

БАКАЛАВР. ПРИКЛАДНОЙ КУРС



Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова

# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Книга 2

Физико-химические методы анализа

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ

2-е издание



КУБАНСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

**Юрайт**  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)

УМО ВО рекомендует  
УМО рекомендует



КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова**

# **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

## **КНИГА 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

**УЧЕБНИК И ПРАКТИКУМ  
ДЛЯ ПРИКЛАДНОГО БАКАЛАВРИАТА**

2-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно–методическим отделом высшего образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по агрономическим и естественнонаучным направлениям и специальностям*

*Допущено Учебно–методическим объединением вузов Российской Федерации по агрономическому образованию в качестве учебника для подготовки бакалавров, обучающихся по направлениям 110100 «Агрохимия и агропочвоведение», 110400 «Агрономия», 110500 «Садоводство», 110900 «Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции»*

**Книга доступна в электронной библиотечной системе  
[biblio-online.ru](http://biblio-online.ru)**

**Москва ■ Юрайт ■ 2016**

УДК 543(075.8)  
ББК 24.2я73  
А46

**Авторы:**

**Александрова Эльвира Александровна** — доктор химических наук, профессор кафедры неорганической и аналитической химии факультета агрохимии и почвоведения Кубанского государственного аграрного университета;

**Гайдукова Нина Георгиевна** — кандидат химических наук, доцент кафедры неорганической и аналитической химии факультета агрохимии и почвоведения Кубанского государственного аграрного университета.

**Рецензенты:**

*Темердашев З. А.* — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой аналитической химии Кубанского государственного университета;

*Смарыгин С. Н.* — кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой неорганической и аналитической химии Российского государственного аграрного университета — МСХА им. К. А. Тимирязева;

*Доценко С. П.* — доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой физической химии Кубанского государственного аграрного университета;

*Кононенко Н. А.* — доктор химических наук, профессор Кубанского государственного университета;

*Есаулко А. Н.* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой агрохимии Ставропольского государственного университета.

**Александрова, Э. А.**

А46

Аналитическая химия. В 2 кн. Кн. 2. Физико-химические методы анализа : учебник и практикум для прикладного бакалавриата / Э. А. Александрова, Н. Г. Гайдукова. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 355 с. : [4] ил. — Серия : Бакалавр. Прикладной курс.

ISBN 978-5-9916-6059-4 (кн. 2)

ISBN 978-5-9916-6058-7

В книге 2 изложены основы современной теории и практики электрохимических, спектральных и хроматографических методов анализа агрономических объектов. Дано краткое описание радиометрических и термических методов, рефрактометрии, поляриметрии, электронно-парамагнитного и ядерно-магнитного резонанса. Приведены методики анализа почв, удобрений, природных вод, растительного материала. В конце глав даны примеры расчетов типовых задач, контрольные вопросы и задания.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

*Для студентов агрономических и биологических специальностей высших учебных заведений. Полезно студентам нехимических специальностей, а также сотрудникам лабораторий АПК и природоохранных учреждений, научным работникам и аспирантам, связанным с выполнением химических анализов.*

УДК 543(075.8)  
ББК 24.2я73

ISBN 978-5-9916-6059-4 (кн. 2)  
ISBN 978-5-9916-6058-7

© Александрова Э. А., Гайдукова Н. Г., 2011  
© Александрова Э. А., Гайдукова Н. Г., 2014,  
с изменениями  
© ООО «Издательство Юрайт», 2016

