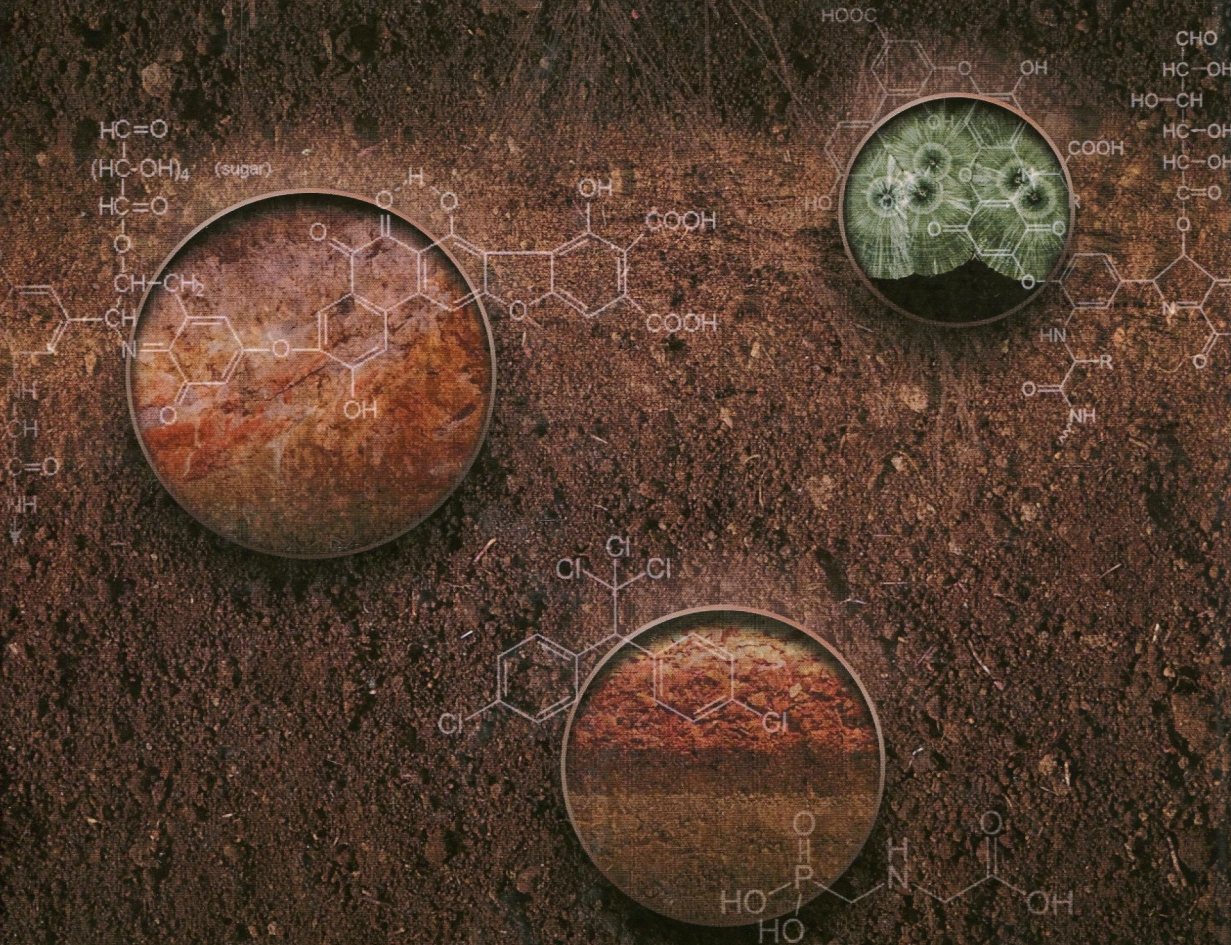


М. Пансю, Ж. Готеру

Справочник

АНАЛИЗ ПОЧВЫ

Минералогические, органические
и неорганические методы анализа



Марк Пансю, Жак Готеру

АНАЛИЗ ПОЧВЫ

Справочник

Минералогические, органические
и неорганические методы анализа

Перевод с английского языка 2-го издания
под редакцией Д. А. Панкратова

ББК 40.3
УДК 543.6
П16

М. Пансю, Ж. Готеру

П16 Анализ почвы. Справочник. Минералогические, органические и неорганические методы анализа : пер. 2-го англ. изд. под ред. Д. А. Панкратова — СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. — 800 с., ил.

