

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ
ІМ. А. В. ДУМАНСЬКОГО

На правах рукопису

Підліснюк Валентина Вікторівна

АДСОРБЦІЙНО-ДЕСОРБЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У СИСТЕМІ:

РОЗЧИНЕНА ОРГАНІЧНА РЕЧОВИНА-ПОРИСТИЙ ПОЛІМЕРНИЙ СОРЕБЕНТ

02.00.11- колоїдна хімія
02.00.23-охорона навколишнього середовища та
раціональне використання природних ресурсів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора хімічних наук

Київ - 1996



Дисертація в рукописом

Робота виконана в Інституті колоїдної хімії та
хімії води ім.А.В.Думанського НАН України

- Науковий консультант: доктор хімічних наук, професор
Мешкова-Клименко Н.А.
- Офіційні опоненти: чл.-кореспондент НАН України,
доктор хімічних наук, професор
Тарасевич В.І.
доктор хімічних наук, професор
Тарасенко В.О.
доктор хімічних наук
Вартапетян Р.Ш.
- Провідна організація: Інститут хімії поверхні
НАН України, м.Київ.

Захист відбудеться "12" червня 1996 року о "10" год.
на засіданні спеціалізованої ради Д 01.55.01 по захисту
дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук
при Інституті колоїдної хімії та хімії води ім.А.В.Думанського
НАН України за адресою: 252680, МСП, м.Київ-142, пр.Вернадського, 42.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту
колоїдної хімії та хімії води ім.А.В.Думанського НАН України.

Автореферат розіслано "12" травня 1996р.

Вчений секретар спеціалізованої ради,
доктор хімічних наук, професор

В. Стефанік
Третийник В.Д.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

AB-34.700

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми

Адсорбційні методи очистки стічних вод набувають все ширше розповсюдження, оскільки їх застосування дає змогу добиватися найбільш повного знешкодження забруднених вод. Поряд з активованим вугіллям в останній час як адсорбенти починають застосовуватися пористі полімерні матеріали. Ці сорбенти мають різноманітну хімію поверхні, пористу структуру і здатні селективно вилучати з водних потоків різноманітні речовини, що значно розширює межі застосування адсорбційних методів для знешкодження промислових потоків.

В зв'язку з появою на ринку полімерних сорбентів із різними властивостями актуальним є завдання всестороннього вивчення комплексу проблем, пов'язаних з ефективністю використання сорбентів в залежності від умов перебігу процесу адсорбції розчинених речовин та їх синтезу. Вирішення цих завдань дасть змогу окреслити основні вимоги до цілеспрямованого синтезу полісорбів, встановити основні закономірності рівноважних та нерівноважних адсорбційно-десорбційних процесів в дво- та багатокомпонентних системах. Такі дані необхідні для створення теорії адсорбції органічних речовин на полімерних сорбентах, що повинна стати фундаментом для спрямованого використання полімерних сорбентів в технологічних схемах очистки стічних вод, в апаратах доочистки питної води, в процесах біосорбції. Актуальність, перспективність та наукове значення проведених досліджень підтверджується їх включенням в наукові плани робіт відділення хімії НАН України в 1990-1994 та 1994-1996 роках (шифр проблеми 2.27.10, шифр теми 2.1.7.12), координаційні

плани Наукової ради з адсорбції АН СРСР в 1987-1991 роках , секція теоретичних і загальних питань адсорбції (шифр 2.15.1. і 2.15.5), пріоритетний напрям І5 згідно постанови ДКНТ і РМ СРСР в 1989-1990 (шифр 15.7), Державну програму "Питна вода" згідно постанови Президії Кабінету Міністрів України N 85 і Президії НАН України N 569 в 1991-1993 роках, Державну науково-технічну програму "Чиста вода" в 1992-1994 роках (шифр 2.02.02/028, 2.02.02/119, 2.02.02/037), координаційні плани двостороннього наукового співробітництва між ІКХХВ АН УРСР та Центральним інститутом фізичної хімії АН НДР в 1986-1990 роках (шифр 2.2.3.3), між ІКХХВ АН УРСР та Інститутом макромолекулярної хімії Чехословацької АН в 1986-1992 роках (шифр 7.6), науковий грант Об'єднаного фонду для підтримки фундаментальних досліджень Міжнародного наукового фонду та уряду України К2Л100, 1995 р.

В роботі розвинуто перспективний науковий напрямок в галузі колоїдної хімії адсорбційних явищ - адсорбційно-десорбційні процеси в системі: розчинена речовина- пористий полімерний сорбент.

Мета роботи - дослідження адсорбційно-десорбційних властивостей нового класу сорбентів- пористих полімерних матеріалів - та розробка наукових основ їх практичного використання .

Для цього необхідно було вирішити такі задачі:

- вивчення зміни адсорбційних властивостей та структури пористих полімерних сорбентів в зв'язку з умовами їх синтезу та обґрунтування критеріїв цілеспрямованого синтезу полімерних сорбентів;
- розробка нових методів оцінки параметрів пористої структури

полімерних сорбентів та їх адсорбційно-десорбційних властивостей;

- встановлення оптимальних умов поглинання низькомолекулярних органічних речовин, поверхнево-активних речовин (ПАР) та барвників полімерними сорбентами;

- розробка адекватних моделей для розрахунків рівноваги адсорбції індивідуальних органічних речовин та їх бінарних сумішей;

- вивчення процесу елювентної десорбції поглинутих речовин з насичених полімерних сорбентів;

- кількісне визначення параметрів кінетики адсорбції-десорбції та оцінка вкладу теплопереносу в загальний процес переносу маси;

- розробка наукових основ застосування полімерних сорбентів для цілей охорони навколишнього середовища: в технологічних схемах очистки стічних вод, в апараті доочистки питної води.

Наукова новизна роботи

В результаті виконання систематичних експериментальних досліджень рівноважних та нерівноважних адсорбційно-десорбційних процесів на пористих полімерних сорбентах із застосуванням адсорбційного, калориметричного, електронномікроскопічного методів, теоретичного аналізу експериментальних даних були отримані такі нові результати:

- проаналізовано вплив умов синтезу полісорбів, а саме: зміни складу вихідних мономерів та розчинника, введення другого порутворювача, заміни інертного розчинника на неінертний, введення гідрофобної складової в гідрофільну матрицю, модифікування поверхні для зміни структури та адсорбційних властивостей полімерних сорбентів;

- запропоновано нові експериментальні методи вивчення будови та адсорбційно-десорбційних властивостей полісорбів; визначення середнього розміру пор, підхід для оцінки властивостей поверхні, визначення ізотерми десорбції;
- запропоновано метод моделювання адсорбційної рівноваги індивідуальних органічних речовин з водних розчинів на основі використання модифікованого рівняння полімолекулярної адсорбції;
- вперше на основі систематичних досліджень впливу умов проведення процесу адсорбції (величини рН, температури, наявності неорганічних солей) проведена оцінка ефективності використання полісорбів в адсорбційних процесах при змінних параметрах;
- запропоновано підхід, що дає змогу прогнозувати закономірності адсорбції бінарних сумішей органічних розчинених речовин, використовуючи дані про індивідуальні ізотерми адсорбції та про ізотерми адсорбції речовин базової суміші;
- показано, що для моделювання кінетики адсорбції органічних речовин з водних розчинів на різних типах полімерних сорбентів в загальному випадку слід застосовувати модель біпористого адсорбенту; в використанні методу моментів розраховано величини коефіцієнтів дифузії в первинній та вторинній пористих структурах;
- вперше проведено кількісну оцінку вкладу теплової складової в загальний процес переносу маси при адсорбції з водних розчинів;
- вперше досліджено специфіку адсорбції НАР полімерними сорбентами і показано, що гідрофобні ефекти відіграють головну

роль в цих системах при встановленні рівноважного розподілу молекул ПАР між фазами сорбенту та міцел; запропоновано новий метод регенерації полімерних сорбентів, насичених ПАР, їх міцелярними розчинами, встановлено, що основною одиницею переносу при адсорбції неіоногенних ПАР є індивідуальна молекула;

- проведено систематичне дослідження впливу функціональних груп речовини, що десорбується, а також властивостей регенерантів на ефективність рівноважної елюентної регенерації насичених полімерних сорбентів;

- встановлено залежність між фізико-хімічними характеристиками речовини, що десорбується, регенеранту і нерівноважними десорбційними параметрами;

- вперше показана можливість застосування полімерних сорбентів в апаратах доочистки питної води та як носіїв в процесах біосорбційної обробки води.

Практична та наукова цінність роботи

Отримані в роботі експериментальні та теоретичні результати дали змогу сформулювати узагальнені закономірності адсорбційно-десорбційних процесів на новому типі адсорбентів - пористих полімерних матеріалах.

Запропонований в роботі метод визначення середнього розміру пор використовується в раді наукових інститутів та установ, два з розроблених методів дослідження властивостей полімерних сорбентів захищено авторськими свідоцтвами на винахід.

Розроблено декілька технологічних схем очистки стічних вод від органічних сполук з використанням полімерних сорбентів, два варіанти запропонованих способів очистки захищено авторськими свідоцтвами на винахід. Видано вихідні дані для проектування

локальних адсорбційних установок очистки стічних вод, що передбачають утилізацію цінних поглинених компонентів.

Розроблено технології використання полімерних сорбентів для доочистки питної води від речовин з великими розмірами молекул в апараті середньої продуктивності, опрацьовано технологічний регламент роботи апарату. Запропонована технологія використання полімерних сорбентів для вилучення цінних речовин із рослинної сировини, на цей метод отримано позитивне рішення по заявці на винахід.

Основні положення, які виносяться на захист:

1. Можливість цілеспрямованого регулювання структури та властивостей полімерних сорбентів шляхом зміни умов їх синтезу: введенням різних кількостей вихідних мономерів та пороутворювача, додатковим введенням полімерного пороутворювача, введенням третього вихідного мономера, заміною інертного пороутворювача на неінертний, модифікуванням поверхні полісорбів.

