

УДК 504.064+628.316.12

**Петрушка Ігор Михайлович**

*доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Петрушка Игорь Михайлович**

*доктор технических наук, профессор,  
професор кафедры экологической безопасности и природоохранной деятельности  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Petrushka Ihor**

*Doctor of Engineering, Professor  
Lviv Polytechnic National University*

**Мороз Олександр Іванович**

*доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри геодезії  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Мороз Александр Иванович**

*доктор технических наук, профессор,  
професор кафедры геодезии  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Moroz Oleksandr**

*Doctor of Engineering, Professor  
Lviv Polytechnic National University*

**Мокрий Володимир Іванович**

*доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Мокрый Владимир Иванович**

*доктор технических наук, доцент,  
професор кафедры экологической безопасности и природоохранной деятельности  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Mokryi Volodimir**

*Doctor of Engineering, Professor  
Lviv Polytechnic National University*

**Петрушка Катерина Ігорівна**

*асистент кафедри екології та збалансованого природокористування  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Петрушка Екатерина Игоревна**

*ассистент кафедры экологии и сбалансированного природопользования  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Petrushka Kateryna**

*Assistant  
Lviv Polytechnic National University*

**ВНУТРІШНЬОДИФУЗІЙНІ ПРОЦЕСИ СОРБЦІЇ ЗАБРУДНИКІВ  
З РІДИННИХ СЕРЕДОВИЩ КОМПЛЕКСНИМИ СОРБЕНТАМИ**

**ВНУТРИДИФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ СОРБЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ  
С ЖИДКИХ СРЕД КОМПЛЕКСНЫМИ СОРБЕНТАМИ**

**INTERNAL-DIFFUSION PROCESSES OF POLLUTANTS ADSORPTION  
FROM LIQUID MEDIUM BY COMPLEX SORBENTS**

**Анотація.** Досліджено кінетику внутрішньої дифузії процесу адсорбції поллютантів з стічних вод комплексними дисперсними сорбентами. Визначено коефіцієнти внутрішньої дифузії на основі гелевої моделі.

**Ключові слова:** адсорбент, барвник, кінетика, дифузія.

**Аннотация.** Исследовано кинетика внутренней диффузии процесса сорбции загрязнителей сточных вод комплексными дисперсными сорбентами. Определены коэффициенты внутренней диффузии на основе гелевой модели.

**Ключевые слова:** адсорбент, краситель, кинетика, диффузия.

**Summary.** The kinetics of internal diffusion pollutants of adsorption from sewage with complex disperse sorbents is investigated. The coefficients of internal diffusion on the basis of the gel model are determined.

**Key words:** adsorbent, dye, kinetics, diffusion.

**Вступ.** Прогнозування кінетики сорбційних процесів на основі математичних моделей дає можливість не тільки зменшити економічні затрати на очищення забруднених рідинних середовищ, але і підвищити ефективність використання потенціалу природних сорбентів. Однак, якщо тривалість циклу адсорбції є значно меншою від часу дифузії в частинках адсорбенту, використання відомих кінетичних рівнянь адсорбції, які описують процес з достатньо довгим часом насичення адсорбенту ускладнює створення адекватної математичної моделі процесу. Окрім цього, з огляду на невеликий ступінь насичення адсорбенту за короткий час, дифузійний опір в частинці може бути настільки малий, що найбільш значний опір створюється в зовнішньодифузійній області. Це спричиняє необхідність прийняття до уваги саме цього параметру в кінетичних рівняннях.

Промислові адсорбційні процеси протікають найчастіше в асоціаціях частинок, розміри яких є кратними багатьом діаметрам зерен адсорбенту. Етапом, який лімітує швидкість насичення у більшості випадків є дифузія. Більшість гіпотез, які використовуються для побудови математичної моделі масообміну в процесі адсорбції на зерні адсорбенту та встановлення швидкості адсорбційного процесу, допускають, що адсорбція проходить на доступній для рідини границі фаз рідина — тверде тіло. Поверхня цієї границі фаз складається як із зовнішньої поверхні частинки сорбенту, так і з поверхні його пор. Кінетична характеристика сорбенту пов'язана з пористістю частинки адсорбенту, а сумарна швидкість багатоступеневого

процесу визначається швидкістю найповільнішої стадії (так званої лімітуючої стадії).

Вивчення процесу кінетики адсорбції прямих барвників з стічних вод комплексними сорбентами (активованій бентоніт: шунгіт), дозволяє встановити швидкість досягнення рівноваги, максимальну сорбційну ємність адсорбенту для певного складу розчину, механізм сорбційного процесу та розрахувати коефіцієнти дифузії.

**Мета роботи.** Дослідити внутрішньодифузійну кінетику адсорбції барвників комплексними природними сорбентами та визначити коефіцієнти внутрішньої дифузії на основі гелевої моделі.