ISBN 978-5-91884-060-3
ISBN 978-3-540-31210-9 (англ.)

Приведены минералогические, органические и неорганические методы анализа, и физические методы обработки образцов. Аналитические методики соответствуют требованиям стандартов на методы анализа и могут использоваться при контроле состава и качества почв. Для каждого метода даны принципы, физические и химические основы, преимущества, недостатки и область его применения.

Представленные основные методы анализа (ВЭЖХ, ТГА, АЭМ-ИСП, МС-ИСП и др.) позволят специалистам использовать справочник как при работе в полевых условиях, так и при проведении фундаментальных и прикладных исследований.

Справочник предназначен для сотрудников профильных лабораторий, служб экологического контроля и мониторинга, профильных институтов при проведении анализа окружающей среды. Он будет полезен агрономам, геологам, климатологам, недропользователям, специалистам по гражданскому и промышленному строительству, служб водоканалов, ЦЛАТИ, исследователям и студентам профильных специальностей.

ББК 40.3
УДК 543.6

All rights reserved. Authorized translation from English language edition published by Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Информация, содержащаяся в данной книге, получена из источников, рассматриваемых издательством как надежные. Тем не менее, имея в виду возможные человеческие или технические ошибки, издательство не может гарантировать абсолютную точность и полноту приводимых сведений и не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-3-540-31210-9 (англ.)
ISBN 978-5-91884-060-3

© 2006, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
© ЦОП «Профессия», 2014

Перевод оформление: ЦОП «Профессия», 2014

Оглавление

Предисловие к русскому изданию	18
Предисловие	20

Часть 1. Минералогический анализ почв

Глава 1. Определение влагосодержания почв и потерь при прокаливании	25
1.1. Введение	25
1.2. Определение влагосодержания при 105 °С (H ₂ O ⁻)	26
1.2.1. Основные положения	26
1.2.2. Материалы	28
1.2.3. Образцы	28
1.2.4. Методика	28
1.2.5. Примечания	29
1.3. Определение потерь при прокаливании при 1000 °С (H ₂ O ⁺)	29
1.3.1. Введение	29
1.3.2. Основные положения	32
1.3.3. Оборудование	32
1.3.4. Методика выполнения	32
1.3.5. Обработка результатов	32
1.3.6. Примечания	33
Использованная литература	33
Глава 2. Анализ гранулометрического состава	35
2.1. Введение	35
2.1.1. Гранулометрический состав в почвоведении	35
2.1.2. Основные положения	37
2.1.3. Закон седиментации	38
2.1.4. Условия применения закона Стокса	46
2.2. Стандартные методы	48
2.2.1. Предварительная обработка образцов	48
2.2.2. Суспендирование и диспергирование частиц	52
2.2.3. Пипеточный метод согласно Робинсону—Кону или Андреасену	55
2.2.4. Метод определения плотности при погружении ареометра на различную глубину	62
2.2.5. Метод определения плотности при погружении ареометра на фиксированную глубину	66
2.2.6. Анализ гранулометрического состава песка	67
2.3. Автоматизированное оборудование	68
2.3.1. Введение	68
2.3.2. Седиментационный анализ при прямом использовании гравитационного поля	69