2. Нові підходи до аналізу будови і адсорбційних властивостей полісорбів: метод визначення середнього розміру пор полісорбів та властивостей їх поверхні по адсорбції з водних розчинів, спосіб визначення ізотерми десорбції, метод оцінки біпористості внутрішньої будови полісорбів.

3. Можливість застосування модифікованого рівняння полімолекулярної адсорбції для одночасного визначення основних адсорбційних параметрів при адсорбції з водних розчинів.

4. Можливість розрахунків кінетики адсорбції органічних речовин на полімерних сорбентах по моделі бідисперсного адсорбенту.

5. Роль теплових ефектів в загальному процесі переносу маси при адсорбції з водних розчинів.

6. Уявлення про те, що основною одиницею переносу маси при адсорбції неіоногенних ПАР полімерними сорбентами є індивідуальна молекула.

7. Можливість розрахунку параметрів кінетики елементаї десорбції індивідуальних органічних речовин з полімерних сорбентів по моделі бідисперсного адсорбенту з використанням методу відповідності.

8. Уявлення про те, що кінетичні коефіцієнти при десорбції в первинній пористій структурі на два порядки вище, ніж при адсорбції з водних розчинів, тоді як відповідні значення коефіцієнтів переносу в транспортній пористій системі при адсорбції і десорбції є величинами одного порядку.

9. Можливість використання полімерних сорбентів в апаратах доочистки питної води середньої продуктивності.

10. Технологічні схеми адсорбційної очистки стічних вод від органічних речовин, які передбачають утилізацію поглинутих компонентів, з використанням полімерних сорбентів.

Декларація особистого внеску

Дана робота є узагальненням результатів досліджень, проведених автором на протязі 15 років у відділі адсорбції та адсорбційної технології очистки води ІКХХВ НАН України. Автором вибрано науковий напрямок, сформульовано наукові завдання, здійснено постановку та проведення наукових досліджень, проведено аналіз та узагальнення експериментальних і теоретичних результатів, сформульовано основні висновки. Використаний в роботі математичний апарат було розроблено за участю ст.н.сп. ІКХХВ НАН України Р. Марутовського. Полісорбції, синтезовані у присутності полімерного пороутворювача, було отримано у відділі фізичної

хімії мембран ІКХХВ НАН України. Полімерні сорбенти на основі етилендиметакрилату були люб'язно надані автору науковим співробітником Інституту макромолекулярної хімії Чеської АН І.Градцілом.

Апробація роботи

Основні результати дисертації доповідалися та обговорювалися на: VI и VII Всесоюзних конференціях з теоретичних питань адсорбції (м. Москва, 1985; м. Звенигород, 1991), VI Закавказькій конференції по адсорбції та хроматографії (м. Єреван, 1984), Всесоюзній конференції "Адсорбенти і адсорбційні процеси у вирішенні проблеми охорони природи" (м. Кишинів, 1985), Всесоюзному симпозиумі "Полімери та композиційні матеріали" (м. Баку, 1987), Всесоюзному семінарі по рівноважних і нерівноважних сорбційних процесах" (м. Київ, 1989), V Conference on Applied Chemistry unit Operation and Processes" (Balatonfured, Hungary, 1989), International Conference "Aqua-89" (Karlovy Vary, Czechia, 1989), 34th IUPAC International Symposium on Macromolecules (Prague, Czechia, 1992), I та II Міжнародному симпозиумі по хімії поверхні, адсорбції та хроматографії (м. Москва, 1988 і 1992), річних сесіях Наукової Ради АН СРСР по адсорбції (м. Дрмала, Латвія, 1991 і 1992), Всесоюзному семінарі "Проблеми і досягнення в галузі створення маловідходних фізико-хімічних виробництв та очистки води" (м. Санкт-Петербург, 1991), Hungarian-Ukrainian Conference on Carpathian Euroregion Ecology (м. Ужгород, 1994), Міжнародній конференції "Adsorptionverfahren für die Stofftrennung und im Umweltschutz" (Berlin, 1996), IV, VII, VIII, X, XI, XII наукових конференціях ІКХХВ НАН України, науковому семінарі "Сорбційні явища" при ІКХХВ НАН України (1996), вченій раді ІКХХВ

НАН України (1996).

Публікації

Основні матеріали дисертації викладені у 63 опублікованих роботах.

Об'єм та структура дисертації

Дисертація викладена на 443 ст. машинописного тексту і складається зі вступу, шести розділів, основних висновків, списку цитованої літератури, що містить 422 джерела, додатку. Дисертація містить 81 рисунок та 82 таблиці.

Окремий літературний огляд в роботі відсутній. Роботи інших авторів, використані в дисертації, викладені в літературних оглядах до кожного з розділів дисертації. В роботі описані необхідні методики проведення досліджень, дана оцінка похибки отриманих результатів та їх достовірності.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність роботи, сформульовані цілі, наукова новизна та положення, які захищає автор.

У першому розділі проведено дослідження впливу різних змін при синтезі полімерних сорбентів на їх структуру та адсорбційні властивості. В роботі досліджено широкий спектр гідрофобних та гідрофільних полімерних пористих сорбентів, що випускаються в промисловому масштабі на Україні та за кордоном. При проведенні окремих досліджень використовувалися спеціально синтезовані дослідні зразки полімерних сорбентів. Для вивчення властивостей поверхні, пористої структури та внутрішньої будови полімерних сорбентів, крім стандартних методів, було розроблено нові підходи: спосіб визначення середнього розміру пор полімерних сорбентів по адсорбції з водних розчинів стандартної

речовини-п-хлораніліну, підхід для оцінки властивостей поверхні полісорбів, використовуючи адсорбцію з водних розчинів гомологічного ряду речовин (карбонових кислот). Внутрішню будову полісорбів було досліджено з використанням методу електронної мікроскопії, виявлено бідисперсність будови. На основі аналізу експериментальних результатів досліджено вплив умов синтезу полімерних пористих сорбентів на зміну їх структури та адсорбційних властивостей. На основі отриманих результатів запропоновано критерії ціленаправленого синтезу полімерних сорбентів.

У другому розділі вивчено основні закономірності адсорбції низькомолекулярних розчинених органічних речовин та їх бінарних сумішей полісорбами, виявлено вплив умов проведення процесу адсорбції (величини рН, температури, наявності неорганічних солей) на ефективність адсорбційного вилучення, показана можливість використання модифікованого рівняння полімолекулярної адсорбції для одночасного визначення основних адсорбційних констант, проведено моделювання адсорбції бінарних сумішей.

У третьому розділі викладено основні закономірності нерівноважних процесів при адсорбції низькомолекулярних органічних речовин полісорбами, показано необхідність застосування біпористої моделі для опису кінетики адсорбції на полісорбах. Розраховано величини кінетичних коефіцієнтів дифузії в первинній та вторинній пористих структурах при адсорбції, розроблено ступенево-протиточну модель кінетики адсорбції біпористими адсорбентами, кількісно оцінено вплив теплових ефектів на кінетику адсорбції з водних розчинів.

У четвертому розділі подані результати дослідження

адсорбції міцелуютворюючих речовин полімерними пористими сорбентами. Встановлено можливість використання теорії гідрофобних взаємодій для пояснення отриманих експериментальних даних. Запропоновано спосіб регенерації полісорбтів, насичених молекулами неіоногенних ПАВ, їх міцелярними розчинами. Показано, що основною одиницею масопереносу при адсорбції неіоногенних ПАВ є індивідуальна молекула. Встановлено основні закономірності поглинання барвників полісорбтами. Показана можливість застосування полісорбтів для переробки концентратів мембранного фільтрування.

П'ятий розділ присвячено дослідженню закономірностей елюентної регенерації полімерних сорбентів. Проведено термодинамічну оцінку процесу, кількісно вивчено вплив властивостей речовини, що десорбується, та регенеранту на ефективність процесу регенерації. Показано можливість розрахунку параметрів кінетики елюентної регенерації з застосуванням моделі біпористого сорбенту та методу відповідності. Визначено основні кінетичні коефіцієнти при десорбції. Проведено моделювання процесу елюентної рівноважної динаміки десорбції.

У шостому розділі дисертації викладено дані стосовно використання процесів адсорбції-десорбції органічних розчинених речовин на пористих полімерних сорбентах у практичних цілях. Представлено результати по застосуванню полімерних сорбентів у апараті доочистки питної води середньої продуктивності. Наведено основні дані про розроблені технологічні схеми локальної очистки стічних вод від хлороорганічних сполук з використанням полімерних сорбентів,

які передбачають утилізацію поглинених речовин. Подані результати досліджень про поєднання полімерних сорбентів із іншими адсорбентами при очищенні загальнозаводських стічних вод. Практичне застосування полімерних сорбентів також включає їх використання як носіїв при біосорбційній обробці води, а також для вилучення і концентрування цінних препаратів із рослинної сировини.

У висновках зроблено широкий підсумок проведених досліджень.

Нові підходи до вивчення пористої структури, властивостей поверхні і внутрішньої будови полімерних сорбентів

Подібність адсорбційних сил, що діють при поглинанні органічних розчинених речовин активним вугіллям та полісорбамі на основі стиролу і дивінілбензолу, дає змогу запропонувати спосіб визначення середнього розміру пор (X) полімерних сорбентів. У способі використовується ізотерма адсорбції з водних розчинів стандартної сполуки - п-хлораніліну на сорбенті, що тестується, та коефіцієнт афінності між ізотермами пари бензолу та п-хлораніліну з водних розчинів, визначений для декількох марок активного вугілля. Розраховані таким чином значення середнього розміру пор полісорбів добре коригують із значеннями, які було одержано з використанням методу малокутового рентгенографічного аналізу (табл. I).