---

# ОГЛАВЛЕНИЕ

●

Предисловие .....	3
<b>Часть четвертая. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА</b> .....	7
<b>Раздел I. ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ</b> .....	7
<b>Глава 21. Общая характеристика физико-химических методов анализа</b> .....	7
21.1. Классификация методов анализа .....	7
21.2. Основные методы анализа сельскохозяйственных объектов и агроэкологии .....	9
21.3. Метрологические характеристики инструментальных методов анализа .....	11
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	15
<b>Глава 22. Физико-химические методы анализа и аналитический контроль объектов окружающей среды</b> .....	16
22.1. Задачи физико-химических методов в сельскохозяйственном анализе .....	16
22.2. Физико-химические методы анализа — главная инструментальная база контроля качества сельскохозяйственной продукции и мониторинга состояния агроэкологических систем .....	18
22.3. Требования ГОСТ к методам анализа объектов окружающей среды .....	20
22.4. Перспективы развития физико-химических методов анализа .....	21
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	22
<b>Раздел II. СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА</b> .....	23
<b>Глава 23. Атомная спектроскопия</b> .....	24
23.1. Происхождение атомных спектров .....	24
23.2. Атомно-эмиссионный спектральный анализ (АЭС) .....	28
23.2.1. Атомизаторы .....	28
23.2.2. Факторы, влияющие на интенсивность излучения .....	32
23.2.3. Метрологические характеристики атомно-эмиссионного метода .....	39
23.2.4. Качественный и количественный эмиссионный спектральный анализ .....	40
23.2.5. Аппаратура и техника выполнения работ в атомно-эмиссионном спектральном анализе .....	43

23.2.6. Лабораторные работы по эмиссионной пламенной фотометрии .....	50
<i>Работа 23.2.6.1.</i> Определение калия в почвенной вытяжке методом градуировочного графика .....	50
<i>Работа 23.2.6.2.</i> Определение калия и натрия в пробах водопроводной воды методом добавок .....	52
23.3. Атомно-абсорбционный спектральный анализ (ААС) .....	55
23.3.1. Теоретические основы ААС .....	55
23.3.2. Источники излучения в ААС и метрологические характеристики метода .....	60
23.3.3. Техника атомно-абсорбционного анализа .....	63
23.3.4. Лабораторные работы по атомно-абсорбционной спектроскопии .....	66
<i>Работа 23.3.4.1.</i> Определение подвижных форм меди, цинка и свинца в почвенной вытяжке .....	66
<i>Работа 23.3.4.2.</i> Определение магния в присутствии фосфат-ионов .....	69
23.4. Рентгеновская спектromетрия .....	73
23.4.1. Типы рентгеновских излучений .....	73
23.4.2. Источники ионизации атома в рентгеновской спектроскопии .....	74
23.4.3. Классификация методов рентгеновской спектromетрии .....	75
23.4.4. Рентгенофлуоресцентный спектральный анализ (РФА) .....	77
23.4.5. Применение РФА в агрохимическом анализе .....	79
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	79
<b>Глава 24. Молекулярно-абсорбционный спектральный анализ</b> .....	81
24.1. Происхождение молекулярных спектров поглощения .....	81
24.2. Законы поглощения света .....	82
24.2.1. Закон Бугера-Ламберта-Бера .....	83
24.2.2. Закон аддитивности .....	87
24.3. Методы определения концентрации веществ, поглощающих излучение в видимой и УФ областях спектра .....	88
24.3.1. Методы анализа единичных проб .....	89
24.3.2. Методы градуировочного графика .....	91
24.3.3. Дифференциальная спектрофотометрия .....	93
24.3.4. Фотометрическое титрование .....	95
24.3.5. Источники ошибок при фотометрировании .....	97
24.4. Аппаратура фотометрии .....	98
24.4.1. Общая характеристика .....	98
24.4.2. Правила работы на спектрофотометре «UNICO 1201» («ЮНИКО») .....	100
24.4.3. Колориметр фотоэлектрический концентрационный КФК-3 .....	104
24.5. Лабораторные работы в спектрофотометрии и фотоколориметрии .....	108
<i>Работа 24.5.1.</i> Определение содержания меди(II) в растворе по значению молярного показателя поглощения .....	108
<i>Работа 24.5.2.</i> Определение железа(III) в растворе методом градуировочного графика .....	111
<i>Работа 24.5.3.</i> Спектрофотометрическое определение марганца в почве .....	115

