МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**И. С. Гриценко, В. В. Болотов, С. В. Колесник,
Е. Н. Свечникова, Т. В. Жукова, Е. Е. Микитенко, Е. В. Дынник,
Н. Ю. Голик, В. П. Мороз,
Т. А. Костина, Ю. С. Колесник,
А. И. Гризодуб, И. С. Терно**

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ
для студентов высших учебных заведений

Издание третье,
переработанное и дополненное

***Под общей редакцией
профессора И. С. ГРИЦЕНКО***

Харьков
НФаУ
«Оригинал»
2017

УДК 543.06(075)
ББК 24.441/442я73
А64

Р е ц е н з е н т ы:

И. А. ЖУРАВЕЛЬ, доктор химических наук, профессор, заведующая кафедрой клинической биохимии и судебно-медицинской токсикологии Харьковской медицинской академии последипломного образования;

Д. А. ЛЕОНТЬЕВ, доктор фармацевтических наук, заместитель директора по научной работе ГП «Украинский научный фармакопейный центр качества лекарственных средств».

Рекомендовано
Министерством образования и науки Украины
(письмо №1/11-5672 от 13.06.2017 г.)

Аналитическая химия : учеб. пособие для студентов вузов
А64 / И. С. Гриценко, В. В. Болотов, С. В. Колесник [и др.]; под общ. ред. И. С. Гриценко. — 3-е изд., перераб. и доп. — Х. : НФаУ; Оригинал, 2017. — 504 с. : ил.
ISBN 978-966-615-522-4 (НФаУ).
ISBN 978-966-649-125-4 (Оригинал).

В пособии описаны виды анализа результатов химического эксперимента: качественный, количественный, инструментальный и статистиче-ский. В нем учтены требования Государственной фармакопеи Украины относительно использования молярной концентрации титрованных растворов; реакций идентификации; реакций, с помощью которых контролируют чистоту и допустимые пределы примесей; а также статистического анализа результатов химического эксперимента.

Для специальности 226 «Фармация» (образовательные программы «Фармация», «Клиническая фармация», «Технология парфюмерно-косметических средств»).

УДК 543.06(075)
ББК 24.441/442я73

© Болотов В. В., Гайдукевич А. Н., Свечникова Е. Н., Сыч Ю. В., Жукова Т. В., Микитенко Е. Е., Дынник Е. В., Зареченский М. А., Колесник С. В., 2001
© Гриценко И. С., Болотов В. В., Колесник С. В., Свечникова Е. Н., Жукова Т. В., Микитенко Е. Е., Дынник Е. В., Голик Н. Ю., Мороз В. П., Костина Т. А., Колесник Ю. С., Гризодуб А. И., Терно И. С., 2017, с изменениями и дополнениями
© Национальный фармацевтический университет, 2017

ISBN 978-966-615-522-4
ISBN 978-966-649-125-4

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие ... 3

Раздел I. КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ... 5

Способы выполнения аналитических реакций ... 6
Условия выполнения и чувствительность аналитических реакций ... 7
Посуда и оснащение химической лаборатории ... 10
Правила и техника выполнения отдельных аналитических операций ... 11
Нагревание и выпаривание ... 12
Осаждение и фильтрование осадков ... 13
Центрифугирование, промывание и растворение осадков ... 13
Химические реактивы и правила обращения с ними ... 14
Правила работы и техника безопасности в лаборатории аналитической химии ... 15
Общие правила ... 15
Работа с кислотами и щелочами ... 17
Работа с вредными и ядовитыми веществами ... 17
Работа с горючими веществами ... 18
Работа с веществами, образующими взрывоопасные смеси ... 18
Первая помощь при несчастных случаях ... 18

КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ... 19
Качественный анализ катионов ... 20
Катионы I аналитической группы K^+, Na^+, Li^+, NH_4^+ ... 22
Общая характеристика ... 22
Реакции катионов I аналитической группы ... 23
Систематический ход анализа смеси катионов I аналитической группы ... 30
Контрольные вопросы ... 33
Ситуационные задачи ... 33
Лабораторная работа ... 33
Катионы II аналитической группы Ag^+, Hg_2^{2+}, Pb^{2+} ... 40
Общая характеристика ... 40
Реакции катионов II аналитической группы ... 40
Систематический ход анализа смеси катионов II аналитической группы ... 46
Контрольные вопросы ... 47
Ситуационные задачи ... 48
Лабораторная работа ... 48
Катионы III аналитической группы Ba^{2+}, Sr^{2+}, Ca^{2+} ... 50
Общая характеристика ... 50
Реакции катионов III аналитической группы ... 51
Систематический ход анализа смеси катионов III аналитической группы ... 55
Контрольные вопросы ... 58
Ситуационные задачи ... 58
Лабораторная работа ... 58