В роботі показана можливість кількісної оцінки властивостей поверхні полімерних сорбентів подібного хімічного складу, яка ґрунтується на аналізі адсорбційного процесу. Як критерій в запропонованому підході використовується величина параметру $(-E_0)$ -вільної енергії взаємодії з поверхнею сорбенту метиленової групи гомологічного ряду речовин (такими були

Значення середнього розміру пор та
адсорбційного об'єму гідрофобних полімерних сорбентів

Зразок полімер- ного сорбента	Характеристичний розмір пор, нм за запропо- нованим способом	за даними рент- геноструктур- ного аналізу	Адсорбційний об'єм, дм ³ /кг
Полісорб 30/100	1,65	-	0,097
Полісорб 30/150	1,98	2,00	0,135
Полісорб 40/100	1,41	1,50	0,164
Полісорб 60/100	1,37	-	0,198

вибрані карбонові кислоти), що зв'язана з константою
адсорбційної рівноваги таким виразом:

$$\ln [n (K_{\text{адс.}} - 1)] = B - n \epsilon_0 \quad (I),$$

$K_{\text{адс.}}$ - константа адсорбційної рівноваги, n - число метиленових
груп у молекулі речовини в гомологічному ряді, B - константа.
Величину ($-\epsilon_0$) визначали як тангенс кута нахилу прямої,
поданої в координатах $\ln [n (K_{\text{адс.}} - 1)]$ від n (рис. I).

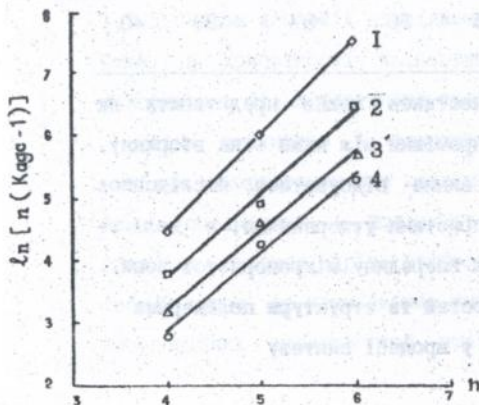


Рис. I.

Залежність $\ln [n (K_{\text{адс.}} - 1)]$
від числа атомів вуглецю n
в молекулі адсорбату

(1) - G-10-50; (2) - G-30-30;

(3) - G-50-10; (4) - G-60

Використовуючи даний підхід, було проаналізовано зміну властивостей поверхні в ряду полімерних сорбентів на основі глицидилметакрилату, що містять різну кількість стиролу: збільшення вмісту стиролу призводить до зростання вибраного параметра, отже, поверхня адсорбентів стає більш гідрофобною. Цей висновок додатково підтверджено калориметричними даними про теплоти змочування полісорбів водою, які зменшуються при зростанні вмісту стиролу у матриці полісорба.

Для виявлення особливостей внутрішньої будови полімерних сорбентів було проведено електронікроскопічне вивчення сколу їх частинок. Виявилось, що у всіх випадках фаза полімерних сорбентів є сукупністю розділених каналами агломератів частинок, які мають форму, близьку до сферичної. Середній розмір агломератів наведено в табл.2.

Таблиця 2

Розміри сферичних агломератів полімерних сорбентів

Полімерний сорбент	40/100	60/100	У-59	EP-60	EP-61	G-5
г, нм	70	65	30	57	30	40

Отже, агломерати сферичних частинок можна представити як первинну пористу структуру, а проміжки між ними - як вторинну. Дифузія в зерні полісорбу повинна відбуватися послідовно: спочатку у просторі між мікропористими утвореннями, а далі - від поверхні сферичних частинок всередину мікропористої зони.

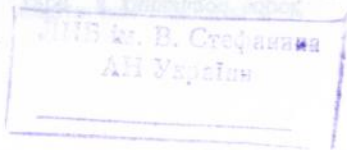
Зміна адсорбційних властивостей та структури полімерних пористих сорбентів у процесі синтезу

Вплив зміни умов синтезу на структуру та адсорбційні властивості полімерних пористих сорбентів було вивчено на прикладі серії гідрофобних співполімерів стиролу з дивінілбензолом, гідрофільних співполімерів на основі вінілпіридину з дивінілбензолом та гліцедилметакрилату з етилендіметакрилатом. Критерієм їх оцінки були: величина питомої поверхні, граничного адсорбційного об'єму пор, характеристичного розміру пор, а також значення адсорбційних параметрів.

Встановлено, що зі зростанням вмісту швиваючого агента утворюється більш розвинена пориста структура полісорбів, адсорбційні характеристики при цьому покращуються (деякі дані наведено в табл.1). Цей ефект спостерігався для всіх вивчених класів полімерних сорбентів.

Вплив заміни при синтезі полісорбів інертного розчинника-пороутворювача на неінертний було досліджено на прикладі полісорбу 60/100 і пороласу Т (перший сорбент отримано в середовищі інертного розчинника, другий - в середовищі неінертного розчинника - толуолу). При вивченні адсорбційного процесу встановлено, що величини адсорбційної ємкості більше в 1,5-3,0 рази для всіх досліджених речовин у випадку пороласу Т. Отже, в присутності неінертного розчинника в полісорбі утворюється більш розвинена система пор.

Зміну структури і властивостей полімерних сорбентів у випадку використання при синтезі двох пороутворювачів, один з яких - полімерний (полідиметилсилоксан), було вивчено на прикладі співполімерів стиролу і дивінілбензолу. Із даних табл.3 видно, що така зміна умов синтезу сприяє покращенню адсорбційних властивостей полісорбу, особливо у випадку



Зміна адсорбційних характеристик полімерних сорбентів при їх синтезі в присутності двох пороутворювачів

Адсорбат	Синтезований зразок полісорбу			
	в присутності ПДМС ($X=2,37$ нм)		без ПДМС ($X=1,41$ нм)	
	a_{∞} , моль/кг	V_B , дм ³ /кг	a_{∞} , моль/кг	V_B , дм ³ /кг
Нітробензол	2,86	0,294	1,90	0,196
Анілін	2,98	0,265	1,86	0,164
ОП-10	0,90	0,696	0,46	0,360
Бромтимоловий синій	0,45	0,332	0,21	0,162

поглинання органічних речовин, які мають великі розміри молекул: ПАР та барвників. Отже, основний внесок у зростання адсорбційного об'єму пор у цьому випадку вносить збільшення об'єму відносно великих пор.

На прикладі гідрофільних полісорбів на основі етилендіметакрилату, що містять змінну кількість гліцедилметакрилату і стиролу, було досліджено залежність між адсорбцією речовин та хімією поверхні сорбенту, що змінюється внаслідок різного співвідношення мономерів, використаних при синтезі полісорбів. Для багатьох досліджених органічних речовин, слабо розчинних у воді, встановлені прямолінійні залежності - із зростанням вмісту стиролу у зразку полісорбу кількість поглиненої речовини зростає. Протилежна залежність була отримана при адсорбції речовин, що містять аміногрупу і добре розчинних у воді (анілін, м-амінофенол), а також у

випадку галової кислоти. Ізотерми адсорбції пірокатехіну та фенолу на всіх досліджених зразках полісорбів близькі між собою. Отримані дані свідчать про те, що у загальному випадку адсорбція органічних речовин на гліцедиїлметакрилатних сорбентах зумовлена двома механізмами взаємодії: ван-дер-ваальсовим та за рахунок водневих зв'язків. Енергія останніх залежить від конкурентної взаємодії адсорбату та молекул розчинника (води) з активними центрами на поверхні сорбента.

На прикладі гліцедиїлметакрилатних сорбентів було встановлено, що модифікування поверхні додатковою обробкою органічним розчинником або розчином ПАР сприяє покращенню адсорбційних властивостей полісорбів відносно низькомолекулярних речовин (у першому випадку) та барвників (у другому випадку).

Основні закономірності адсорбції низькомолекулярних органічних речовин з водних розчинів на пористих полімерних сорбентах

Встановлено вплив будови і розмірів молекул, їх стану у розчині на величину адсорбційного поглинання органічних речовин полісорбами та проведено порівняння адсорбційних властивостей полімерних та вуглецевих сорбентів. Виявилось, що значення адсорбційних параметрів при адсорбції органічних речовин на гідрофобних полісорбах марок 40/100 та 60/100 дещо нижчі, ніж на вуглецевих адсорбентах, що пов'язано з меншою часткою у полісорбів істинних мікропор, в котрих енергія адсорбційної взаємодії підвищена. Разом з тим значення адсорбційних параметрів при поглинанні органічних сполук, добре розчинних у воді, на полімерних сорбентах Wofatite перевищують ємкість вуглецевих сорбентів, що зв'язано з додатковим внеском в

адсорбцію специфічних взаємодій.

Одним з перспективних напрямків для моделювання адсорбційної рівноваги органічних сполук на полімерних сорбентах слід вважати використання модифікованого рівняння полімолекулярної адсорбції, яке у випадку адсорбції з водних розчинів можна записати таким чином:

$$a = \frac{a_m K C/C_B}{(1 + K C/C_B)(1 - C/C_B)^n} \quad (2)$$

де a_m - вмість моношару, моль/кг; K - константа рівняння полімолекулярної адсорбції, C і C_B - концентрації, відповідно, рівноважного та насиченого розчину адсорбатів, моль/м³, n - показник степені.

Було запропоновано нову методику одночасного обчислення параметрів рівняння полімолекулярної адсорбції, використовуючи метод мінімізації функціоналу нев'язки між експериментальними даними та розрахунковими величинами. Результати розрахунків параметрів ізотерм адсорбції органічних речовин з водних розчинів на полімерних сорбентах показали добру узгодженість експериментальних та теоретично отриманих величин (для однієї з досліджених речовин дані наведено на рис.2).