2.3.3.	Методы, использующие принцип ускоренной седиментации	71
2.3.4.	Методы, использующие рассеяние и дифракцию лазерного излучения	72
2.3.5.	Методы, использующие оптические и электрические свойства...	72
2.3.6.	Методы, использующие прямое наблюдение частиц	73
2.3.7.	Методы, использующие электропроводные свойства материалов	74
	Использованная литература	74
	Дополнительная литература	75
Глава 3.	Фракционирование коллоидных систем	79
3.1.	Введение	79
3.2.	Фракционирование путем непрерывного центрифугирования	80
3.2.1.	Основные положения	80
3.2.2.	Теоретические основы	82
3.2.3.	Оборудование и реактивы	86
3.2.4.	Методика	87
3.3.	Предварительная обработка экстрагированных фаз	92
	Использованная литература	92
Глава 4.	Характеристика минералогического состава методом рентгеновской дифрактометрии	94
4.1.	Введение	94
4.1.1.	Рентгеновская дифракция и минералогия	94
4.1.2.	Основные положения	96
4.1.3.	Оборудование для проведения рентгеновской дифракции	97
4.2.	Качественная дифрактометрия	99
4.2.1.	Краткий обзор методов подготовки образцов	99
4.2.2.	Получение дифрактограмм порошкообразных материалов	99
4.2.3.	Получение дифрактограмм ориентированных образцов	103
4.2.4.	Предварительная обработка глин	107
4.2.5.	Качественная дифрактометрия	120
4.3.	Количественный минералогический анализ	123
4.3.1.	Практическая значимость	123
4.3.2.	Количественный минералогический анализ методом рентгеновской дифракции	123
4.3.3.	Количественный минералогический анализ с использованием сложного технического оборудования	127
	Использованная литература	129
	Дополнительная литература	129
Глава 5.	Минералогический анализ методом инфракрасной спектроскопии	133
5.1.	Введение	133
5.1.1.	Основные положения	133
5.1.2.	Оборудование, используемое в методе инфракрасной спектроскопии	134
5.2.	Применение ИК-спектроскопии в минералогии	137
5.2.1.	Оборудование и материалы	137

5.2.2.	Подготовка образцов	138
5.2.3.	Краткое руководство по интерпретации спектров	144
5.2.4.	Количественный анализ	148
5.3.	Другие ИК-методы	151
5.3.1.	Ближняя инфракрасная спектрометрия (БИКС)	151
5.3.2.	Сочетание термических методов анализа и ИК-спектрометрии с Фурье-преобразованием при анализе летучих соединений	153
5.3.3.	Инфракрасная микроскопия	153
5.3.4.	Спектроскопия комбинационного рассеяния	154
	Использованная литература	155
	Дополнительная литература в хронологической последовательности	155
Глава 6. Разделение минералов методом селективного растворения		158
6.1.	Введение	158
6.1.1.	Кристаллическое состояние глинистых минералов	158
6.1.2.	Инструментальные и химические методы анализа	160
6.1.3.	Методы селективного растворения	162
6.1.4.	Реагенты и искусственные стандарты	166
6.2.	Основные методы селективного растворения	169
6.2.1.	Метод, основанный на использовании кислого оксалата в темноте (КОТ)	169
6.2.2.	Метод, основанный на использовании дитионит-цитрат-бикарбоната (ДЦБ)	174
6.2.3.	Метод, основанный на использовании этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА)	179
6.2.4.	Пирофосфатный метод	181
6.2.5.	Экстракция в сильнощелочной среде	185
6.3.	Другие методы исследований, модификации и выбор подходящего метода	190
6.3.1.	Дифференцирующие последовательные методы	190
6.3.2.	Селективные методы анализа аморфных веществ	193
6.3.3.	Краткий обзор применения дифференциальных методов анализа	196
	Использованная литература	196
Глава 7. Термический анализ		200
7.1.	Введение	200
7.1.1.	Определения	200
7.1.2.	Практическая значимость	201
7.2.	Классические методы	204
7.2.1.	Термогравиметрический анализ	204
7.2.2.	Дифференциальный термический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия	210
7.3.	Многокомпонентное оборудование для проведения термического анализа	220
7.3.1.	Основные положения	220
7.3.2.	Сочетание термического анализа и анализа выделяемых газов	220
	Использованная литература	223
	Дополнительная литература	223

