

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ
ВЕЩЕСТВ И ГИБРИДНЫЕ
МЕТОДЫ АНАЛИЗА



www.e.lanbook.com



**ЭБС
ЛАНЬ**

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ И ГИБРИДНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Под редакцией профессора Л. Н. Москвина

ДОПУЩЕНО

Учебно-методическим объединением по классическому университетскому образованию в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химия»



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ · МОСКВА · КРАСНОДАР
2019

ББК 24.4я73

А 64

А 64 Аналитическая химия. Методы разделения веществ и гибридные методы анализа: Учебник / Под ред. Л. Н. Москвина. — СПб.: Издательство «Лань», 2019. — 332 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-3394-0

Цикл книг, подготовленных коллективом авторов из Санкт-Петербургского университета, содержит важнейшие разделы современной аналитической химии. Вторая книга учебника посвящена методам разделения, применяемым в аналитической химии и созданным на их основе гибридным методам анализа — методам, в которых в одной аналитической процедуре сочетаются методы разделения и методы определения разделенных веществ.

Рассмотрению отдельных методов разделения и концентрирования аналитов предпослана их общая классификация, а рассмотрение методов в рамках отдельных групп, выделяемых согласно этой классификации, начинается с внутригрупповых классификаций, что позволяет легко сориентироваться во всем многообразии методов разделения, увидеть взаимосвязь между ними и подходы к выбору адекватных решений различных аналитических задач.

В число гибридных методов, рассматриваемых в данной книге, входят в первую очередь хроматографические и масс-спектральные методы, являющиеся в настоящее время одними из основных методов химического анализа. Здесь также значительное внимание уделено систематизации методов и общим физико-химическим закономерностям, лежащим в основе предлагаемых схем классификации. При этом четко расставлены акценты между хроматографическими методами разделения и хроматографическими методами анализа. Обоснована целесообразность выделения масс-спектрометрии из раздела, посвященного спектральным методам, и рассмотрение ее в разделе, посвященном гибридным методам.

Учебник рассчитан на студентов, обучающихся по программам специалитета, магистратуры и аспирантуры направлений подготовки и специальностей, входящих в УТС: «Химия» и «Химические технологии». Книга также будет полезна магистрам и аспирантам, специализирующимся в области аналитической химии.

ББК 24.4я73

Рецензенты:

Ю. А. КАРПОВ — доктор химических наук, академик РАН;

Т. Н. ШЕХОВЦОВА — профессор,

зам. зав. кафедрой аналитической химии, зам. председателя Методической комиссии химического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, председатель Комиссии по преподаванию аналитической химии НСАХ РАН.

Обложка

Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2019

© Коллектив авторов, 2019

© Издательство «Лань»,

художественное оформление, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Предисловие</i>	3
<i>Список наиболее часто употребляемых специальных терминов, аббревиатур и принятых сокращений</i>	5
<i>Введение</i>	7

Часть первая *Методы разделения и концентрирования*

Глава 1. Общая классификация методов разделения	13
1.1. Основные понятия	13
1.2. Проблема классификации методов разделения и попытки ее решения	14
1.3. Методы разделения гетерогенных смесей	17
1.4. Классификация методов разделения гомогенных смесей веществ	19
Глава 2. Методы разделения, основанные на образовании выделяемыми веществами новых фаз	22
2.1. Классификация и общая характеристика методов	22
2.2. Методы, основанные на образовании твердых и жидких фаз	24
2.3. Методы, основанные на различиях, проявляемых веществом при фазовых переходах в системе жидкость — газ	30
2.4. Методы, основанные на проявлении различий в характеристических свойствах при фазовых переходах твердая фаза — жидкость	39
Глава 3. Методы разделения, основанные на различиях в распределении веществ между фазами	43
3.1. Внутригрупповая классификация и общие характеристики методов	43
3.2. Жидкостно-жидкостная экстракция	46

3.3. Методы разделения, основанные на распределении веществ в системах жидкость — твердая фаза и газ — твердая фаза	65
3.4. Методы разделения, основанные на распределении веществ в системе жидкость — газ	88
3.5. Сверхкритическая флюидная экстракция	96
Глава 4. Хроматография. Терминологический и методологический аспекты.	99
4.1. Введение	99
4.2. Классификация хроматографических методов	102
4.3. Теоретические основы хроматографии	110
4.4. Практические следствия теоретических представлений о хроматографическом процессе	123
4.5. Хроматографические методы, являющиеся вариантами хроматографического способа осуществления процесса межфазного распределения	130
4.6. Хроматографические методы, основанные на распределении веществ в системе жидкость — твердая фаза (ЖТХ).	139
4.7. Хроматографические методы, основанные на распределении веществ в системе жидкость — жидкость. Жидкостно-жидкостная хроматография (ЖЖХ).	151
4.8. Газоадсорбционная хроматография	157
4.9. Хроматографические методы в системе жидкость — газ	160
Глава 5. Мембранные методы разделения веществ	172
5.1. Общие сведения о мембранах и мембранных методах разделения	172
5.2. Диффузионные методы	175
5.3. Электромембранные методы	180
5.4. Баромембранные методы	183
Глава 6. Методы внутрифазного разделения	188
6.1. Принципы внутрифазного разделения	188
6.2. Электрофорез	190
6.3. Проточное фракционирование в поперечном поле (ППФ-методы)	196
Глава 7. Комбинированные методы разделения	202
7.1. Общие принципы комбинированных методов	202
7.2. Оптические методы разделения	203
7.3. Хроматомембранный массообменный процесс и хроматомембранные методы разделения	204
7.4. Электрохроматография	215

Часть вторая
Гибридные методы анализа

Глава 8. Хроматографические методы анализа	223
8.1. Хроматографический анализ и основные схемы его реализации	223
8.2. Газовая хроматография	234
8.3. Жидкостная хроматография	250
8.4. Сверхкритическая флюидная хроматография (СФХ)	262
Глава 9. Капиллярный электрофорез (КЭ) и мицеллярная электрокинетическая хроматография (МЭКХ)	268
9.1. Схема анализа в КЭ и МЭКХ	268
9.2. Детектирование в КЭ и МЭКХ	269
9.3. Применение КЭ и МЭКХ	271
Глава 10. Масс-спектрометрия	273
10.1. Общая характеристика метода	273
10.2. Основные правила масс-спектрометрической символики и точность измерения масс-ионов	276
10.3. Основные узлы масс-спектрометров и принципы их функционирования	281
10.4. Масс-спектральное определение летучих органических соединений	294
10.5. Масс-спектральный анализ неорганических объектов	298
Глава 11. Спектрометрия ионной подвижности	308
11.1. Введение	308
11.2. Основы метода	309
11.3. Методы ионизации	309
11.4. Введение пробы	311
11.5. Спектрометрия ионной подвижности с продольным полем	311
11.6. Спектрометрия приращенной ионной подвижности	312
11.7. <i>IMS</i> с бегущей волной	314
11.8. <i>IMS</i> с захватом ионов	315
11.9. Дифференциальный спектрометр ионной подвижности	315
11.10. Открытая петля	315

11.11. Разрешение	315
11.12. Мультикапиллярная колонка	316
Глава 12. Гибридные методы на принципах двумерных методов детектирования	318
12.1. Общие принципы методов	318
12.2. Сложные гибридные методы, нашедшие наибольшее распространение.	318
<i>Список литературы</i>	324