn. konf. po teoreticheskim voprosam adsorbicii* [Kinetics and dynamics of physical adsorption. Third All-Union Conference on Theoretical Problems in Adsorption]. Moscow, Nauka Publ., 1973, pp. 117–123 (in Russian).
14. Stoljarov E.A., Orlova N.G. *Raschet fiziko-himicheskikh svoystv zhidkostej* [Calculation of the physico-chemical properties of liquids]. Leningrad: Khimiya Publ., 1976. 112 p.

Wastewater Treatment from Laevomycetin by Adsorption Method

L.N. Grigoriev, Doctor of Engineering, Professor, Saint Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy, Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Higher School of Technology and Energetics

O.A. Shanova, Ph.D. of Engineering, Associate Professor, Head of Chair, Saint-Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Higher School of Technology and Energetics

L.G. Verentsova, Ph.D. in Chemistry, Associate Professor, Saint Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy

A.A. Rodionova, Master of Ecology, Assistant, Saint Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy

Has been presented the data on laevomycetin absorption from aqueous solution in static and dynamic conditions on industrial active carbons AG-5 and BAU-A in a wide range of concentrations. It has been shown that the calculation of adsorption's equilibrium value and process duration at the concentration of $25\text{--}200\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ with sufficient accuracy can be performed using Dubinin–Radushkevich–Astakhov and Dubinin–Nikolaev equations respectively. Have been proposed equations for levomycetin adsorption value calculation depending on the carbons' micropores volume, as well as for a characteristic energy depending on the pores size.

Keywords: adsorption, micro- pores, mesopores, characteristic energy, isotherm equations, laevomycetin (chloramphenicol), wastewater, mass transfer coefficient.