**Результати дослідження та їх теоретична інтерпретація.** Для розрахунку коефіцієнтів внутрішньої дифузії  $D$  використовували модель гелевої дифузії з обмеженого об'єму в елементарну частинку адсорбента кулястої форми [1,2]. Розрахунок коефіцієнтів дифузії проводили з використанням залежності  $(F; Fo)$ , де  $Fo$  — критерій гомохромності Фуре:

$$Fo = \frac{Dt}{R^2} \quad (1)$$

$D$  — коефіцієнт дифузії, м<sup>2</sup>/с;

$t$  — час сорбції, хв.;

$R^2$  — радіус зерна адсорбенту, м.

Степінь досягнення сорбційної рівноваги відповідно гелевої моделі дифузії розраховували за залежністю:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi^2} e^{-\frac{\pi^2 Dt}{R^2}} \quad (2)$$

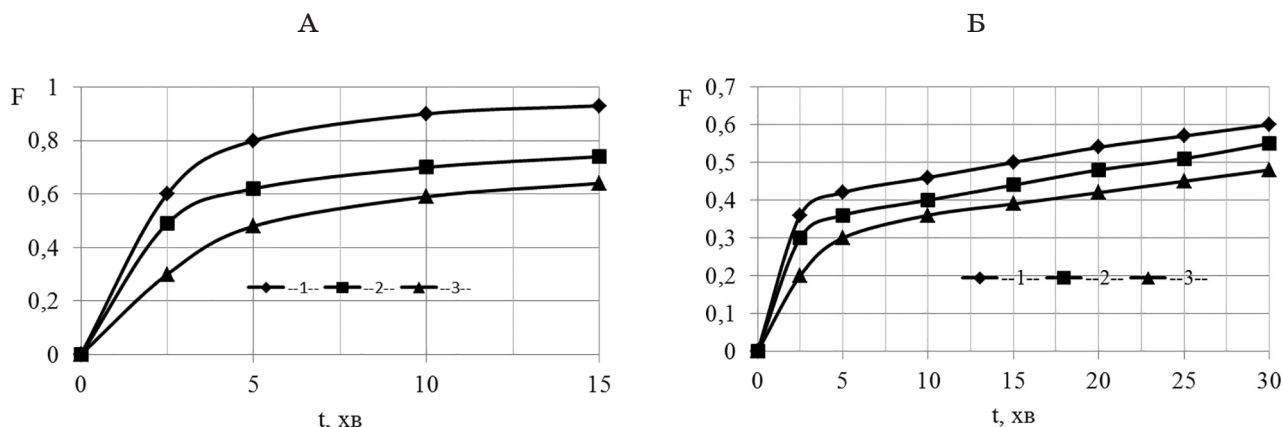


Рис. 1. Кінетичні криві сорбції прямих барвників (А — аніонного червоного 8С; Б — активного алого 4ЖТ) комплексними природними сорбентами: 1- активований бентоніт: шунгіт (1:1); 2 — активований бентоніт; 3 — шунгіт

Гранулометричний склад сорбентів та розподіл по фракціях однаковий.

Для визначення коефіцієнтів масовіддачі на поверхні частинок сорбенту необхідно визначити загальну поверхню та середній діаметр частинок сорбенту на основі гранулометричного складу, наведеного в табл. 1.

Таблиця 1

**Гранулометричний склад сорбентів**

Позначення	Діаметр фракції, мм	Масова частка частинок, %
$d_1$	0.13	13
$d_2$	0.13–0.25	10
$d_3$	0.25–0.5	85
$d_4$	0.5–1.0	2

Визначення сумарної кількості частинок  $N$  проводили відповідно кожної з фракцій згідно залежності:

$$N_{q1} = \frac{6 * m_{q1}}{\pi * d_c^3 * \rho_c} \tag{3}$$

де  $m_c$  — маса частинок, кг;

$d_c$  — середній діаметр частинок адсорбенту, м;

$\rho_c$  — густина частинок адсорбенту, кг/м<sup>3</sup>.

Загальна маса частинок рівна сумі частинок відносно фракцій:

$$\sum_n^{n=1} N = N_{q1} + N_{q2} + N_{q3} + N_{q4} \tag{4}$$

Визначивши дані величини розраховуємо середню площу частинок сорбенту:

$$F_{cep} = \sum_n^{n=1} N * \pi * d_c^2 \tag{5}$$

Для даного гранулометричного складу середній діаметр частинок дорівнює  $d_{cep} = 0,253 * 10^{-3}$  м.

Характер кінетичних кривих на рис. 1 підтверджують домінуючий механізм внутрішньої дифузії при адсорбції прямих барвників з стічних вод природними дисперсними сорбентами.

Таким чином, високі кінетичні характеристики для досліджуваних комплексних природних сорбентів вказують на перспективність їх використання в технологічних процесах очищення стічних вод від прямих барвників.

**Література**

1. Петрусь Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів [Текст] / Мальований М., Варчол Й., Одноріг З., Петрушка І., Леськів Г // Хімічна промисловість України. — 2003. — № 2 (55). — С. 20–22.
2. Петрушка І. М., Мокрий В. І., Мороз О. І. Петрушка К. І. Інтенсифікація сорбційних процесів очищення стічних вод комплексними природними сорбентами / Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». — 2017:№ 15. — Веб-доступ: <http://www.inter-nauka.com/issues/2017/15/3047>.