Систематический ход анализа смеси катионов I—III аналитических групп ... 61
Ситуационные задачи ... 67
Лабораторная работа ... 67
Катионы IV аналитической группы Al^{3+}, Cr^{3+}, Zn^{2+}, Sn^{2+}, Sn(IV), As(III), As(V) ... 70
Общая характеристика ... 70
Реакции катионов IV аналитической группы ... 71
Систематический ход анализа смеси катионов IV аналитической группы ... 77
Контрольные вопросы ... 82
Ситуационные задачи ... 82
Лабораторная работа ... 82
Катионы V аналитической группы Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Sb(III), Sb(V), Bi^{3+} ... 85
Общая характеристика ... 85
Реакции катионов V аналитической группы ... 86
Систематический ход анализа смеси катионов V аналитической группы ... 93
Контрольные вопросы ... 97
Ситуационные задачи ... 97
Лабораторная работа ... 97
Катионы VI аналитической группы Cu^{2+}, Hg^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+} ... 102
Общая характеристика ... 102
Реакции катионов VI аналитической группы ... 102
Систематический ход анализа смеси катионов VI аналитической группы ... 106
Контрольные вопросы ... 109
Ситуационные задачи ... 110
Лабораторная работа ... 110
Анализ смеси катионов ... 112
Систематический ход анализа смеси катионов I—VI аналитических групп ... 112
Анализ смеси катионов без осадка ... 113
Анализ смеси катионов с осадком ... 121
Контрольные вопросы ... 129
Ситуационные задачи ... 130
Лабораторная работа ... 130
Качественный анализ анионов ... 135
Реакции анионов I аналитической группы ... 136
Реакции анионов II аналитической группы ... 146
Реакции анионов III аналитической группы ... 149
Реакции анионов органических кислот ... 153
Анализ смеси анионов ... 157
Особые случаи анализа смеси анионов ... 158
Анализ смеси S^{2-}-, $S_2O_3^{2-}$-, SO_4^{2-}-, SO_3^{2-} -ионов ... 158
Анализ смеси Cl^--, Br^--, I^--ионов ... 161
Анализ смеси NO_3^--, NO_2^--ионов ... 163
Контрольные вопросы ... 165
Ситуационные задачи ... 166
Лабораторная работа ... 166
Анализ смеси неизвестного состава ... 180
Предварительные наблюдения и испытания ... 180

Перевод смеси в раствор ... 182
Анализ катионов ... 183
Анализ анионов ... 183
Контрольные вопросы ... 184
Ситуационные задачи ... 184
Лабораторная работа ... 185

ЗАДАЧИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ОСНОВАМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ ... 188
Протолитические равновесия в растворах кислот и оснований ... 188
Задачи для самостоятельной работы ... 190
Равновесия в буферных растворах ... 191
Задачи для самостоятельной работы ... 192
Равновесия в растворах гидролизующихся солей ... 193
Задачи для самостоятельной работы ... 197
Равновесия в растворах комплексных соединений ... 198
Задачи для самостоятельной работы ... 199
Равновесия в гетерогенных системах ... 199
Задачи для самостоятельной работы ... 201

Раздел II. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ... 203

Предмет и задачи количественного анализа ... 203
Классификация методов количественного анализа ... 203
ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА ... 204
Методы осаждения ... 205
Методы отгонки ... 206
Методы выделения ... 206
Весы и техника взвешивания ... 207
Оборудование и техника выполнения основных операций ... 208
Расчеты в методах гравиметрического анализа ... 211
Контрольные вопросы ... 213
Лабораторные работы ... 214
ТИТРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ... 221
Классификация по типам химических реакций ... 222
Классификация по способу титрования ... 222
Техника и точность анализа ... 223
Измерение объемов растворов ... 225
Расчеты в титриметрических методах анализа ... 228
Общие положения титриметрии ... 228
Способы выражения концентрации растворов ... 230
Расчетные формулы в титриметрическом анализе ... 232
Общие правила оформления лабораторного журнала ... 237
Лабораторные работы ... 238
Кислотно-основное титрование (метод нейтрализации) ... 240
Лабораторные работы ... 242
Контрольные вопросы ... 250
Кислотно-основное титрование в неводных средах ... 251
Лабораторные работы ... 256
Контрольные вопросы ... 261
Титриметрические методы осаждения (осадительное титрование) ... 262