Глава 8. Микроскопический анализ	225
8.1. Введение	225
8.2. Подготовка образцов	226
8.2.1. Способы подготовки образцов	226
8.2.2. Нанесение покрытий и пропитывание тонких пластин	226
8.2.3. Сетки и реплики для просвечивающей электронной микроскопии	231
8.2.4. Монтаж образцов для проведения сканирующей электронной микроскопии	233
8.2.5. Обработка поверхности (оттенивание, покрытие углеродом, металлизация)	234
8.3. Микроскопические исследования	236
8.3.1. Оптическая микроскопия	236
8.3.2. Электронная микроскопия, общая информация	238
8.3.3. Просвечивающая электронная микроскопия, микродифракция	240
8.3.4. Сканирующая электронная микроскопия	247
8.3.5. Полный элементный анализ методом рентгеновской спектроскопии	249
Использованная литература	250
Библиографические ссылки в хронологической последовательности	251

Часть 2. Органический анализ

Глава 9. Физические методы фракционирования органических веществ	255
9.1. Принципы и ограничения	255
9.1.1. Формы органического вещества в почве	255
9.1.2. Основные положения	255
9.1.3. Затруднения	256
9.2. Методы фракционирования	257
9.2.1. Классификация	257
9.2.2. Извлечение корней растений	257
9.2.3. Распределение частиц	260
9.2.4. Разделение по плотности	271
9.2.5. Фракционирование по размерам частиц	275
9.2.6. Точность методов фракционирования	280
9.3. Заключение и перспективы развития методов	281
Использованная литература	282
Глава 10. Определение содержания органического вещества и общего количества С, N (H, O, S)	285
10.1. Введение	285
10.1.1. Органическое вещество почвы	285
10.1.2. Отбор и подготовка образцов, аналитическая значимость	287
10.2. Мокрые методы	290
10.2.1. Определение содержания общего углерода: основные положения	290
10.2.2. Определение содержания органического углерода методом мокрого окисления при температуре реакции	291

10.2.3.	Определение содержания органического углерода методом мокрого окисления при контролируемой температуре	295
10.2.4.	Определение содержания органического углерода методом мокрого окисления с использованием спектроколориметрии	296
10.2.5.	Определение содержания общего азота с использованием мокрого метода: Введение	297
10.2.6.	Определение содержания общего азота методом Кьельдаля с титриметрическим окончанием	298
10.2.7.	Определение общего содержания азота методом Кьельдаля со спектроколориметрическим окончанием	302
10.2.8.	Определение содержания азота методом Кьельдаля с использованием селективного электрода	304
10.2.9.	Механизация и автоматизация метода Кьельдаля	306
10.2.10.	Модификации методики анализа для определения содержания ионов NO_3^- , NO_2^- и связанного азота.	306
10.3.	Сухие методы анализа	307
10.3.1.	Определение содержания общего углерода методом простого выпаривания	307
10.3.2.	Совместный инструментальный элементный CHN(OS)-анализ методом сухого озоления	308
10.3.3.	Определение CHNOS термическими методами анализа	312
10.3.4.	Определение содержания углерода и азота неразрушающими инструментальными методами	313
10.3.5.	Совместный анализ различных изотопов углерода и азота	314
	Использованная литература	315
	Дополнительная литература	316
Глава 11.	Количественное определение гуминовых веществ	319
11.1.	Гумус в почвах	319
11.1.1.	Определения	319
11.1.2.	Роль гуминовых веществ в почвах и в окружающей среде	320
11.1.3.	Методы экстракции	321
11.2.	Основные методы анализа	322
11.2.1.	Экстракция	322
11.2.2.	Количественный анализ экстрактов.	325
11.2.3.	Точность и сопоставимость методов экстракции	328
11.2.4.	Методы очистки гуминовых веществ	333
11.3.	Другие альтернативные и дополнительные методы	335
11.3.1.	Альтернативные методы экстракции	335
11.3.2.	Фракционирование гуминового остатка	336
	Использованная литература	338
Глава 12.	Характеризация гуминовых веществ	341
12.1.	Введение	341
12.1.1.	Механизмы образования	341
12.1.2.	Молекулярная структура	341
12.2.	Традиционные методы анализа	342
12.2.1.	Фракционирование гуминовых соединений.	342
12.2.2.	Определение основных функциональных групп	348
12.2.3.	Спектрометрия УФ-видимого диапазона	349

