

А. Н. Лукьянов  
О. Н. Кононова

# НЕОДНОРОДНЫЕ СОРБЕНТЫ

Монография

Институт цветных металлов и материаловедения



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

А. Н. Лукьянов

О. Н. Кононова

## **Неоднородные сорбенты**

Монография

Красноярск

СФУ

2012

УДК 54-414  
ББК 24. 583  
Л84

**Рецензенты:**

А.М. Долгонос, д-р хим. наук, ведущий научный сотрудник ГЕОХИ РАН;  
В.И. Быков, д-р физ.-мат. наук, проф., заслужен. работник высшей школы РФ,  
зав. кафедрой математики и информационных технологий Московской академии  
предпринимательства при Правительстве Москвы

**Лукьянов, А.Н.**

Л84 Неоднородные сорбенты: монография / А.Н. Лукьянов, О.Н. Кононова. –  
Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 190 с.  
ISBN 978-5-7638-2524-4.

В монографии изложены основы теории неоднородности. Сообразно конкретным примерам описания равновесий сорбции ионов металлов на поверхности активных углей показаны возможности применения методов «интегрального исчисления адсорбции» в исследовании физико-химических свойств неоднородных сорбентов.

Книга предназначена для научных сотрудников, студентов и аспирантов химических специальностей высших учебных заведений, интересующихся вопросами теории сорбционных явлений.

**УДК 54-414  
ББК 24. 583**

ISBN 978-5-7638-2524-4

© Сибирский федеральный  
университет, 2012

## Оглавление

Введение.....	5
Часть I. Описание процессов сорбции: теория неоднородности.....	8
Глава 1. Математические аспекты описания химических явлений.....	8
1.1. Математическая химия.....	8
1.2. Проблема множественных описаний.....	9
1.3. Проблема неустойчивых описаний.....	10
1.4. Интегральное исчисление адсорбции.....	12
Глава 2. Однородные и неоднородные сорбенты.....	15
2.1. Островки сорбции.....	15
2.2. Мультиплеты.....	16
2.3. Паспортизация сорбентов.....	21
Глава 3. Изотермы сорбции.....	23
3.1. Формальные описания.....	23
3.2. Классификация теоретических изотерм.....	26
3.3. L - изотермы.....	28
3.4. M - изотермы.....	32
3.5. «Аномалии».....	34
Глава 4. Графические представления.....	36
4.1. Экспериментальные изотермы сорбции.....	36
4.2. Системы L-представлений: «просеивание» изотерм.....	37
4.3. Условно - лэнгмюровские изотермы.....	40
Глава 5. Функции $p(X)$ и $P(X)$ . Методы вычисления.....	41
5.1. Разложение в ряды. Формула Титчмарша.....	41
5.2. Метод моментов.....	44
5.3. Метод Адамсона – Линга.....	46
5.4. Матричный метод.....	50
Глава 6. Функции $p(X)$ и $P(X)$ . Простые аппроксимации.....	52
6.1. Дискретные аппроксимации.....	52
6.2. Аппроксимация непрерывными функциями.....	54
Глава 7. Многокомпонентная сорбция. Описания.....	56
7.1. Изотерма Лэнгмюра – Шишковского.....	56
7.2. Проблема «состыковки» координат сорбции.....	57
7.3. Р-интеграл многокомпонентной сорбции.....	59
7.4. Многомерные описания.....	61
7.5. Сорбция на мультиплеттах.....	62
Глава 8. Многокомпонентная сорбция. Разделение и концентрирование.....	67
8.1. Критерии разделения.....	67
8.2. Вычисление расхода сорбента.....	67
Глава 9. Термодинамические характеристики сорбции.....	71
9.1. Энтальпия, энтропия, энергия Гиббса сорбции.....	71
9.2. T - функции сорбента.....	72
9.3. Прочие характеристики.....	74
Глава 10. Кинетика сорбции.....	75
10.1. Внешне- и внутридиффузионная кинетика.....	75
10.2. Химическая кинетика: обратимая сорбция.....	78
10.3. Химическая кинетика: необратимая сорбция.....	81
10.4. Кинетика многокомпонентной сорбции.....	84

Глава 11. «Оформление» сорбционного процесса.....	85
11.1. Каскадная сорбция.....	85
11.2. Непрерывная сорбция.....	87
Глава 12. Сорбция из растворов электролитов.....	90
12.1. Модель двойного слоя.....	90
12.2. Модель подвижных ионов.....	91
12.3. Смешанные модели.....	93
12.4. Сорбция на ионообменниках.....	94
12.5. «Схематическая» классификация сорбентов.....	96
12.6. Изотермы $E=\Phi(c)$ . H-функции.....	98
Глава 13. Неидеальная сорбция.....	100
13.1. Изотермы неидеальной сорбции.....	100
13.2. Неидеальная сорбция электролитов.....	101
Примечания.....	104
Часть II. Приложение теории неоднородности к исследованию равновесий на поверхности углеродных адсорбентов.....	130
Глава 14. Угли и углеродные адсорбенты.....	130
14.1. Ископаемый уголь.....	130
14.2. Активный уголь.....	133
14.3. Окисленный уголь.....	136
Глава 15. Изотермы сорбции на углеродных адсорбентах.....	138
15.1. Построение изотерм сорбции.....	138
15.2. Выбор объектов исследования.....	140
15.3. Изотермы сорбции ионов $H_3O^+$ и цветных металлов.....	140
15.4. Изотермы сорбции ионов палладия.....	149
Глава 16. Прогноз равновесий полисорбции.....	156
16.1. Паспортизация сорбентов.....	156
16.2. Сорбция из систем $[Mn^{2+}, Me^{2+}]$ .....	156
16.3. Сорбция из систем $[Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}]$ .....	164
16.4. Сорбция из систем $[Pd^{2+}, Me^{2+}]$ , $[Pd^{2+}, Fe^{3+}]$ .....	169
16.5. Сорбция из систем $[Pd^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}]$ .....	173
Примечания.....	176
Заключение.....	183
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	184
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ С.....	186
Список основных обозначений.....	187