Аргентометрия ... 262
Метод Мора ... 263
Лабораторные работы ... 264
Метод Фаянса — Ходакова ... 266
Лабораторные работы ... 267
Тиоцианатометрия (роданометрия) ... 269
Метод Фольгарда ... 269
Лабораторные работы ... 270
Меркурометрия ... 273
Лабораторные работы ... 274
Контрольные вопросы ... 276
Методы комплексообразования (комплексиметрия) ... 277
Меркуриметрическое титрование ... 278
Лабораторные работы ... 279
Комплексонометрия (трилонометрия) ... 281
Лабораторные работы ... 283
Контрольные вопросы ... 286
Окислительно-восстановительное титрование ... 286
Перманганатометрия ... 292
Лабораторные работы ... 293
Бромато метрия ... 298
Лабораторные работы ... 299
Хроматометрия ... 302
Лабораторные работы ... 302
Йодометрия ... 304
Титранты метода ... 305
Условия йодометрических определений ... 308
Лабораторные работы ... 309
Йодхлориметрия ... 317
Лабораторные работы ... 319
Цериметрия ... 324
Лабораторные работы ... 325
Нитритометрия ... 327
Лабораторные работы ... 329
Контрольные вопросы ... 332

Раздел III. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ... 336

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ... 336
Абсорбционные оптические методы анализа ... 337
Атомно-абсорбционная пламенная спектрометрия (спектрофотометрия пламени) ... 339
Теоретические вопросы ... 342
Лабораторные работы ... 342
Молекулярный абсорбционный анализ ... 344
Колориметрия ... 345
Фотоколориметрия ... 345
Спектрофотометрия ... 347
Методика выполнения количественных определений методами фотоколориметрии и спектрофотометрии ... 352
Теоретические вопросы ... 354

Лабораторные работы ... 355
Контрольные вопросы ... 358
Эмиссионные методы анализа ... 359
Флюориметрия ... 359
Теоретические вопросы ... 363
Лабораторные работы ... 363
Рефрактометрия ... 365
Теоретические вопросы ... 369
Лабораторные работы ... 369
Контрольные вопросы ... 374
Поляриметрия ... 375
Теоретические вопросы ... 378
Лабораторные работы ... 378
Контрольные вопросы ... 380
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ... 380
Кондуктометрия ... 381
Классификация кондуктометрических методов анализа ... 384
Методика кондуктометрических определений ... 386
Теоретические вопросы ... 389
Лабораторные работы ... 389
Контрольные вопросы ... 392
Потенциометрия ... 392
Классификация потенциометрических методов анализа ... 394
Аппаратура ... 396
Методика потенциометрических определений ... 397
Теоретические вопросы ... 398
Лабораторные работы ... 399
Контрольные вопросы ... 402
Вольтамперометрия ... 403
Качественный полярографический анализ ... 406
Количественный полярографический анализ ... 407
Аппаратура ... 408
Этапы полярографических определений ... 409
Теоретические вопросы ... 409
Лабораторные работы ... 410
Амперометрическое титрование ... 412
Аппаратура ... 414
Этапы выполнения амперометрического титрования ... 414
Теоретические вопросы ... 415
Лабораторные работы ... 415
Контрольные вопросы ... 417
ХРОМАТОГРАФИЯ ... 418
Распределительная хроматография ... 419
Распределительная хроматография на бумаге ... 419
Распределительная хроматография в тонком слое сорбента ... 420
Аппаратура ... 421
Методика проведения хроматографических определений ... 421
Лабораторные работы ... 422
Осадочная хроматография ... 423
Лабораторные работы ... 423
Ионообменная хроматография ... 424

Теоретические вопросы ... 426
Лабораторные работы ... 426
Контрольные вопросы ... 427