12.2.4.	Инфракрасная спектрография	351
12.3.	Дополнительные методы	353
12.3.1.	Усовершенствование методов фракционирования	353
12.3.2.	Определение функциональных групп	354
12.3.3.	Характеристика гуминовых веществ методом фрагментации	356
12.3.4.	Ядерный магнитный резонанс (ЯМР)	358
12.3.5.	Флуоресцентная спектроскопия	367
12.3.6.	Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)	369
12.3.7.	Определение молекулярной массы и размеров молекул	370
12.3.8.	Микроскопические исследования	373
12.3.9.	Другие методы анализа	373
	Использованная литература	374
Глава 13.	Определение негуминовых веществ	381
13.1.	Введение	381
13.1.1.	Негуминовые вещества	381
13.1.2.	Углеводы в почве	381
13.1.3.	Липиды в почве	383
13.1.4.	Пестициды и поллютанты	383
13.2.	Классические методы анализа	384
13.2.1.	Кислотный гидролиз полисахаридов	384
13.2.2.	Очистка кислотных гидролизатов	388
13.2.3.	Колориметрическое определение сахаров	390
13.2.4.	Определение содержания сахаров методом газовой хроматографии	392
13.2.5.	Определение общего содержания липидов	396
13.2.6.	Количественное определение содержания водорастворимых органических соединений	398
13.3.	Дополнительные методы анализа	399
13.3.1.	Определение углеводов почв методом газовой хроматографии	399
13.3.2.	Определение углеводов методом жидкостной хроматографии	400
13.3.3.	Фракционирование и исследование почвенной фракции липидов	401
13.3.4.	Определение содержания остаточных пестицидов и поллютантов	406
	Использованная литература	413
Глава 14.	Органические формы азота, минерализуемый азот (и углерод)	417
14.1.	Введение	417
14.1.1.	Круговорот азота	417
14.1.2.	Типы методов анализа	419
14.2.	Классические методы анализа	419
14.2.1.	Формы органического азота, выделяемого при кислотном гидролизе	419
14.2.2.	Определение органических форм азота: упрощенные методы	426
14.2.3.	Определение содержания мочевины	427

14.2.4.	Определение содержания потенциально доступного азота: биологические методы	429
14.2.5.	Определение содержания потенциально минерализуемого азота: химические методы	436
14.2.6.	Кинетика процессов минерализации	439
14.3.	Дополнительные методы анализа	443
14.3.1.	Альтернативные методики кислотного гидролиза	443
14.3.2.	Определение содержания аминокислот	444
14.3.3.	Определение содержания аминсахаров	447
14.3.4.	Белки и гликопротеины (глобулин)	449
14.3.5.	Определение содержания потенциально минерализуемого азота методом электроультрафильтрации	450
	Использованная литература	451

Часть 3. Неорганический анализ — определение обменных ионов и полный элементный анализ