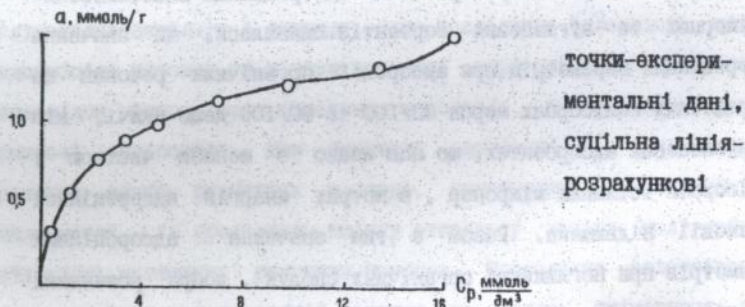


Рис.2. Ізотерма адсорбції 2,4-дигідроксibenзойної кислоти з водних розчинів на пороласі Т

Слід відмітити, що величина n в рівнянні (2) може приймати довільні позитивні значення, для досліджених нами систем n знаходиться у інтервалі 0,1-0,9 (дані для декількох систем наведено в табл.4).

Таблиця 4

Параметри ізотерм адсорбції органічних речовин з водних розчинів на пороласі Т, розраховані з використанням запропонованої методики (I) та при $n=1/2$ (II)

А д с о р б а т	а	К	n	а		К	
				I	II	I	II
Бензойна кислота	2,08	5,80	0,31	1,84	6,87		
м-Оксибензойна кислота	0,94	14,60	0,49	0,90	22,60		
м-Нітробензойна кислота	2,28	7,63	0,61	2,40	8,03		
о-Метоксибензойна кислота	1,50	21,20	0,88	1,81	15,76		
о-Фталева кислота	0,73	12,55	0,37	0,77	13,01		
Галова кислота	0,36	7,12	0,23	0,40	8,33		
п-Хлоранілін	2,50	13,30	0,57	2,35	17,02		
м-Нітрофенол	2,02	48,40	0,69	2,46	26,30		

У рівнянні (2) співмножник $(I-C/C_0)^{1/2}$ з'явився в результаті відміни незаконної заборони на вакансії в адсорбаті. Концентрація та розмір вакансій є характеристикою, що відображує будову адсорбційного шару та визначається властивостями адсорбата і хімічних природов та структуров адсорбента. З огляду на це стає зрозумілим факт несталості значення показника степені n для різних вивчених систем.

Було проведено систематичне дослідження впливу величини рН розчину, наявності у розчині мінеральних солей та температури процесу на параметри адсорбції органічних речовин полісорбатами.

Вивчення адсорбції слабких органічних електролітів -

аніліну та п-нітрофенолу на полісорбах в широкому інтервалі значень рН дало змогу встановити, що величина адсорбції слабких електролітів істотно залежить від стану молекул в розчині. Показано, що із суміші молекул та іонів аніліну чи п-нітрофенолу на полісорбах поглинаються лише неіонізовані молекули. Оптимальні умови поглинання спостерігаються, коли вся речовина знаходиться в розчині у неіонізованому стані.

На прикладі адсорбції слабких органічних електролітів фенолу, п-хлорбензолсульфаміду та п-амінобензойної кислоти було вивчено вплив присутності у розчині мінеральних солей на величину поглинання полімерними сорбентами полісорб 60/100 та Wofatite Y-77. Встановлено, що вплив мінеральних солей зумовлений одночасним проявом декількох ефектів - зв'язуванням частини розчинника за рахунок гідратації іонів, підвищенням полярності розчинника, змінами в структурі води; потрібно також враховувати структуру молекули адсорбату.

Температурну залежність адсорбційного поглинання розчинених органічних речовин полісорбами різних класів було вивчено у діапазоні температур 8 - 49°C. При збільшенні температури для всіх досліджених систем властиве зменшення кількості адсорбованої речовини. Ці дані були використані для розрахунків термодинамічних характеристик процесу. Виявилось, що величина вільної енергії Гіббса мало залежить від температури, а зміна ентропії має від'ємне значення, що вказує на упорядкування системи під дією поля адсорбента на адсорбат.

Для моделювання процесу поглинання із багатоконпонентних фаз на полісорбах було застосовано підхід, що використовує дані про ізотерми адсорбції індивідуальних речовин та параметри, які враховують взаємний вплив компонентів при адсорбції суміші.

Для систем бінарний водний розчин речовин I 1 2 (система I) та бінарний водний розчин речовин I* 1 2 (система II) було одержано таке співвідношення:

$$\frac{K_1(\lambda_{1,2})^{n_1-1}}{K_1(\lambda_{1,2}^*)^{n_1^*-1}} = \frac{\Gamma_1}{\Gamma_1^*} A, \quad (3)$$

де Γ_I та Γ_{I^*} - константи Генрі при адсорбції речовин I та I*, відповідно, з індивідуального розчину; K_I , K_{I^*} , n_1 , n_{I^*} - константи рівняння Фрейдліха для сумішей, котрі знаходяться в індивідуальних ізотермах; $\lambda_{I,2}$ та $\lambda_{I^*,2}$ - параметри, що відображують взаємний вплив компонентів при їх адсорбції в суміші; A - коефіцієнт співвідношення між лівою та правою частинами виразу (3).

Розроблений підхід було використано для дослідження адсорбції органічних речовин з бінарних еквімолярних сумішей на гідрофобному полісорбі 60/100 та гідрофільному сорбенті ВП-3. Розрахункові дані для деяких систем приводяться в табл.5.

Таблиця 5

Параметр A для деяких з використаних бінарних сумішей речовин

Пара речовин в суміші	Параметр A
Адсорбент - полісорб 60/100	
(Фенол-п-нітроанілін)-	
(нітробензол-п-нітроанілін)	0,80
(п-Нітроанілін-Фенол)-	
(п-Нітрофенол-Фенол)	1,10
Адсорбент - поролас ВП-3	
(Фенол-п-нітроанілін)-	
(нітробензол-п-нітроанілін)	1,15

Із аналізу даних можна зробити висновок, що запропонований

підхід дає змогу з достатнім для практичного використання ступенем точності прогнозувати закономірності адсорбції органічних речовин з бінарних сумішей при наявності даних про індивідуальні ізотерми адсорбції та про парціальні ізотерми адсорбції компонентів базової суміші.

Нерівноважні процеси при адсорбції низькомолекулярних органічних речовин на пористих полімерних сорбентах

Оскільки пористі полімерні сорбенти мають біпористу структуру, то для опису закономірностей внутрішньодифузійної кінетики адсорбції на цих сорбентах раціонально використати модель бідисперсного сорбента. Основні параметри кінетики адсорбції на біпористому сорбенті задаються у випадку лінійних ізотерм адсорбції з обмеженого об'єму такими співвідношеннями:

$$M_1 = \frac{1}{1 + \alpha} \left[\frac{1}{15} \tau_1 + \frac{1}{15} \tau_a \right],$$

$$\tau_a = r_0^2 / D_a, \quad \tau_1 = R^2 (1 + \Gamma) / D_1, \quad \alpha = \frac{V_3}{V_p} \Gamma, \quad (4)$$

$$\epsilon = \frac{\tau_a}{\tau_1 + \tau_a}$$

В цих співвідношеннях M_1 - статистичний момент першого порядку кінетичної кривої, що визначається розміром фігури, обмеженої віссю ординат, прямою $r = 1$ та кінетичною кривою в координатах $r - t^1$; τ_a та τ_1 - часи релаксації, відповідно, в первинній та вторинній пористих структурах; D_a та D_1 - коефіцієнти дифузії в первинній та вторинній пористих структурах; ϵ - параметр ступеня біпористості; Γ - коефіцієнт Генрі; V_3 - об'єм зерна сорбента; V_p - об'єм розчину.

Вивчення внутрішньодифузійної кінетики адсорбції було проведено при поглинанні нітробензолу, п-нітроаніліну і фенолу різноманітними полісорбентами. В табл.6 для прикладу наведено

розраховані кінетичні параметри при адсорбції нітробензолу.

Таблиця 6

Параметри кінетики адсорбції нітробензолу полісорбтами

Сорбент	Γ_a	$R \cdot 10^3$ м	$\tau_1 \cdot 10^{-3}$, с	$\tau_a \cdot 10^{-3}$, с	ϵ_a	$D_1 \cdot 10^{10}$, м ² /с	$D_a \cdot 10^{20}$ м ² /с
G-5	140	0,19	7,17		0,56	6,6	18,0
		0,50	51,22		0,15		
40/100	150	0,20	5,41		0,94	11,0	5,8
		0,40	22,72	85,32	0,87		
Y-59	450	0,20	13,46		0,65	16,1	3,6
		0,40	44,89	24,8	0,36		

Видно, що коефіцієнти дифузії в первинній пористій структурі полімерних сорбентів значно менші значень коефіцієнтів дифузії для вторинної пористої структури. Аналіз значень D_a показує, що з падінням величини Γ , тобто зі зменшенням адсорбції нітробензолу на зразку полімерного сорбента значення коефіцієнту дифузії в первинній пористій структурі зростає. Аналогічну залежність було встановлено при вивченні кінетики поглинання різних речовин однією маркою полімерного сорбента. Отримані результати свідчать про те, що існує досить велика область значень R , при яких внесок масопереносу в транспортній пористій системі і в мікропористій зоні співставлені.

Для розрахунків параметрів ступенево-протиточної адсорбції органічних речовин з водних розчинів в реакторах-змішувачах

були запропоновані розрахункові співвідношення для випадку адсорбентів з бідисперсною структурою. Проведено аналіз залежностей між дозою адсорбенту, що необхідна для зниження концентрації органічної речовини до заданого значення, та числом ступенів очистки.