Раздел IV. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ... 429

Принятые обозначения ... 429
Выборка ... 431
Среднее значение и дисперсия ... 432
Проверка однородности выборки. Исключение выпадающих значений вариант ... 434
Доверительные интервалы и оценка их величины ... 435
Односторонние и двусторонние доверительные интервалы ... 438
Метрологические характеристики методики анализа ... 439
Объединение выборок ... 440
Проверка наличия значимой систематической погрешности ... 443
Сравнение двух методик анализа по воспроизводимости ... 444
Метрологическая характеристика среднего результата ... 445
Сравнение средних результатов двух выборок ... 447
Интерпретация результатов анализа, полученных с помощью метрологически аттестованной методики ... 449
Оценка сходимости результатов параллельных измерений ... 449
Определение необходимого числа параллельных измерений ... 450
Гарантия качества продукции ... 450
Расчет и статистическая оценка параметров линейной зависимости ... 451
Последовательная схема статистического анализа результатов химических определений ... 457
Примеры ... 460
Расчет неопределенности функции нескольких случайных переменных ... 470
Линейная модель ... 472
Подход Уэлча-Саттертуэйта ... 474
Примеры расчетов неопределенности функции нескольких переменных ... 475
Расчет неопределенности испытания готового лекарственного средства методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) ... 475
Прогноз неопределенности спектрофотометрического анализа готового лекарственного средства ... 480
Расчет среднего значения нескольких неравноточных выборок ... 481

Справочный материал ... 483

Литература ... 494

Навчальне видання

ГРИЦЕНКО Іван Семенович
БОЛОТОВ Валерій Васильович
КОЛІСНИК Сергій Вікторович
СВЄЧНІКОВА Олена Миколаївна
ЖУКОВА Тамара Володимирівна
МИКИТЕНКО Олена Євгенівна
ДИННИК Катерина Віталіївна
ГОЛІК Микола Юрійович
МОРОЗ Валерій Петрович
КОСТІНА Тетяна Анатоліївна
КОЛІСНИК Юлія Сергіївна
ГРИЗОДУБ Олександр Іванович
ТЕРНО Ірина Станіславівна

АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ

Навчальний посібник
для студентів вищих навчальних закладів

Видання третє, перероблене і доповнене

Російською мовою

За загальною редакцією *І. С. ГРИЦЕНКА*

Редактор *Олена Трефілова*
Художній редактор *Гліб Кіреєв*
Технічний редактор *Андрій Похила*
Коректори *Лора Мокроусова і Зінаїда Рикова*

Формат 60×90/16. Ум.-друк. арк. 31,50.
Обл.-вид. арк. 34,23. Тираж 300 пр. Зам. №17-07.

Національний фармацевтичний університет.
61002, Харків, вул. Пушкінська, 53.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серії ДК № 3420 від 11.03.2009.

Харківське комунальне видавництво «Оригінал».
61022, Харків, пл. Свободи, 5, Держпром, 6-й під'їзд, 6-й поверх.
Тел.: (057) 705-50-04. E-mail: original_kharkiv@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серії ДК № 4071 від 20.05.2011.

Друк ФО-П Здоренко Михайло Іванович.
61136, Харків, вул. Гвардійців Широнівців, 20, корп. В.
Свідоцтво про державну реєстрацію № 245988 від 27.07.2007.

Аналітична хімія [Текст рос. мовою] : навч. посіб. для студ.
А64 вищ. навч. закладів / І. С. Гриценко, В. В. Болотов, С. В. Колісник [та ін.] ; за заг. ред. І. С. Гриценка. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Х. : НФаУ ; Оригінал, 2017. — 504 с. : іл.

ISBN 978-966-615-522-4 (НФаУ).

ISBN 978-966-649-125-4 (Оригинал).

У посібнику описано види аналізу хімічного експерименту: якісний, кількісний, інструментальний і статистичний. У ньому враховано вимоги Державної фармакопеї України відносно використання молярної концентрації титрованих розчинів; реакцій ідентифікації; реакцій, за допомогою яких контролюють чистоту та допустимі межі домішок; а також статистич-ного аналізу результатів хімічного експерименту.

Для спеціальності 226 «Фармація» (освітні програми «Фармація», «Клінічна фармація», «Технологія парфумерно-косметичних засобів»).

УДК 543.06(075)
ББК 24.441/442я73