Глава 15.	Определение рН среды	459
15.1.	Введение	459
15.1.1.	рН почвы	459
15.1.2.	Ограничения	461
15.1.3.	Теоретические аспекты	461
15.2.	Классические методы анализа	463
15.2.1.	Методы испытаний	463
15.2.2.	Колориметрический метод	464
15.2.3.	Электрометрический метод	466
15.2.4.	Электрометрический контроль и калибровка	470
15.2.5.	Исследование водных суспензий почв	470
15.2.6.	Определение pH_K и pH_{Ca}	472
15.2.7.	Определение рН «насыщенных паст»	473
15.2.8.	Определение рН насыщенных экстрактов	473
15.2.9.	Определение pH_{NaF}	474
15.3.	Анализ почв в полевых условиях	474
15.3.1.	Оборудование	475
15.3.2.	Полевые измерения	475
15.3.3.	Измерения на почвенных монолитах	477
	Использованная литература	477
	Дополнительная литература	478
	Приложение 1. Таблицы электродных потенциалов	479
	Приложение 2. Константы диссоциации для некоторых равновесий	480
	Приложение 3. Буферные растворы	480
	Приложение 4. Цветные индикаторы	482
Глава 16.	Окислительно-восстановительный потенциал	483
16.1.	Определения и основные положения	483
16.2.	Оборудование и реактивы	484
16.2.1.	Электроды	484
16.2.2.	Соединительный солевой мостик	485

16.2.3.	Система измерений	485
16.2.4.	Калибровочные растворы	486
16.3.	Методика	486
16.3.1.	Предварительная обработка электрода	486
16.3.2.	Анализ образцов почв	487
16.3.3.	Анализ почвенных монолитов	487
16.3.4.	Исследования в полевых условиях	487
16.3.5.	Определение скорости диффузии кислорода	488
16.3.6.	Колориметрическое определение <i>Eh</i>	489
	Использованная литература	490
	Дополнительная литература	490
Глава 17.	Карбонаты	492
17.1.	Введение	492
17.2.	Определение содержания общих карбонатов	493
17.2.1.	Введение	493
17.2.2.	Волюметрические измерения методом кальциметрии	494
17.2.3.	Ацидиметрия	497
17.3.	Определение активных карбонатов	498
17.3.1.	Общие положения	498
17.3.2.	Порядок выполнения	498
17.3.3.	Индекс хлорозного потенциала	500
	Использованная литература	500
Глава 18.	Растворимые соли	501
18.1.	Введение	501
18.2.	Экстракция	502
18.2.1.	Соотношение почва : раствор	502
18.2.2.	Экстракция насыщенных паст	502
18.2.3.	Разбавленные экстракты	503
18.2.4.	Отбор проб воды из почв	504
18.2.5.	Экстракция горячей водой	504
18.3.	Анализ и определение содержания солей	505
18.3.1.	Электропроводность экстрактов	505
18.3.2.	Измерение удельной электропроводности в полевых условиях	507
18.3.3.	Определение общего содержания растворенных веществ	507
18.3.4.	Растворимые катионы	508
18.3.5.	Экстрагируемые карбонаты и бикарбонаты (щелочность)	509
18.3.6.	Экстрагируемые хлориды	510
18.3.7.	Экстрагируемые сульфаты, нитраты и фосфаты	511
18.3.8.	Экстрагируемый бор	512
18.3.9.	Определение экстрагируемых анионов методом ионообменной хроматографии	513
18.3.10.	Представление результатов	516
	Использованная литература	517
Глава 19.	Обменный комплекс	519
19.1.	Введение	519

19.2. Источники зарядов	519
19.2.1. Ионный обмен	519
19.2.2. Обменный комплекс	520
19.2.3. Теория	522
Использованная литература	524
Дополнительная литература	525
Глава 20. Изoeлектрическая точка и точка нулевого заряда	530
20.1. Введение	530
20.1.1. Заряды коллоидных растворов	530
20.1.2. Определения	532
20.1.3. Условия измерения заряда	533
20.2. Основные методы	534
20.2.1. Определение рН ₀ (ТНСЭ), длительное установление равновесия	534
20.2.2. Точка нулевого солевого эффекта (ТНСЭ), быстрое установление равновесия	535
Использованная литература	537
Глава 21. Постоянные и переменные заряды	539
21.1. Введение	539
21.2. Основные методы определения	542
21.2.1. Измерение переменных зарядов	542
21.2.2. Определение постоянных зарядов	543
Использованная литература	545
Дополнительная литература	545
Глава 22. Обменные катионы	546
22.1. Введение	546
22.1.1. Обменные катионы в почве	546
22.1.2. Экстрагирующие реагенты	547
22.1.3. Оборудование	547
22.2. Метод экстракции ацетатно-аммонийным буфером при рН 7	548
22.2.1. Основные положения	548
22.2.2. Методика	549
22.3. Автоматизированный метод непрерывной экстракции	550
Использованная литература	551
Дополнительная литература	552
Глава 23. Обменная кислотность	553
23.1. Введение	553
23.1.1. Природа кислотности	553
23.1.2. Цели анализа	554
23.2. Метод определения	555
23.2.1. Основные положения	555
23.2.2. Реагенты	555
23.2.3. Методика	556
23.3. Другие методы анализа	558
Использованная литература	558