Процес поглинання органічних речовин із водних розчинів пористими полімерними сорбентами є екзотермічним. Якщо теплові ефекти при адсорбції значні, то на кінетику процесу впливають термодифузійні явища та швидкість дисипації теплової енергії. Для оцінки впливу теплових ефектів на кінетику адсорбції було використано метод, що ґрунтується на одночасному аналізі досліджуваних температурної та кінетичної кривих за допомогою перших моментів цих кривих. Експериментальні значення першого моменту температурної кривої (μ_k) чисельно визначали, як площу, що обмежена кривою $T(t)$ та віссю абсцис на графіку залежності $\Delta T = \varphi(t)$. Вклад швидкості розсіювання теплоти в сумарний перший момент кінетичної кривої визначали з виразу:

$$M_{1q}' / M_1 = M_{1q}' / (M_{1D} + M_{1q}') \quad (5)$$

де M_{1q}' — складова частина першого моменту кінетичної кривої, що зумовлена впливом швидкості розсіювання теплоти сорбції, M_{1D} — дифузійна складова кінетичної кривої. Дані для однієї з вивчених систем приводяться в табл. 7.

Таблиця 7

Параметри, що характеризують процеси тепло- та масопереносу при адсорбції розчинених органічних речовин на полісорбі G-5

Речовина	q , Дж моль	$\times 10^3$, моль кг К	M_1 , с	M_{1q}' , с	M_{1D} , с	M_{1q}'/M_1 , %	$h \cdot 10^4$ Дж м ² с К
Нітробензол	23,0	4,8	111,0	12,6	102,6	11,4	2,2
п-Нітрофенол	39,0	3,1	177,2	18,4	162,9	10,4	1,7

Із наведених даних випливає, що вклад зовнішнього теплопереносу у загальний масоперенос при адсорбції з водних розчинів досить помітний. Коефіцієнт зовнішнього теплообміну h мало залежить від хімічної природи поглинутої речовини.

**Закономірності адсорбції мицелоутворюючих речовин
на пористих полімерних сорбентах**

Оскільки полімерні сорбенти в більшості є мезопористими, то цікаво було провести цикл досліджень по порівнянню адсорбційних властивостей полімерних та вуглецевих сорбентів по відношенню до ПАР та барвників (табл.8). Із наведених даних видно, що ємкість полімерних сорбентів перевищує ємкість вуглецевих. Це свідчить про перспективність використання полімерних сорбентів для вилучення з водних розчинів органічних речовин із значними розмірами молекул.

Таблиця 8

Порівняння адсорбційних властивостей полімерних
і вуглецевих сорбентів

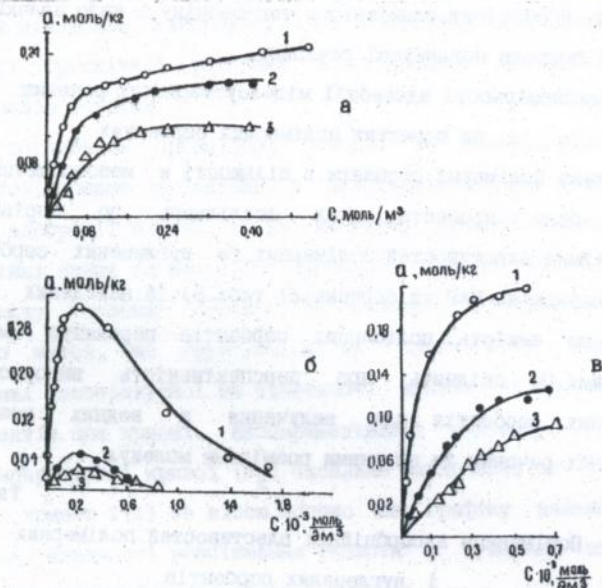
Адсорбент	Значення граничної адсорбційної ємкості, моль/кг			
	ОП -10	DDNa	BTC	БКЗ
Полісорб 40/100	-	-	0,09	0,15
Полісорб 60/100	0,36	0,18	0,14	0,20
Wofatite EP-60	0,53	0,21	-	-
Wofatite EP-61	0,42	0,24	-	-
Вугілля КАД	0,33	0,24	0,10*	0,12*
Активний антрацит	0,31	0,23	-	-
Вугілля СКТ	-	-	0,05*	0,05*

*-літературні дані.

DDNa-додецилсульфат натрію,

BTC-бромтимоловий синій; БКЗ-бромкрезоловий зелений

Рис.3 Ізотерми адсорбції тритонів X-100(а), X-305(б) та X-405(в) на гліцедилметакрилатних сорбентах



1-полісорб G-5, 2-полісорб G-60, 3-полісорб G-70

Було вивчено специфіку поглинання ПАР (на прикладі тритонів) полімерними метакрилатними сорбентами в рівноважних умовах. Вид ізотерм адсорбції відрізняється для досліджених систем (рис.3), що пояснюється різним викладом певних взаємодій у кожному випадку. Згідно теорії гідрофобних взаємодій, максимуми на ізотермах адсорбції спостерігаються при певних перевищеннях значень стандартної мольної енергії міцелуутворення над стандартною мольною енергією адсорбції. Проведені нами розрахунки цих величин підтвердили дану гіпотезу.

Використовуючи встановлені закономірності, було запропоновано спосіб регенерації полімерних сорбентів, насичених неіоногенними

ПАР з молекулярних розчинів, їх мицелярними розчинами. Перевищення значень стандартної енергії мицелоутворювання над енергією адсорбції забезпечує перевагу процесу мицелоутворювання молекул неіоногенних ПАР у розчині над процесом їх адсорбції полісорбом і призводить до регенерації сорбенту за рахунок перерозподілу молекул неіоногенних ПАР.

Досліджено вплив стану молекул неіоногенних ПАР в розчині на їх кінетичні властивості. Аналіз експериментальних кінетичних кривих, отриманих при різному вмісті молекул та мицел НПАР у початкових розчинах, дав змогу припустити, що основною одиницею переносу при адсорбції є індивідуальна молекула, наявність мицел у розчині сповільнює процес просування індивідуальних молекул вглиб сорбента.

Було досліджено адсорбцію трифенілметанових барвників на полімерних сорбентах та встановлено, що величина адсорбції іонів барвників складає 60-70% від величини адсорбції неіонізованих молекул. Таким чином, незважаючи на зниження адсорбції, її величина є достатньою для ефективного використання полімерних сорбентів у практичних цілях для вилучення барвників з водних розчинів в широкому інтервалі значень рН.

Зворотність процесу адсорбції органічних барвників на полісорбах дає змогу використати цей процес для переробки концентрату, що утворюється при мембранній очистці стічних вод текстильної промисловості. Проведення циклічних процесів адсорбції-десорбції на полімерному сорбенті полісорбі 60/100 дає змогу понижувати концентрацію забруднюючих речовин у мембранному концентраті до рівня їх вмісту в стічній воді, яка надходить на вузол фільтрації.

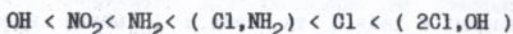
Елюентна регенерація пористих полімерних сорбентів

Основою дослідження процесу елюентної десорбції є встановлення закономірностей рівноваги при десорбції. Було запропоновано спосіб експериментального визначення ізотерми десорбції органічних сполук. Основу методу складає поетапна обробка насиченого органічними сполуками полісорбу, спочатку - розчином органічної речовини в регенеранті, а потім - чистим розчинником. Розроблений спосіб дає змогу отримувати ізотерму десорбції у всьому необхідному інтервалі рівноважних концентрацій, що важливо для області високих значень концентрацій.

З позиції рівноважної термодинаміки було проведено аналіз впливу фізико-хімічних характеристик адсорбата та регенеранта на ефективність процесу регенерації. За критерій регенераційної здатності було вибрано величину K^* , котра визначається відношенням констант адсорбційної рівноваги при адсорбції речовини з водного розчину та розчину регенеранта. Отримано вирази для розрахунків, які дають змогу оцінювати регенераційну здатність одного регенеранта по відношенню до полісорба, насиченого різними адсорбатами, та регенераційну здатність різних регенерантів по відношенню до сорбента, насиченого одним адсорбатом.

З метою встановлення впливу функціональних груп в сполуці, котрою було попередньо насичено полісорб, на здатність його до регенерації, було виміряно ізотерми адсорбції похідних бензолу з пропанолу-2 на полісорбі 60/100. Використовуючи отримані результати, а також рівняння балансу маси, був встановлений наступний ряд по впливу функціональних груп у складі сполук, котрими насичений сорбент, на здатність

останнього до регенерації:



Для опису внутрішньодифузійної кінетики десорбції з насичених полімерних сорбентів було застосовано підхід, який базується на деталізації внутрішньої будови полісорбів та використовує метод відповідності. Кінетичні параметри при десорбції визначалися, як і у випадку адсорбції, за допомогою методу моментів, на цей раз з експериментально виміряних кінетичних кривих десорбції. Як приклад в табл.9 наведено розраховані кінетичні параметри для декількох з вивчених систем.

Таблиця 9

Параметри кінетики десорбції нітробензолу з полімерних сорбентів пропанолом-2

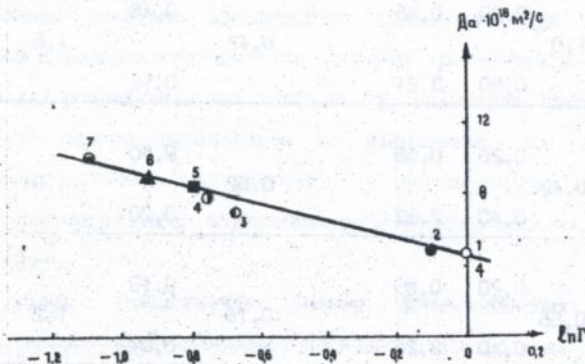
Сорбент	Γ_d	$R, 10^3$ м	$\tau_{1,d} 10^{-3}$, с	$\tau_{a,d} 10^{-3}$, с	ϵ_d	$D_{1,d} 10^{10}$ м ² /с	$D_{a,d} 10^{18}$ м ² /с
G-5	1,0	0,20	0,45		0,48		
		0,50	3,21		0,12	1,6	3,8
40/100	0,45	0,20	0,58		0,50		
		0,40	2,32		0,20	1,0	8,5
Y-59	0,66	0,20	0,69		0,19		
		0,40	2,26		0,07	1,2	5,6

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити висновок, що для зерна полісорбу з меншим еквівалентним радіусом загальна швидкість десорбції визначається переносом в обох пористих структурах, а для фракції з більшим еквівалентним радіусом визначальним є

перенос в транспортній пористій структурі. Порівнюючи дані, що наведені в табл.6 та табл.9, можна констатувати, що коефіцієнти дифузії в первинній пористій структурі при десорбції на два порядки вище, ніж при адсорбції з водних розчинів, в той час як коефіцієнти дифузії у вторинній пористій структурі в обох випадках є величинами одного порядку.

