

**М.В. Шевряков, Г.О. Рябініна, С.М. Іванищук,
М.В. Повстяной**

**АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ.
Якісний аналіз неорганічних
та органічних речовин**

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

**ХЕРСОН
ОЛДІ-ПЛЮС
2017**

УДК 543
ББК 24.4 я 73
А 64

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/11-14589 від 06.10.2015р.)

Рецензенти:

Колупаєв Б.С. – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри фізики Рівненського державного гуманітарного університету, Академік Міжнародної академії ПСН та АН ВО України

Панасенко О.І. – доктор фармацевтичних наук, професор, завідувач кафедри токсикологічної та неорганічної хімії Запорізького державного медичного університету

Прийменко Б.О. – доктор фармацевтичних наук, професор, професор кафедри органічної та біологічної хімії Запорізького державного медичного університету

Шевряков М.В., Рябініна Г.О., Іванищук С.М., Повстяной М.В.

А 64 Аналітична хімія. Якісний аналіз неорганічних та органічних речовин: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / М.В. Шевряков, Г.О. Рябініна, С.М. Іванищук, М.В. Повстяной. – Херсон: Олді-плюс, 2017. –516с.
ISBN 978-966-2393-61-3

Навчальний посібник включає якісний хімічний аналіз неорганічних та органічних сполук, а також методи ідентифікації органічних речовин за фізичними константами та спектральними характеристиками.

В якісному аналізі неорганічних речовин розглядаються методи якісного аналізу катіонів та аніонів, хімічні реакції їх виявлення, аналіз сухих речовин йонної будови.

Якісний аналіз органічних речовин представлений методами елементного аналізу виявлення функціональних груп цих речовин, а також їх ідентифікація за температурами плавлення та кипіння.

У посібнику наводяться методи ідентифікації органічних речовин за інфрачервоними спектрами та спектрами протонного магнітного резонансу.

До кожного розділу дається обґрунтований теоретичний матеріал з відповідної теми.

Навчальний посібник містить інфрачервоні спектри та спектри протонного магнітного резонансу деяких органічних речовин різних класів.

Посібник буде також корисним для магістрантів, аспірантів та викладачів хімічних дисциплін.

ISBN 978-966-2393-61-3

УДК 543
ББК 24.4 я 73

© Шевряков М.В., 2017
© Рябініна Г.О., 2017
© Іванищук С.М., 2017
© Повстяной М.В., 2017

ЗМІСТ

Передмова.....	12
ЧАСТИНА 1. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН.....	14
1. Предмет і задачі якісного аналізу неорганічних речовин.....	14
2. Загальні положення якісного аналізу неорганічних речовин.....	15
2.1. Методи якісного аналізу.....	15
2.2. Системи якісного аналізу катіонів.....	18
2.2.1. Сульфідна система аналізу катіонів.....	18
2.2.2. Амоніачно-фосфатна система аналізу катіонів.....	21
2.2.3. Кислотно-лужна система аналізу катіонів.....	21
2.3. Класифікація аніонів.....	24
2.4. Систематичний та дробний хід аналізу.....	24
3. Апаратура, техніка та правила виконання якісного хімічного аналізу.....	26
4. Якісний аналіз катіонів.....	36
4.1. Аналіз катіонів першої аналітичної групи.....	36
4.1.1. Реакції виявлення катіонів Na^+.....	36
4.1.2. Реакції виявлення катіонів K^+.....	37
4.1.3. Реакції виявлення катіонів NH_4^+.....	41
4.1.4. Аналіз суміші катіонів першої аналітичної групи.....	43
4.2. Аналіз катіонів другої (хлоридної) аналітичної групи.....	44
4.2.1. Реакції виявлення катіонів Ag^+.....	45
4.2.2. Реакції виявлення катіонів Pb^{2+}.....	47
4.2.3. Реакції виявлення катіонів $[\text{Hg}_2]^{2+}$.....	51

