

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие редактора перевода .....                                                 | 5  |
| Предисловие президента Федерации европейских химических обществ .....                | 8  |
| Предисловие председателей Отделения аналитической химии ФЕХО .....                   | 9  |
| Благодарности .....                                                                  | 13 |
| Обозначения .....                                                                    | 14 |
| Сокращения .....                                                                     | 17 |
| <b>Часть I. Общие вопросы</b>                                                        |    |
| <b>Глава 1. Задачи аналитической химии и ее значение для общества</b> .....          | 26 |
| 1.1. Аналитическая химия и общество .....                                            | 26 |
| 1.1.1. Введение: историческая справка .....                                          | 26 |
| 1.1.2. Задачи аналитической химии .....                                              | 27 |
| 1.1.3. Роль аналитической химии в жизни общества .....                               | 28 |
| 1.2. Химик-аналитик в центре решения проблем общества .....                          | 30 |
| 1.2.1. Введение .....                                                                | 30 |
| 1.2.2. Индустриальная среда .....                                                    | 31 |
| 1.2.3. Аналитический подход .....                                                    | 35 |
| 1.2.4. Решение аналитических проблем в науке об окружающей среде .....               | 38 |
| 1.2.5. Стандарты для процедур и измерений в аналитической лаборатории .....          | 42 |
| 1.2.6. Будущее аналитической науки .....                                             | 43 |
| 1.3. Задачи аналитической химии применительно к исследовательским лабораториям ..... | 45 |
| 1.3.1. Введение .....                                                                | 45 |
| 1.3.2. Примеры построения методик анализа .....                                      | 46 |
| 1.3.3. Заключение .....                                                              | 53 |
| <b>Глава 2. Процесс анализа</b> .....                                                | 55 |
| 2.1. Введение .....                                                                  | 55 |
| 2.2. Аналитический цикл .....                                                        | 56 |
| 2.2.1. Общая постановка задачи .....                                                 | 57 |
| 2.2.2. Постановка конкретной аналитической задачи .....                              | 57 |
| 2.2.3. Выбор методики .....                                                          | 58 |
| 2.2.4. Пробоотбор .....                                                              | 58 |
| 2.2.5. Транспортировка и хранение проб .....                                         | 59 |
| 2.2.6. Пробоподготовка .....                                                         | 59 |
| 2.2.7. Измерение (определение) .....                                                 | 61 |
| 2.2.8. Обработка данных .....                                                        | 61 |
| 2.2.9. Выводы и отчет .....                                                          | 61 |
| 2.3. Аналитические характеристики .....                                              | 62 |
| 2.4. Погрешности в химическом анализе .....                                          | 64 |

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.1. Правильность и воспроизводимость .....                                      | 64         |
| 2.4.2. Смещение и точность .....                                                   | 68         |
| 2.4.3. Представление аналитических данных .....                                    | 70         |
| 2.4.4. Распространение погрешностей .....                                          | 73         |
| <b>Глава 3. Обеспечение и контроль качества .....</b>                              | <b>79</b>  |
| 3.1. Качество анализа и задачи аналитической химии .....                           | 79         |
| 3.1.1. Определения и общие понятия .....                                           | 79         |
| 3.1.2. Качество результатов анализа и необходимая информация .....                 | 81         |
| 3.2. Методика анализа .....                                                        | 84         |
| 3.2.1. Выбор метода (методики) .....                                               | 84         |
| 3.2.2. Проверка методики .....                                                     | 89         |
| 3.3. Как достичь правильности анализа .....                                        | 102        |
| 3.3.1. Зачем нужна правильность .....                                              | 103        |
| 3.3.2. Сравнение с данными другого метода .....                                    | 104        |
| 3.3.3. Сравнение с данными другой лаборатории .....                                | 105        |
| 3.3.4. Стандартные образцы .....                                                   | 106        |
| 3.4. Правовые аспекты обеспечения и контроля качества .....                        | 109        |
| 3.4.1. Оценка квалификации лабораторий .....                                       | 110        |
| 3.4.2. Аккредитация производителей образцов сравнения и стандартных образцов ..... | 112        |
| 3.4.3. Аттестация персонала .....                                                  | 113        |
| 3.4.4. Стандартизация .....                                                        | 114        |
| 3.5. Выводы .....                                                                  | 115        |
| <b>Часть II. Химические методы анализа</b>                                         |            |
| <b>Глава 4. Основы химических методов анализа .....</b>                            | <b>120</b> |
| 4.1. Равновесие в гомогенных системах .....                                        | 120        |
| 4.1.1. Введение .....                                                              | 120        |
| 4.1.2. Состояние равновесия .....                                                  | 121        |
| 4.1.3. Равновесные системы .....                                                   | 121        |
| 4.1.4. Стационарное состояние .....                                                | 125        |
| 4.1.5. Взаимодействия растворитель—растворенное вещество .....                     | 127        |
| 4.1.6. Теория электролитической диссоциации Аррениуса .....                        | 130        |