На рис.4 представлено кореляційну залежність коефіцієнта дифузії в первинній пористій структурі D_a від значення $\ln \Gamma$ (Γ - параметр ізотерми Генрі). Видно, що отримана залежність є лінійною в досліджуваній області. При зменшенні величини адсорбції органічної сполуки у рівноважних умовах з неводних розчинів коефіцієнти дифузії при десорбції в первинній пористій структурі зростають.

Рис.4 Залежність коефіцієнту дифузії в первинній пористій структурі D_a від параметру $\ln \Gamma$ при десорбції пропанолу-2



1 - 2,4-дихлорфенол; 2 - хлорбензол; 3 - п-хлоранілін;
4 - анілін; 5 - нітробензол; 6 - бензол; 7 - фенол

На прикладі елементної регенерації аліфатичними спиртами полісорбу

60/100, попередньо насиченого нітробензолом чи бензолом з водних розчинів, було вивчено вплив властивостей регенеранта на значення кінетичних параметрів при десорбції. Встановлено, що значення коефіцієнтів дифузії в транспортній пористій структурі D_1 визначаються в більшій мірі властивостями регенеранта, ніж десорбованої сполуки.

Оскільки елементарна десорбція звичайно здійснюється в апараті з щільним шаром, було розроблено метод розрахунку десорбційного процесу, що базується на моделі рівноважної динаміки десорбції. Використовуючи запропонований підхід, проведено розрахунки вихідних кривих динаміки десорбції. Отримано добре співпадіння розрахункових та експериментальних даних.

Використання процесів адсорбції-десорбції органічних розчинених речовин на полімерних сорбентах в практичних цілях

Отримані результати щодо закономірностей адсорбційно-десорбційних процесів в системі: водний розчин органічної речовини - полімерний сорбент в рівноважних та нерівноважних умовах було використано при розробці технологій очистки води.

Критичний аналіз даних літератури відносно різних підходів та методів доочистки питної води дозволив встановити перспективність використання апаратів середньої продуктивності для цілей підготовки питної води для шкіл, дитячих садків, ферм, військових казарм тощо. Проведені нами дослідження дали змогу встановити необхідність застосування полімерних сорбентів в адсорбційному блоці апарату доочистки питної води,

коли одними з пріоритетних забруднень питної води є речовини з великими розмірами молекул, наприклад ПАВ. Встановлено, що полімерний сорбент поролас Т може бути рекомендований для використання в навантаженні адсорбційного блоку апарату на першому ступені очистки. Розроблено технологічний регламент роботи адсорбційного блоку апарату середньої продуктивності. Модельний зразок адсорбційного блоку апарату пройшов випробування, результати яких свідчать про ефективність очистки питної води розробленим методом.

Основні результати, отримані при вивченні властивостей полімерних сорбентів, дозволили зробити висновок про те, що цей клас адсорбентів особливо ефективно застосовувати для очистки локальних потоків стічних вод, коли разом з очисткою необхідна утилізація поглинутих компонентів.

Була розроблена типова схема очистки локальних потоків стічних вод від цінних органічних речовин з використанням полімерних сорбентів. Технологія передбачає стадії очистки стічного потоку, регенерації відпрацьованого сорбента органічним розчинником та утилізацію речовини, що була адсорбована. Адсорбентами в схемі можуть бути використані полісорб 40/100, 60/100 та поролас Т. Стадії регенерації насичених сорбентів слід здійснювати органічними розчинниками, які змішуються з водою (етанолом, пропанолом-2, ацетоном). Запропонована схема була опрацьована для очистки локальних потоків стічних вод від п-хлорбензолсульфаміду, базаграну, 2,4-дихлорфеноксоцтової кислоти. В усіх випадках використання полімерних сорбентів дає змогу не лише ефективно знешкоджувати стічні води до заданої глибини очистки, а й

утилізувати цінні компоненти.

Технологічний цикл виробництва п-хлорбензолсульфаміду дає змогу створити маловідходну технологічну схему очистки стічних вод даного виробництва. Було вивчено умови регенерації полісорбу 40/100, насиченого п-хлорбензолсульфамідом, розчинами гідроксиду натрію та встановлено, що застосування розчинів з концентрацією 200 кг/м^3 при температурі $70-80^\circ\text{C}$ дає змогу добиватися майже повної регенерації насиченого полісорбу. При цьому відпрацьований регенераційний розчин та промивні води використовуються в данному виробництві при отриманні монохлораміну, чим досягається маловідходність процесу.

Деяко інший варіант технологічної схеми очистки з використанням полімерних сорбентів було розроблено для очистки стічних вод виробництва пентахлорфеноляту натрію. При розробці схеми необхідно було передбачити максимальне зниження навантаження на сорбційний фільтр з метою збільшення періоду його міжрегенераційної роботи. Для цього було застосовано значне зниження розчинності пентахлорфенолу при різних значеннях рН розчину. Результати досліджень також показали, що ефективним регенерантом полісорбу, насиченого пентахлорфенолом, є гідроксид натрію з концентрацією 20 кг/м^3 . Проведено розрахунки динаміки десорбції полісорбу, насиченого пентахлорфенолом, виділено область регенераційних розчинів, які підлягають безпосередній утилізації. Розроблено технологічну схему очистки, яка передбачає утилізацію поглиненого пентахлорфенолу у вигляді натрієвої солі та багаторазове використання коагулянта.

Результати досліджень по практичному використанню полімер-

них сорбентів в технологічних схемах очистки стічних вод були використані при розробці вихідних даних для проектування локальних очисних споруд для ряду хімічних підприємств.

Оскільки полімерні сорбенти мають інертну поверхню, а отримані закономірності по елюентній десорбції полімерних сорбентів дозволяють кількісно прорахувати весь процес регенерації, то доречно провести заміну активованого вугілля на полімерні сорбенти у процесах біосорбції. При такій заміні вдається уникати окислення поглинутих сорбентом органічних речовин (наприклад, ароматичних амінів, альдегідів), що часто спостерігається на активованому вугіллі навіть при відсутності біологічних культур. Крім цього, використання полімерних сорбентів дає змогу кількісно розділити процеси сорбції та біорегенерації. Проведене нами моделювання процесу біосорбції культурою *P. putida* аніліну, поглиненого полісорбом 40/100, базувалося на підході, згідно з яким основна кількість органічної речовини спочатку адсорбується, а потім відбувається повільна деградація речовини в адсорбованому стані. Експериментально виміряна та теоретично розрахована кінетична крива біодеструкції добре узгоджуються, що свідчить на користь коректності розробленого підходу.

Встановлені закономірності десорбційних процесів було використано для розробки способу вилучення сапоніну (цінного рослинного препарату) із відходів цукрового виробництва. В запропонованому способі сапонін концентрують з лужних екстрактів адсорбцією на полімерному сорбенті полісорбі 40/100 чи 60/100. Ступінь вилучення вдалося значно підвищити за рахунок виділення області регенераційних розчинів для утилізації.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розвинуто перспективний науковий напрямок в колоїдній хімії адсорбційних явищ – адсорбційно-десорбційні процеси в системі: розчинена органічна речовина – пористий полімерний сорбент. В результаті систематичних досліджень проведено узагальнення широкого кола експериментальних даних по рівновазі та кінетиці адсорбції і десорбції, обґрунтовані адекватні теоретичні моделі даних процесів. Результати, отримані при виконанні даної роботи, знайшли застосування на практиці. Для вирішення поставлених завдань:

- розроблено нові експериментальні методи для оцінки пористої структури та адсорбційно-десорбційних властивостей полісорбів;
- виміряно ізотерми адсорбції органічних речовин, ПАВ, барвників та їх сумішей на серії гідрофобних та гідрофільних полімерних сорбентів;
- розроблено методи визначення параметрів ізотерм адсорбції індивідуальних речовин та їх сумішей на полісорбах;
- розраховано параметри кінетики ізотермічної та неізотермічної адсорбції;
- встановлено закономірності десорбційних процесів.

Результати проведених досліджень дозволяють сформулювати такі основні висновки:

1. Обґрунтовано критерії цілеспрямованого синтезу полімерних сорбентів на основі дослідження зміни структури та адсорбційних властивостей полісорбів за рахунок умов їх синтезу.

2. Розроблено нові підходи до оцінки параметрів пористої структури

та адсорбційно-десорбційних властивостей полісорбів: спосіб визначення середнього розміру пор полімерного сорбента, метод оцінки властивостей поверхні полісорбів, спосіб експериментального вимірювання ізотерми десорбції.

3. Запропонована нова методика одночасного визначення параметрів адсорбційної рівноваги: ємності моношару, константи рівняння полімолекулярної адсорбції, показника степені на основі використання модифікованого рівняння полімолекулярної адсорбції. Для досліджених систем встановлено, що показник степені n змінюється в межах 0,1-0,9.