4.2.4. Аналіз суміші катіонів другої аналітичної групи.....	54
4.3. Аналіз катіонів третьої (сульфатної) аналітичної групи..	56
4.3.1. Реакції виявлення катіонів Ba^{2+}	57
4.3.2. Реакції виявлення катіонів Sr^{2+}	59
4.3.3. Реакції виявлення катіонів Ca^{2+}	60
4.3.4. Систематичний хід аналізу суміші катіонів третьої аналітичної групи.....	63
4.4. Систематичний хід аналізу суміші катіонів першої, другої та третьої аналітичних груп.....	65
4.4.1. Хід аналізу суміші катіонів I, II, III аналітичних груп за відсутності осаду.....	65
4.4.2. Хід аналізу суміші катіонів I, II, III аналітичних груп за наявності в досліджуваній системі осаду.....	68
4.5. Аналіз катіонів четвертої (амфолітної) аналітичної групи.....	70
4.5.1. Реакції виявлення катіонів Al^{3+}	76
4.5.2. Реакції виявлення катіонів Cr^{3+}	80
4.5.3. Реакції виявлення катіонів Zn^{2+}	85
4.5.4. Реакції виявлення катіонів Sn^{2+}	88
4.5.5. Реакції виявлення катіонів Sn^{4+}	91
4.5.6. Реакції виявлення катіонів As^{3+} та As^{5+}	92
4.5.7. Хід аналізу суміші катіонів четвертої аналітичної групи.....	95
4.6. Аналіз катіонів п'ятої (гідроксидної) аналітичної групи..	97
4.6.1. Реакції виявлення катіонів Fe^{2+}	100
4.6.2. Реакції виявлення катіонів Fe^{3+}	102
4.6.3. Реакції виявлення катіонів Mn^{2+}	104
4.6.4. Реакції виявлення катіонів Bi^{3+}	107
4.6.5. Реакції виявлення катіонів Mg^{2+}	112

4.6.6. Реакції виявлення катіонів Sb^{3+}	115
4.6.7. Реакції виявлення Стибію зі ступенем окиснення +5....	118
4.6.8. Хід аналізу суміші катіонів п'ятої аналітичної групи...	121
4.7. Аналіз катіонів шостої (амоніакатної) аналітичної групи.....	123
4.7.1. Реакції виявлення катіонів Cu^{2+}	125
4.7.2. Реакції виявлення катіонів Co^{2+}	129
4.7.3. Реакції виявлення катіонів Ni^{2+}	132
4.7.4. Реакції виявлення катіонів Hg^{2+}	134
4.7.5. Реакції виявлення катіонів Cd^{2+}	138
4.7.6. Хід аналізу суміші катіонів шостої аналітичної групи дробним методом.....	140
4.8. Аналіз суміші катіонів четвертої, п'ятої та шостої аналітичних груп.....	142
4.8.1. Систематичний хід аналізу суміші катіонів четвертої, п'ятої та шостої аналітичних груп.....	142
4.8.2. Дробний аналіз суміші катіонів четвертої, п'ятої та шостої аналітичних груп.....	147
4.9. Хід аналізу суміші катіонів I-VI аналітичних груп.....	151
4.9.1. Попередні дослідження.....	151
4.9.2. Підготовка досліджуваного розчину до аналізу.....	152
4.9.3. Аналіз осаду з досліджуваного розчину.....	152
4.9.4. Систематичний хід аналізу суміші катіонів I-VI аналітичних груп у розчині.....	153
4.9.5. Дробний хід аналізу суміші катіонів I-VI аналітичних груп.....	158
4.10. Запитання та вправи до розділу «Якісний аналіз катіонів».....	162