| 4.1.7. Ион-ионные взаимодействия и ионная ассоциация .....                         | 132        |
| 4.1.8. Ионная активность .....                                                     | 132        |
| 4.2. Кислотно-основное равновесие .....                                            | 140        |
| 4.2.1. Введение .....                                                              | 140        |
| 4.2.2. Современная концепция кислот и оснований. Теория Брёнстеда—Лоури .....      | 141        |
| 4.2.3. Показатель кислотности pH .....                                             | 147        |
| 4.2.4. Кислотно-основные индикаторы .....                                          | 150        |
| 4.2.5. Буферы .....                                                                | 152        |
| 4.3. Комплексообразование .....                                                    | 156        |
| 4.3.1. Введение .....                                                              | 156        |
| 4.3.2. Образование ковалентной связи .....                                         | 158        |
| 4.3.3. Координационные свойства ионов металлов и лигандов .....                    | 160        |
| 4.3.4. Ступенчатое комплексообразование .....                                      | 164        |
| 4.3.5. Хелаты и полиядерные комплексы .....                                        | 169        |
| 4.3.6. Кинетика комплексообразования .....                                         | 172        |
| 4.4. Окислительно-восстановительные системы .....                                  | 173        |
| 4.4.1. Основы электроаналитических методов .....                                   | 173        |
| 4.4.2. Окислительно-восстановительные реакции .....                                | 173        |
| 4.4.3. Электрохимические ячейки .....                                              | 174        |
| 4.4.4. Реакции, контролируемые переносом заряда .....                              | 181        |
| 4.4.5. Реакции, контролируемые массопереносом .....                                | 182        |
| 4.5. Гетерогенные равновесия .....                                                 | 185        |
| 4.5.1. Термодинамическое рассмотрение .....                                        | 185        |

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.5.2. Системы газ — жидкость                                                   | 191 |
| 4.5.3. Системы твердое вещество — жидкость                                      | 198 |
| 4.5.4. Системы жидкость — жидкость                                              | 218 |
| 4.5.5. Системы газ — твердое вещество                                           | 226 |
| <b>Глава 5. Хроматография</b>                                                   | 230 |
| 5.1. Принципы хроматографического разделения                                    | 230 |
| 5.1.1. Обзор хроматографических методов                                         | 231 |
| 5.1.2. Получение хроматограмм                                                   | 232 |
| 5.1.3. Параметры хроматограмм                                                   | 233 |
| 5.1.4. Теория хроматографии                                                     | 236 |
| 5.1.5. Разрешение $R_S$ как характеристика разделения пиков                     | 241 |
| 5.1.6. Качественная информация                                                  | 243 |
| 5.1.7. Количественный анализ                                                    | 244 |
| 5.2. Газовая хроматография                                                      | 246 |
| 5.2.1. Параметры удерживания и коэффициент распределения                        | 246 |
| 5.2.2. Разделение в газовой фазе                                                | 247 |
| 5.2.3. Составные части газового хроматографа                                    | 248 |
| 5.2.4. Неподвижные фазы для газо-жидкостной хроматографии                       | 254 |
| 5.2.5. Применение газо-жидкостной хроматографии                                 | 258 |
| 5.2.6. Адсорбционная хроматография                                              | 261 |
| 5.3. Жидкостная хроматография                                                   | 264 |
| 5.3.1. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ)                        | 264 |
| 5.3.2. Ионная хроматография как классический и высокоэффективный метод          | 283 |
| 5.3.3. Гель-хроматография                                                       | 287 |
| 5.3.4. Тонкослойная хроматография                                               | 292 |
| 5.4. Сверхкритическая флюидная хроматография                                    | 298 |
| 5.5. Электрофорез                                                               | 302 |
| 5.6. Фракционирование в поперечном поле                                         | 309 |
| 5.6.1. Введение                                                                 | 309 |
| 5.6.2. Физические компоненты ФПП                                                | 310 |
| 5.6.3. Различные варианты ФПП                                                   | 312 |
| <b>Глава 6. Кинетика и катализ</b>                                              | 318 |
| 6.1. Введение                                                                   | 318 |
| 6.2. Скорость химических реакций                                                | 319 |
| 6.2.1. Кинетическое уравнение и порядок реакции                                 | 322 |
| 6.2.2. Интегральные кинетические уравнения                                      | 327 |
| 6.2.3. Факторы, влияющие на скорость реакции                                    | 330 |
| 6.2.4. Скорости реакций: аналитическое применение                               | 332 |
| 6.2.5. Кинетические методы определения, основанные на некаталитических реакциях | 336 |
| 6.3. Явление катализа                                                           | 337 |
| 6.3.1. Общие положения                                                          | 337 |
| 6.3.2. Кинетические уравнения и механизмы реакций                               | 339 |
| 6.3.3. Аналитическое применение каталитических реакций                          | 348 |
| 6.4. Измерение аналитического сигнала в кинетических и каталитических методах   | 352 |
| 6.4.1. Закрытые и открытые системы                                              | 353 |
| 6.4.2. Автоматизированные кинетические методы анализа                           | 353 |
| <b>Глава 7. Методы химического анализа и их применение</b>                      | 359 |