4. Узагальнено вплив різних умов перебігу процесу адсорбції на полісорбах (рН розчину, температури процесу, наявності неорганічних солей) на ефективність адсорбційного вилучення низькомолекулярних органічних речовин. Розраховано термодинамічні характеристики процесу адсорбції.

5. Розроблено підхід для моделювання адсорбції бінарних сумішей, який дає змогу прогнозувати закономірності поглинання органічних речовин з двокомпонентних фаз при наявності даних про індивідуальні ізотерми адсорбції речовин та про парціальні ізотерми адсорбції компонентів базової суміші.

6. Доказано, що при розрахунках кінетики адсорбції органічних речовин та їх сумішей на полісорбах слід використовувати модель біпористого сорбента. Розраховано значення кінетичних параметрів при адсорбції на гідрофобних та гідрофільних полімерних сорбентах. Встановлено, що зі зменшенням розміру зерна полімерних сорбентів роль дифузії в мікропористих агрегатах зростає.

7. Вперше проаналізовано вклад теплових ефектів в загальний масоперенос при поглинанні розчинених у воді органічних

речовин на основі спільного аналізу кінетичних та калориметричних вимірювань. Цей вклад проявляється в сповільненні адсорбційного процесу за рахунок розсіювання теплоти адсорбції.

8. Доказано, що у системі водний розчин ПАР-полімерний сорбент відбувається конкуренція в рівноважному розподіленні молекул ПАР між фазою сорбента та міцелярною фазою, що призводить до різних форм ізотерм адсорбції. Одиницею переносу маси при поглинанні ПАР є індивідуальна молекула.

9. Встановлено основні закономірності елюентної регенерації полімерних сорбентів. На основі термодинамічної оцінки процесу виявлено, що регенераційна здатність регенеранта зростає зі збільшенням мольного об'єму адсорбата. Встановлено ряд по впливу функціональних груп десорбованих сполук на здатність сорбента, насиченого цими речовинами, до регенерації.

10. Доказано, що у загальному випадку моделювання нерівноважних процесів при десорбції органічних речовин із полісорбів слід проводити з використанням співвідношень для біпористого сорбента та метода відповідності. Встановлено, що для вивчених систем коефіцієнти переносу в первинній пористій структурі при десорбції на два порядки вище, ніж при адсорбції, в той час як відповідні коефіцієнти переносу в транспортній пористій системі при десорбції та адсорбції є величинами одного порядку.

11. На основі отриманих закономірностей адсорбційно-десорбційних процесів на полімерних сорбентах розроблено підходи для їх практичного використання: в апараті доочистки питної води середньої продуктивності; в технологічних схемах очистки стічних вод від цінних органічних сполук; для переробки мембранного концентрату; як носіїв в процесах біосорбційної очистки; для

концентрування та вилучення цінних рослинних препаратів.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ВИКЛАДЕНО У РОБОТАХ:

1. Подлесник В.В. Адсорбционное равновесие растворенных органических веществ на полисорбах // Коллоидн. журн. - 1985. - Т.47, N 3. - С.621-624.
2. Подлесник (Полякова) В.В. Регенерация полисорба С этанолом после адсорбции анилина и нитробензола из водных растворов // Химия и технология воды. - 1982. - Т.4, N 4. - с 307-308.
3. Podlesnyuk V.V. Polymeric Sorbents and New Technologies for Waste Water Purification // Proc. 11th Hungarian-Ukrainian Conf. on Carpathian Euroregion Ecology. - Uzhorod, 1994. - V.2, P.77.
4. Подлесник В.В., Левченко Т.М. Адсорбция органических веществ на пористых полимерных адсорбентах (Обзор литературы) // Химия и технология воды. - 1983. - Т.5, N4. - С.305-315.
5. Подлесник В.В., Клименко Н.А. Экстракционные методы регенерации адсорбентов (Обзор литературы) // Химия и технология воды. - 1988. - Т.10, N 4. - С.303-311.
6. Гончарук В.В., Подлесник В.В., Фридман Л.Е., Рода И.Г. Научные и прикладные аспекты подготовки питьевой воды (Обзор литературы) // Химия и технология воды. - 1992. - Т.14, N7. - С.506-525.
7. Когановський О.М., Левченко Т.М., Підлісник В.В. Перспективи використання синтетичних полімерних адсорбентів для очистки стічних вод від органічних сполук // Вісник АН УРСР. - 1983. - N10. - С.44-48.
8. Марутовський Р.М., Підлісник В.В., Левченко Т.М., Когановський О.М. Внутрішньодифузійна кінетика адсорбції органічних сполук із водних розчинів на пористих полімерних матеріалах // Доп. АН УРСР. Сер. Б - 1984. - N2. - С.36-40.

9. Подлесник В.В., Левченко Т.М. Исследование адсорбции красителей на полисорбе 40/100 из водных растворов // Химия и технология воды.-1985.- Т.7, №1.-С.3-5.
10. Подлесник В.В., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Когановский А.М. Адсорбция растворенных органических веществ на пористых полимерных материалах // Теор. и эксперим. химия - 1985.- Т.21, №3.- С.378-381.
11. Марутовский Р.М., Подлесник В.В. Модель ступенчато-противоточной адсорбции органических веществ из водных растворов в реакторах-смесителях в случае адсорбентов с бидисперсной структурой // Химия и технология воды.-1986.-Т.8, №4.-С.10-13
12. Шварцман Е.С., Подлесник В.В., Левченко Т.М., Клименко Н.А. Адсорбция поверхностно-активных веществ из водных растворов на пористых полимерных и углеродных сорбентах // Химия и технология воды.-1987.-Т.9, №1.-С.26-27.
13. Каганов В.Я., Зайдель А., Подлесник В.В. Метод расчета изотерм адсорбции многокомпонентных смесей // Химия и технология воды.-1987.-Т.9, №3.-С.204-205.
14. Шлюгер О.С., Підлісник В.В., Марутовський Р.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. Вилучення сильнорозчинних у воді органічних речовин полімерними сорбентами // Доп. АН УРСР. Сер. Б.-1988.-№1.-С.55-57.
15. Подлесник В.В., Левченко Т.М. Адсорбция растворенных органических веществ полимерными сорбентами // В кн. "Адсорбция и адсорбенты" Труды VI Всесоюзной конференции по теоретическим вопросам адсорбции.-М.:Наука, 1987.- с.256.
16. Подлесник В.В., Левченко Т.М. Безотходная технология очистки сточных вод производства п-хлорбензолсульфамида // Химия и технология воды.-1988.- Т.10, №4.-С.340-342.

17. Брик М.Т., Шлюгер О.С., Підлісник В.В., Клименко Н.А., Корниченко Р.А. Пористі полімерні сорбенти для вилучення органічних речовин з водних розчинів // Укр. хім. журн.- 1988.- № 9.- С. 999-1001.
18. Фридман Л.Е., Подлесник В.Р., Клименко Н.А. Теоретическая модель динамики элементной равновесной десорбции // Химия и технология воды.-1989.- т. II, №5.- с. 390-392.
19. Radeke K.-H., Junge H., Seidel A., Redlich Ch., Marutovsky R.M., Podlesnyuk V.V., Sluger E.S. Adsorption of organics from aqueous solutions onto synthetic adsorption resins // Proc. 5th Conf. on Appl. Chemistry, Unit Operations and Processes. - Balatonfured, Hungary.-1989, V.1.-P.117-122.
20. Клименко Н.А., Подлесник В.В., Фридман Л.Е., Киевский М.И. Технология локальной очистки сточных вод производства пентахлорфенолята натрия // Химия и технология воды.-1989.- Т. II, №7.- С. 636-639.
21. Podlesnyuk V.V., Varcl L. Sorpcni metody odstranovani barviv v praxicisteni odpadnich vod // Proc. Conf. "Aqua'89"-Karlovy Vary, Czechoslovakia.-1989, V.3.-S.114-121.
22. Radeke R.-H., Junge H., Seidel A., Marutovsky R.M., Podlesnyuk V.V., Sluger E.S. Adsorption von in Wasser Gelosten organischen Stoffen an Synthetischen Adsorberpolymeren I. Adsorptionsgleichgewichte // Chem. Technol.-1990.-V.42, N 8.-S.335-338.
23. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Марутовский Р.М., Клименко Н.А. Определение кинетических параметров при элементной десорбции синтетических полимерных сорбентов // Химия и технология воды.-1990.-Т. I2, №2.-С. II4-II8.
24. Клименко Н.А., Фридман Л.Ю., Підлісник В.В. Термодинамічна

- оцінка процесу рівноважної елюентної регенерації адсорбентів // Доп. АН УРСР. Сер. Б. - 1990. - № 3. - С. 32-34.
25. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Клименко Н.А. Оценка регенерируемости насыщенных полимерных сорбентов по изотермам адсорбции из неводных растворов // Химия и технология воды. - 1990. - Т. 12, № 5. - С. 451-452.
26. Фридман Л.Е., Подлесник В.В. Закономерности массопроводности при элюентной десорбции алифатическими спиртами насыщенных полимерных сорбентов // Химия и технология воды. - 1990. - Т. 12, № 8. - С. 710-712.
27. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Марутовский Р.М. Кинетика элюентной десорбции органических веществ, адсорбированных синтетическими полимерными сорбентами // Журн. физ. химии. - 1990. - Т. 64, № 11. - С. 3118-3121.
28. Подлесник В.В., Градил И., Клименко Н.А., Швец Ф., Фридман Л.Е. Равновесная адсорбция некоторых производных бензола и неионогенных ПАВ на глицидилметакрилатных сорбентах различного типа // Химия и технология воды. - 1991. - Т. 13, № 5. - С. 415-419.
29. Подлесник В.В., Фридман Л.Е., Митченко Т.Е., Савчина Л.А., Постолов Л.Е. Адсорбционная очистка сточных вод химического предприятия с использованием сочетания различных видов сорбентов // Химия и технология воды. - 1991. - Т. 13, № 6. - С. 503-506.
30. Клименко Н.А., Подлесник В.В., Градил И., Швец Ф. Адсорбция неионогенных ПАВ на пористых метакрилатных сорбентах // Коллоидн. журн. - 1991. - Т. 53, № 4. - С. 748-752.
31. Подлесник В.В., Клименко Н.А., Фридман Л.Е., Градил И., Швец Ф. Закономерности внутридиффузионной кинетики адсорбции неионогенных ПАВ из водных растворов на пористых метакрилатных сорбентах // Коллоидн. журн. - 1991. - Т. 53, № 6. -

С.1075-1078.