5. Якісний аналіз аніонів.....	169
5.1. Класифікація аніонів.....	169
5.2. Загально-аналітичні реакції виявлення аніонів.....	172
5.3. Аналіз аніонів першої аналітичної групи.....	175
5.3.1. Реакції виявлення аніонів SO_4^{2-}.....	175
5.3.2. Реакції виявлення аніонів SO_3^{2-}.....	175
5.3.3. Реакції виявлення аніонів CO_3^{2-}.....	178
5.3.4. Реакції виявлення аніонів PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-.....	179
5.3.5. Реакції виявлення аніонів SiO_3^{2-}.....	182
5.3.6. Реакції виявлення аніонів $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$.....	184
5.3.7. Реакції виявлення аніонів CrO_4^{2-}, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.....	184
5.3.8. Реакції виявлення аніонів $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.....	187
5.4. Аналіз аніонів другої аналітичної групи.....	188
5.4.1. Реакції виявлення аніонів Cl^-.....	188
5.4.2. Реакції виявлення аніонів Br^-.....	189
5.4.3. Реакції виявлення аніонів I^-.....	192
5.4.4. Реакції виявлення аніонів S^{2-}, HS^-.....	195
5.5. Аналіз аніонів третьої аналітичної групи.....	199
5.5.1. Реакції виявлення аніонів NO_3^-.....	199
5.5.2. Реакції виявлення аніонів NO_2^-.....	202
5.5.3. Реакції виявлення аніонів CH_3COO^-.....	204
5.6. Хід аналізу суміші аніонів у розчині.....	205
5.7. Встановлення аніонного складу суміші твердих речовин.....	210
5.8. Дробний метод аналізу аніонів всіх аналітичних груп.....	212
5.9. Запитання та вправи до розділу «Якісний аналіз аніонів».....	220

6. Якісний аналіз сухих речовин.....	223
6.1. Аналіз речовин, розчинних у воді.....	224
6.1.1. Виявлення катіонів.....	225
6.1.2. Виявлення аніонів.....	226
6.2. Аналіз речовин, нерозчинних у воді.....	227
6.3. Аналіз суміші сухих речовин.....	230
ЧАСТИНА 2. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН.....	233
7. Елементний аналіз органічних речовин.....	233
7.1. Попередні дослідження речовин на належність їх до органічних сполук.....	233
7.2. Одночасне виявлення Карбону та Гідрогену в досліджуваній речовині.....	233
7.3. Виявлення у досліджуваній речовині галогенів, Сульфуру та Нітрогену.....	234
7.3.1. Виявлення галогенів в органічних речовинах.....	234
7.3.2. Виявлення Сульфуру в органічних речовинах.....	240
7.3.3. Виявлення Нітрогену в органічних речовинах.....	240
7.4. Виявлення Фосфору в органічних речовинах.....	242
7.5. Виявлення Меркурію в органічних речовинах.....	243
7.6. Виявлення Бору в органічних речовинах.....	245
7.7. Виявлення Арсену в органічних речовинах.....	250
8. Виявлення функціональних груп органічних речовин.....	253
8.1. Виявлення сполук, що мають подвійні зв'язки між атомами Карбону.....	253
8.2. Виявлення сполук, що мають потрійні зв'язки між атомами Карбону.....	256
8.3. Виявлення ароматичних систем.....	258

8.4. Виявлення спиртів.....	259
8.4.1. Реакції виявлення первинних, вторинних і третинних спиртів.....	259
8.5. Виявлення фенолів.....	264
8.6. Виявлення альдегідів і кетонів.....	273
8.7. Виявлення хінонів.....	280
8.8. Виявлення карбонових кислот.....	285
8.9. Виявлення ангідридів карбонових кислот.....	288
8.10. Виявлення естерів.....	289
8.11. Виявлення амідів кислот.....	290
8.12. Виявлення амінів.....	292
8.12.1. Загальні реакції виявлення амінів.....	293
8.12.2. Реакції первинних амінів.....	297
8.12.3. Виявлення третинних амінів.....	300
8.13. Виявлення амінокислот.....	301
8.14. Загальні реакції виявлення вуглеводів.....	311
8.15. Запитання та вправи до розділу «Якісний аналіз органічних речовин».....	318
ЧАСТИНА 3. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ЗА ФІЗИЧНИМИ КОНСТАНТАМИ ТА СПЕКТРАЛЬНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ.....	322
9. Ідентифікація речовин за температурами плавлення і кипіння.....	322
9.1. Визначення температури плавлення (кристалізації).....	322
9.1.1. Методика визначення температури плавлення речовин у капілярах.....	326
9.1.2. Методика визначення температури плавлення речовин на поверхні, що нагрівається.....	328