<i>Работа 24.5.4.</i> Определение алюминия методом сравнения .....	118
<i>Работа 24.5.5.</i> Спектрофотометрическое определение содержания гумуса в почвенном образце .....	120
24.6. Спектрометрия инфракрасная и комбинационного рассеяния .....	123
24.6.1. Инфракрасная (ИК) спектрометрия .....	123
24.6.2. Спектрометрия комбинационного рассеяния (КР) .....	127
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	129
<b>Глава 25. Спектроскопия рассеяния, отражения и флуоресценции</b> .....	130
25.1. Теоретические основы спектроскопии рассеяния .....	130
25.2. Фототурбидиметрия .....	132
25.3. Нефелометрический метод анализа .....	133
25.4. Молекулярная флуоресценция .....	134
25.5. Спектроскопия диффузного отражения (СДО) .....	138
25.6. Лабораторные работы .....	140
<i>Работа 25.6.1.</i> Турбидиметрическое определение хлорид-ионов в воде .....	140
<i>Работа 25.6.2.</i> Нефелометрическое определение концентрации золя гидроксида железа в почвенной вытяжке .....	142
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	145
<b>Раздел III. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА</b> .....	146
<b>Глава 26. Общие вопросы</b> .....	146
26.1. Понятия и термины электрохимии .....	146
26.2. Классификация электрохимических методов анализа .....	147
26.3. Электрохимическая ячейка .....	147
26.4. Обратимость электрохимических реакций .....	151
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	152
<b>Глава 27. Потенциометрический анализ</b> .....	153
27.1. Сущность метода, область его применения .....	153
27.2. Потенциометрическое титрование .....	154
27.3. Аппаратура потенциометрии .....	156
27.3.1. Индикаторные электроды .....	156
27.3.2. Измерительные устройства потенциометрии .....	160
27.4. Лабораторные работы .....	167
<i>Работа 27.4.1.</i> Определение рН и ОВП почвенных вытяжек .....	167
<i>Работа 27.4.2.</i> Ионметрический метод определения содержания магния в почве .....	169
<i>Работа 27.4.3.</i> Ионметрическое определение содержания калия в почве .....	172
<i>Работа 27.4.4.</i> Ионметрическое определение нитрат-ионов в почвенной вытяжке .....	174
<i>Работа 27.4.5.</i> Определение общей кислотности почвенных растворов методом потенциометрического титрования .....	177
<i>Работа 27.4.6.</i> Определение карбонатов и гидрокарбонатов в водной вытяжке засоленных почв или в грунтовых водах методом потенцио- метрического титрования .....	180
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	183

<b>Глава 28. Кондуктометрический анализ</b> .....	184
28.1. Основные понятия и термины кондуктометрии .....	184
28.2. Прямая кондуктометрия .....	188
28.3. Кондуктометрическое титрование .....	190
28.4. Аппаратура для кондуктометрических измерений .....	193
28.4.1. Кондуктометр «ОК 102/1» .....	193
28.4.2. Кондуктометр типа «Эксперт-002» .....	195
28.5. Лабораторные работы .....	196
<i>Работа 28.5.1. Определение содержания сульфат-ионов в водных растворах методом кондуктометрического титрования</i> .....	196
<i>Работа 28.5.2. Кондуктометрический метод определения содержания хлорид-ионов в грунтовых водах</i> .....	199
<i>Работа 28.5.3. Кондуктометрический метод определения ионов и общей минерализации воды</i> .....	201
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	204
<b>Глава 29. Вольтамперометрические методы анализа</b> .....	205
29.1. Основы вольтамперометрии (полярографии) .....	205
29.2. Классическая полярография .....	207
29.3. Метрологические характеристики полярографических методов анализа .....	209
29.4. Методы вольтамперометрии .....	209
29.5. Качественный и количественный полярографический анализ .....	213
29.6. Аппаратура вольтамперометрии .....	216
29.7. Лабораторные работы .....	218
<i>Работа 29.7.1. Полярографический метод определения кадмия в зерне и продуктах его переработки</i> .....	218
<i>Работа 29.7.2. Определение содержания Cu(II), Pb(II) и Cd(II) методом инверсионной вольтамперометрии</i> .....	221
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	223
<b>Раздел 4. ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА (ХРОМАТОГРАФИЯ)</b> .....	224
<b>Глава 30. Общие вопросы хроматографии</b> .....	224
30.1. Сущность хроматографического анализа .....	224
30.2. Классификация хроматографических методов .....	225
30.3. Теоретические основы хроматографии .....	227
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	232
<b>Глава 31. Газовая хроматография</b> .....	232
31.1. Виды газовой хроматографии .....	232
31.2. Детекторы в газовой хроматографии .....	235
31.3. Количественная оценка хроматограмм .....	239
31.4. Лабораторная работа. Анализ смеси органических растворителей методом газожидкостной хроматографии .....	240
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	243