32. Hradil J., Svec F., Podlesnyuk V.V., Marutovskij R.M., Friedman L.E., Klimenko N.A. Sorption and Desorption of Organic Compounds by Synthetic Polymeric Sorbents // Ind.Eng.Chem.Res.-1991.-v.30, N 8.-p.1926-1931.
33. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Митченко Т.Е. Адсорбция органических веществ из водных растворов на гидрофобном полимерном сорбенте "поролас Т" // Химия и технология воды.-1991-Т.13, NII.-С.974-977.
34. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Фесенко Е.А., Градил И. Оценка степени гидрофобности метакрилатных полимерных сорбентов по адсорбции из водных растворов // Химия и технология воды.-1992.-Т.14, N II.-С.810-812.
35. Подлесник В.В., Марутовский Р.М., Фридман Л.Е. Адсорбционное равновесие ограниченно растворимых веществ на пористых полимерных адсорбентах // Журн. физ.химии.-1992.-Т.66, NII.-С.2775-2778.
36. Hradil J., Svec F., Podlesnyuk V.V., Marutovskij R.M., Fridman L.E. Sorption and desorption of organic compounds by methacrylate polymeric sorbents // Book of Abstracts of 34th IUPAC Intern. Symp.on Macromolecules.-Prague, 1992.-6-P17.
37. Подлесник В.В., Фесенко Е.А., Клименко Н.А. Адсорбция бинарных эквимольных смесей некоторых производных бензола из водных растворов на полимерных сорбентах с различным химическим составом // Химия и технология воды-1994.-Т.16, № 1-С.6-11
38. Подлесник В.В., Фридман Л.Е., Фесенко Е.А. Адсорбционное равновесие бинарных смесей органических веществ из водных растворов на полимерных сорбентах // Журн. физ.химии.-1994.-Т.68, N 8.-С.1440-1442.

39. Podlesnyuk V.V., Marutovsky R.M., Fesenko E.A., Radeke K.-H. Abschätzung der Hydrophobizität von Adsorberpolymeren und Aktivkohlen aus Adsorptionsmessungen // Chem. Technik.- 1994 V.46, N 5.- S.269-270.
40. Podlesnyuk V.V., Marutovsky R.M., Savchina L.A., Radeke K.-H. Zur Temperaturabhängigkeit der Adsorption Organischer Wasserchadstoffe an dem Adsorberpolymer Wofatit EP-63 // Chem. Technik.-1994.-V.46, N 6.-S.343-345.
41. Клименко Н.А., Подлесник В.В., Фридман Л.Е., Градил И., Швец Ф. Влияние природы поверхности гидрофильных полимерных сорбентов на их адсорбционные свойства по отношению к растворенным в воде органическим веществам // В кн.: "Современные проблемы теории адсорбции", Труды VII Межд. конф. по теор. вопросам адсорбции.-М.:ПАИСМ, 1995.-Т.1, С.123-125.
42. Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Клименко Н.А. Термодинамическая оценка адсорбционно-десорбционных процессов при элюэнтной регенерации синтетических полимерных сорбентов // В кн. "Современные проблемы теории адсорбции", Труды VII Межд. конф. по теор. вопросам адсорбции.-М.:ПАИМС, 1995.-Т.2, с.326-329.
43. Подлесник В.В., Клименко Н.А., Градил И., Фесенко Е.А. Адсорбция органических веществ из водных растворов пористыми терполимерами на основе этилендиметакрилата // Химия и технология воды. - 1995.-Т.17, № 3.-С.227-231.
44. Podlesnyuk V.V., Marutovsky R.M., Savchina L.A., Radeke K.-H. Einfluß von anorganischen Salzen auf die Adsorption organischer Schadstoffe am Adsorberpolymer EP-63 // Chem. Technik.- 1995.-V.47, N1.-S.38-40.
45. Клименко Н.А., Подлесник В.В., Савчина Л.А. Адсорбция слабых органических электролитов на гидрофобных полимерных сорбентах

тах в присутствии неорганических солей // Химия и технология воды.-1995.-Т.17, N 4.-С.339-343.

46. Подлесник В.В., Клименко Н.А., Фесенко Е.А., Савчина Л.А. Температурная зависимость адсорбции некоторых производных бензола из их водных растворов на гидрофобных и гидрофильных полимерных сорбентах // Химия и технология воды.-1996.-т.18, N1.-С.64-67.
47. А.С. N II43694 (СССР) Способ очистки сточных вод от органических веществ / В.В.Подлесник, Т.М.Левченко, А.М.Когановский, И.Г.Рода, М.И.Киевский- Оpubл. БИ, 1985, N9, с.84.
48. А.С. N I325330 (СССР) Способ определения среднего размера пор полимерного сорбента/Т.М.Левченко, В.В.Подлесник, Р.М.Марутовский-Оpubл. БИ, 1987, N27, с.159.
49. А.С. N I5II259 (СССР) Способ получения сорбента для извлечения неионогенных поверхностно-активных веществ и производных ароматических соединений /М.Т.Брык, И.А.Агеева, Р.А.Корниенко, Е.С.Шлюгер, Р.М.Марутовский, В.В.Подлесник, Т.М.Левченко, Н.А.Клименко, И.А.Атаманенко, В.Ф.Резаненко, И.С.Ермоленко- Оpubл. БИ, 1989, N36, с.117.
50. А.С. N I632948 (СССР) Способ очистки сточных вод от пентахлор-фенолята натрия / Клименко Н.А., Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Рода И.Г., Марутовский Р.М., Канинская Р.Л., Киевский М.И., Фомкин В.А., Гришин В.А.-Оpubл. БИ, 1991, N9, с.90.
51. А.С. N I659836 (СССР) Способ определения изотермы десорбции органических соединений // Фридман Л.Е., Подлесник В.В., Клименко Н.А., Марутовский Р.М., Киевский М.И.-Оpubл. БИ, 1991, N24, с.155.
52. Способ получения сапона сахарной свеклы / В.В.Подлесник, А.И.Кошулько, Ю.И.Быстревский // Положительное решение

Всероссийск. научно-исслед.института гос.патент.экспертизы о
выдаче А.с. по заявке N 94036740/04 от 20.07.1995.

53.А.С.№703621 (СССР) Способ регенерации полисорбов,отработанных при очистке сточных вод от неионогенных поверхностно-активных веществ / В.В.Подлесник,Н.А.Клименко,И.Градил,Ф.Швец-Опубл.БИ,1992,№1,с.110.

54.Pat.CSFR .PV 3892-89.

Hradil J., Svec F., Podlesnyuk V.V., Klimenko N.A. Zpusob odstranovani povrchove aktivnich latek z vodnych roztoku.

SUMMARY

Valentina Pidlisnyuk Adsorption-desorption processes in the system: soluble organic substance- porous polymeric sorbent.

Manuscript.Dissertation for competition for a degree of Doctor Science (Chemistry).Specialities 02.00.11-Colloidal Chemistry and 02.00.23-Environmental Science and Rational Use of Nature Resources.Institute of Colloid & Water Chemistry National Academy of Science of Ukraine.Kijv.1996.

63 scientific articles are defended which are devoted to the development of perspective scientific direction: adsorption-desorption processes onto new type of sorbents - porous polymeric materials.The systematic researches of adsorption-desorption behaviour of hydrophobic and hydrophilic polysorbs have been done in equilibrium and non-equilibrium conditions. A new approaches to the porous structure definition and adsorption-desorption properties testing have been proposed.A new methods for adsorption equilibrium parameters calculation for individual substances and their binar mixtures have been described.The parameters of isothermic and non-isothermic kinetic of adsorption have been calculated.The

eluent desorption process has been investigated. Approaches for porous polymeric sorbents uses for drinking water purification, for wastewaters treatment are demonstrated.

АННОТАЦІЯ

Подлесник В.В. Адсорбционно-десорбционные процессы в системе: растворенное органическое вещество-пористый полимерный сорбент.

Диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук по специальностям 02.00.11-коллоидная химия и 02.00.23-охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

Защищается 63 научные работы, в которых развито перспективное научное направление - адсорбционно-десорбционные процессы на новом типе сорбентов - пористых полимерных материалах. Разработаны новые экспериментальные методы оценки пористой структуры и адсорбционно-десорбционных свойств полисорбтов, изучено адсорбционное поведение при поглощении низкомолекулярных органических веществ, ПАВ, красителей, их бинарных смесей различными классами полимерных сорбентов, обоснованы адекватные теоретические модели процессов адсорбции на полисорбах из водных растворов, рассчитаны параметры изотермической и неізотермической кинетики адсорбции, установлены закономерности десорбционных процессов. Разработаны подходы к практическому использованию полимерных сорбентов: в аппарате доочистки питьевой воды средней производительности, в технологических схемах очистки сточных вод.

Ключові слова: адсорбція, десорбція, розчин, полісорб, кінетика, теплові ефекти, суміш, доочистка питної води, очистка стічних вод.

В. Подлесник

Подписано к печати 5.05.96. Формат 10x8 $\frac{1}{6}$
Объем 3 условных печатных листов.
Заказ № 8/2 Тираж 100 экз. Бесплатно
размножено ГНІ Минстата Украины ООП

446894

AB 34.789

AB 34.789