9.1.3. Застосування кривих кристалізації та кривих плавлення для точного визначення температур плавлення і чистоти речовин.....	329
9.2. Визначення температури кипіння.....	330
9.3. Практичні визначення температур плавлення і кипіння речовин.....	334
10. Застосування інфрачервоної спектроскопії для ідентифікації органічних речовин.....	335
10.1. Теоретичні основи методу.....	335
10.2. Апаратура ІЧ-спектроскопії.....	341
10.3. Підготовка зразка до дослідження.....	344
10.4. Інтерпретація ІЧ-спектрів органічних сполук різних класів.....	346
10.5. Характеристичні групові частоти органічних молекул..	349
10.5.1. Характеристика ІЧ-спектрів вуглеводнів.....	349
10.5.2. Характеристика ІЧ-спектрів спиртів і фенолів.....	354
10.5.3. Характеристика ІЧ-спектрів етерів.....	356
10.5.4. Характеристика ІЧ-спектрів кетонів.....	356
10.5.5. Характеристика ІЧ-спектрів альдегідів.....	358
10.5.6. Характеристика ІЧ-спектрів карбонових кислот.....	359
10.5.7. Характеристика ІЧ-спектрів естерів і лактонів.....	360
10.5.8. Характеристика ІЧ-спектрів ангідридів карбонових кислот.....	362
10.5.9. Характеристика ІЧ-спектрів амідів кислот.....	362
10.5.10. Характеристика ІЧ-спектрів амінів.....	364
10.5.11. Характеристика ІЧ-спектрів амінокислот та їхніх солей.....	365
10.5.12. Характеристика ІЧ-спектрів нітрилів.....	366

10.5.13. Характеристика ІЧ-спектрів сполук, що мають групи $C\equiv N$, $C=N$, $-N=C=O$, $-N=C=S$.....	367
10.5.14. Характеристика ІЧ-спектрів ковалентних сполук, що мають $N-O$-зв'язки.....	367
10.5.15. Характеристика ІЧ-спектрів органічних сполук Сульфуру.....	368
10.5.16. Характеристика ІЧ-спектрів органічних галогенвмісних сполук.....	369
10.5.17. Характеристика ІЧ-спектрів гетероароматичних сполук.....	369
10.5.18. Характеристика ІЧ-спектрів сполук, що мають групи $P-H$, $P-O$.....	370
10.6. Вправи з ІЧ-спектроскопії.....	371
11. Ідентифікація органічних речовин за спектрами протонного магнітного резонансу.....	372
11.1. Теоретичні основи методу ЯМР.....	372
11.2. ПМР-спектри спиртів і фенолів.....	385
11.3. ПМР-спектри карбонових кислот.....	388
11.4. ПМР-спектри нітрогенвмісних сполук.....	389
11.5. ПМР-спектри сульфурвмісних сполук.....	391
11.6. ПМР-спектри галогенвмісних сполук.....	391
11.7. Приклади ідентифікації органічних речовин за ІЧ- та ПМР-спектрами.....	393
11.8. Вправи з ідентифікації органічних речовин.....	404
12. Запитання до розділу « Ідентифікація органічних речовин за фізичними константами та спектральними характеристиками».....	405
ДОДАТКИ.....	411
Додаток 1. Таблиці температур плавлення і кипіння органічних речовин різних класів.....	411

Додаток 2. Таблиця характеристикних смуг поглинання інфрачервоного випромінювання органічних речовин окремих класів.....	423
Додаток 3. Інфрачервоні спектри деяких органічних речовин.....	429
Додаток 4. Таблиці хімічних зсувів та констант спінової взаємодії протонів різних типів.....	460
Додаток 5. Спектри протонного магнітного резонансу деяких органічних речовин.....	464
Додаток 6. Таблиця стандартних окисно-відновних потенціалів реакцій.....	479
Додаток 7. Таблиця добутків розчинності малорозчинних речовин.....	487
Додаток 8. Таблиця констант нестійкості комплексних йонів.....	497
Додаток 9. Кислотно-основні індикатори (рН-індикатори)....	499
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК.....	503
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	513

Передмова

Призначення даного навчального посібника – дати студентам теоретичні знання та практичні вміння ідентифікувати невідомі хімічні досліджувані системи сучасними методами.