<b>Глава 32. Жидкостная хроматография</b> .....	244
32.1. Классификация методов жидкостной хроматографии .....	244
32.2. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) .....	245
32.3. Ионнообменная хроматография (ИОХ) .....	248
32.4. Плоскостная хроматография (бумажная и тонкослойная) .....	255
32.5. Лабораторные работы .....	259
<i>Работа 32.5.1. Ионнообменный метод определения нитратов в азотных удобрениях</i> .....	259
<i>Работа 32.5.2. Определение подвижного цинка в почвах с применением анионитов</i> .....	262
<i>Работа 32.5.3. Разделение катионов меди и кадмия методом тонкослойной хроматографии</i> .....	265
<i>Работа 32.5.4. Разделение, качественное и количественное определение аминокислот методом бумажной хроматографии</i> .....	267
<i>Работа 32.5.5. Определение общего содержания анионов в водной вытяжке почвы с применением катионитов</i> .....	270
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	273
<b>Раздел 5. РАЗЛИЧНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В АГРОХИМИИ И ПОЧВОВЕДЕНИИ</b> .....	273
<b>Глава 33. Методы анализа, основанные на радиоактивности</b> .....	273
33.1. Теоретические основы радиометрических методов .....	274
33.2. Методы детектирования и измерения радиоактивного излучения .....	279
33.3. Радиоактивационный анализ .....	283
33.4. Нейтронно-активационный анализ объектов окружающей среды .....	285
33.5. Методы определения содержания химических элементов по излучению их естественных радиоактивных изотопов .....	288
33.6. Мессбауэровская спектроскопия .....	290
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	292
<b>Глава 34. Термический анализ</b> .....	292
34.1. Общие положения .....	292
34.2. Термогравиметрия .....	293
34.3. Термический анализ и дифференциальный термический анализ .....	295
34.4. Термотитриметрия .....	300
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	302
<b>Глава 35. Масс-спектрометрия</b> .....	302
35.1. Общие понятия .....	302
35.2. Техника эксперимента .....	304
35.3. Хромато-масс-спектрометрия .....	307
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	310
<b>Глава 36. Рефрактометрический и поляриметрический методы анализа</b> .....	310
36.1. Основные понятия рефрактометрического метода .....	310
36.2. Основные понятия поляриметрии .....	312
36.3. Правила работы на ручном рефрактометре RR-11 (рис. 36.5) .....	314
36.4. Правила работы на поляриметре-сахариметре СУ-4 (рис. 36.6) .....	315
36.5. Лабораторные работы .....	316



<i>Работа 36.5.1. Определение содержания сахара в растительных образцах на рефрактометре RR-11</i> .....	316
<i>Работа 36.5.2. Поляриметрическое определение содержания сахарозы (глюкозы) в исследуемом растворе</i> .....	317
<i>Работа 36.5.3. Поляриметрическое определение содержания сахара в растительных образцах</i> .....	319
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	320
<b>Глава 37. Радиоспектроскопические методы</b> .....	321
37.1. Понятия и термины .....	321
37.2. Электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) .....	323
37.3. Ядерный магнитный резонанс (ЯМР) .....	324
<i>Контрольные вопросы и задания</i> .....	333
<i>Словарь понятий и терминов (гlossарий)</i> .....	334
<i>Библиографический список литературы</i> .....	340
<i>Приложение</i> .....	343