| 7.1. Титриметрия                                                                | 359 |
| 7.1.1. Кислотно-основное титрование                                             | 359 |
| 7.1.2. Комплексометрическое титрование                                          | 366 |
| 7.1.3. Электрохимическое титрование                                             | 374 |
| 7.2. Гравиметрия                                                                | 380 |
| 7.2.1. Введение                                                                 | 380 |

|         |                                                                                                        |     |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.2.  | Гравиметрические методы .....                                                                          | 381 |
| 7.2.3.  | Расчет результатов гравиметрического анализа .....                                                     | 382 |
| 7.2.4.  | Электрогравиметрия .....                                                                               | 383 |
| 7.3.    | Электроанализ .....                                                                                    | 389 |
| 7.3.1.  | Потенциометрия .....                                                                                   | 389 |
| 7.3.2.  | Вольтамперометрия .....                                                                                | 411 |
| 7.3.3.  | Амперометрия .....                                                                                     | 430 |
| 7.3.4.  | Кулонометрические методы анализа .....                                                                 | 432 |
| 7.4.    | Проточно-инжекционный анализ .....                                                                     | 440 |
| 7.4.1.  | Периодический и непрерывный проточный анализ .....                                                     | 440 |
| 7.4.2.  | Основы метода .....                                                                                    | 442 |
| 7.4.3.  | Основное оборудование ПИА .....                                                                        | 445 |
| 7.4.4.  | Дисперсия в ПИА .....                                                                                  | 446 |
| 7.4.5.  | ПИА для воспроизводимого и точного ввода пробы (ограничен-<br>ная дисперсия) .....                     | 448 |
| 7.4.6.  | Конверсионные методики ПИА (применения средней дисперсии) .....                                        | 452 |
| 7.4.7.  | Системы ПИА с ферментами .....                                                                         | 457 |
| 7.4.8.  | Схемы проточно-инжекционной генерации гидридов .....                                                   | 459 |
| 7.4.9.  | Обработка и концентрирование пробы в режиме on-line .....                                              | 460 |
| 7.4.10. | Использование процесса физической дисперсии. Градиентные<br>методики ПИА .....                         | 462 |
| 7.4.11. | Заключительные замечания .....                                                                         | 465 |
| 7.5.    | Термический анализ .....                                                                               | 467 |
| 7.5.1.  | Введение .....                                                                                         | 467 |
| 7.5.2.  | Термогравиметрия (ТГ) .....                                                                            | 468 |
| 7.5.3.  | Дифференциальный термический анализ (ДТА) и дифференци-<br>альная сканирующая калориметрия (ДСК) ..... | 473 |
| 7.5.4.  | Комбинированные методы .....                                                                           | 478 |
| 7.5.5.  | Анализ выделяющихся газов (АВГ) .....                                                                  | 482 |
| 7.5.6.  | Другие термоаналитические методы .....                                                                 | 485 |
| 7.6.    | Элементный органический анализ .....                                                                   | 489 |
| 7.6.1.  | Введение .....                                                                                         | 489 |
| 7.6.2.  | Методы, основанные на использовании для разделения селек-<br>тивной адсорбции .....                    | 489 |
| 7.7.    | Химические сенсоры .....                                                                               | 493 |
| 7.7.1.  | Введение .....                                                                                         | 493 |
| 7.7.2.  | Характеристики и основные принципы .....                                                               | 494 |
| 7.7.3.  | Электрохимические и микроэлектронные сенсоры .....                                                     | 496 |
| 7.7.4.  | Оптические сенсоры .....                                                                               | 505 |
| 7.7.5.  | Термические сенсоры .....                                                                              | 513 |
| 7.7.6.  | Масс-чувствительные сенсоры .....                                                                      | 514 |
| 7.7.7.  | Сенсорные наборы .....                                                                                 | 516 |
| 7.8.    | Биосенсоры .....                                                                                       | 517 |
| 7.8.1.  | Введение .....                                                                                         | 517 |
| 7.8.2.  | Создание биологической поверхности .....                                                               | 521 |
| 7.8.3.  | Подготовка биопреобразования .....                                                                     | 531 |
| 7.8.4.  | Заключение .....                                                                                       | 561 |
| 7.9.    | Иммунный анализ .....                                                                                  | 565 |
| 7.9.1.  | Введение .....                                                                                         | 565 |
| 7.9.2.  | Варианты устройства .....                                                                              | 574 |
| 7.9.3.  | Метки .....                                                                                            | 581 |
| 7.9.4.  | Мешающие влияния .....                                                                                 | 599 |