Традиційно лабораторні роботи з аналітичної хімії представляються якісним аналізом неорганічних речовин – якісним аналізом катіонів і аніонів у розчинах та аналізом сухих кристалічних речовин йонної будови.

У пропонованому навчальному посібнику з якісного аналізу розглядаються методи виявлення не тільки складу неорганічних речовин, але також і значної кількості органічних речовин як за допомогою хімічних реакцій, так і шляхом ідентифікації речовин за фізичними параметрами і спектральними характеристиками.

Посібник складається з трьох частин.

У першій частині представлено якісний аналіз неорганічних речовин. Наводяться методи якісного аналізу, системи якісного аналізу катіонів. У посібнику застосовано кислотно-лужну систему аналізу катіонів. Розглядаються також системи аналізу аніонів по відношенню їх до катіонів Аргентуму та Барію і по відношенню до окисників та відновників.

У цій частині наводяться схеми якісного аналізу сухих неорганічних речовин різного складу та їхніх сумішей.

У другій частині представлено якісний аналіз органічних речовин.

Якісний аналіз органічних речовин як частина посібників з аналітичної хімії раніше не застосовувався. У курсах органічної хімії були окремі фрагменти виявлення певних класів органічних речовин.

Ми вважаємо, що виявлення органічних речовин як складової частини якісного аналізу повинно включатися в посібник з аналітичної хімії для студентів, які вже освоїли курси загальної та неорганічної хімії, органічної хімії. Такий посібник буде корисним передусім для студентів, що проходять спецкурси з методів аналізу лікарських препаратів, спецкурси екологічного спрямування з вивчення впливу хімічних речовин на довкілля, зокрема на стан здоров'я людей, коли треба ідентифікувати невідому неорганічну чи органічну речовину, а також для студентів рівня вищої освіти «магістр» і аспірантів та викладачів хімічних дисциплін.

У цій частині посібника представлено елементний аналіз органічних речовин, а також хімічні методи виявлення функціональних груп органічних речовин майже всіх класів.

У третій частині посібника представлено методи ідентифікації органічних речовин за фізичними константами та спектральними характеристиками. Зокрема розглядаються теоретичні та практичні основи застосування визначень температур плавлення і кипіння речовин для їх ідентифікації, зв'язок між будовою молекул речовин та цими показниками. Наводяться таблиці температур плавлення і кипіння багатьох органічних речовин.

Розглядаються теоретичні основи та практичне застосування інфрачервоної спектроскопії і спектроскопії ядерного (протонного) магнітного резонансу для ідентифікації органічних речовин, наводяться відповідні таблиці характеристичних смуг поглинання інфрачервоного випромінювання окремих класів органічних сполук, хімічних зсувів протонів різних типів.

У посібнику для закріплення студентами матеріалу наводяться запитання та вправи з якісного аналізу катіонів, аніонів, органічних речовин та методів ідентифікації органічних речовин за фізичними константами та спектральними характеристиками, приклади ідентифікації органічних речовин із застосуванням інфрачервоної спектроскопії та спектроскопії протонного магнітного резонансу.

Єдиного навчального видання, де б розглядався такий комплекс досліджень, раніше не було.

До кожного розділу дається обґрунтований теоретичний матеріал з даної теми.

У додатках наводяться інфрачервоні спектри та спектри протонного магнітного резонансу багатьох органічних сполук, які необхідні для ідентифікації досліджуваних невідомих речовин.

Оскільки при проведенні якісного аналізу речовин дослідник зустрічається з необхідністю знати добутки розчинності речовин, стійкість комплексних сполук, значення редокс-потенціалів систем, у додатках представлені відповідні таблиці цих величин.

Посібник ілюстрований рисунками кристалів різних сполук на підтвердження ідентифікації досліджуваних речовин із застосуванням мікрокристалоскопічного методу аналізу, представлені схеми аналізу речовин та їх сумішей.

Для орієнтації читача в тексті в посібнику є предметний покажчик основних понять і термінів.

У посібнику використана сучасна міжнародна номенклатура і класифікація хімічних речовин, сучасна хімічна термінологія.