Дополнительная литература	559
Глава 24. Потребность в известковании почв	560
24.1. Введение	560
24.1.1. Регулирование кислотности почв	560
24.1.2. Расчет необходимого количества извести	561
24.2. Буферный метод Шумейкера–Маклина–Пратта	562
24.2.1. Основные положения	562
24.2.2. Реагенты	563
24.2.3. Методика	563
24.2.4. Примечания	564
Использованная литература	564
Дополнительная литература	565
Глава 25. Селективность обмена, изотерма катионного обмена	567
25.1. Введение	567
25.2. Построение изотермы обмена	571
25.2.1. Основные положения	571
25.2.2. Реагенты	571
25.2.3. Методика	571
25.2.4. Примечания	573
Использованная литература	573
Дополнительная литература	574
Глава 26. Емкость катионного обмена	576
26.1 Введение	576
26.1.1 Теоретические аспекты	576
26.1.2. Переменные, влияющие на результат определения ЕКО	577
26.2. Определение эффективной ЕКО путем суммирования (ЭЕКО)	583
26.2.1. Основные положения	583
26.2.2. Альтернативные методы	584
26.3. Измерение ЕКО на уровне рН почвы в небуферной среде	584
26.3.1. Основные положения	584
26.3.2. Методики, использующие небуферные растворы солей металлов	584
26.3.3. Методики с использованием металлоорганических катионов в небуферной среде	587
26.3.4. Методики с использованием органических катионов в небуферных растворах	591
26.4. Измерения ЕКО в буферной среде	593
26.4.1. Методики измерения ЕКО в буферных средах — общая информация	593
26.4.2. Методика с применением ацетата аммония при рН 7,0	594
26.4.3. Методика с применением буферных систем при рН 8,0–8,6	600
26.4.4. Методики, использующие буферные растворы с различными рН	605
Использованная литература	607
Дополнительная литература	609

Глава 27. Емкость анионного обмена	613
27.1. Теория	613
27.2. Измерения	616
27.2.1. Основные положения	616
27.2.2. Методика	617
27.3. Одновременное измерение ЕАО, ОКат, ЕКО и чистой ЕКО	617
27.3.1. Цель	617
27.3.2. Описание методики	618
Использованная литература	620
Глава 28. Неорганические формы азота	622
28.1. Введение	622
28.1.1. Ионы аммония, нитрата и нитрита	622
28.1.2. Проблемы, связанные с отбором проб	622
28.1.3. Аналитические проблемы	623
28.2. Традиционные методики	623
28.2.1. Экстракция обменных форм	623
28.2.2. Разделение микродиффузионным методом	624
28.2.3. Колориметрическое определение аммония	626
28.2.4. Колориметрическое определение нитритов	629
28.2.5. Колориметрическое определение нитратов	631
28.2.6. Экстрагированный органический азот	632
28.3. Другие методы	632
28.3.1. Определение нитратов и нитритов методом УФ фотометрического поглощения	632
28.3.2. Определение аммония с помощью селективного электрода	634
28.3.3. Анализ нитратов с помощью ион-селективного электрода	637
28.3.4. Измерения <i>in situ</i>	639
28.3.5. Необменный аммоний	641
Использованная литература	642
Дополнительная литература	642
Глава 29. Фосфор	643
29.1. Введение	643
29.2. Общее содержание фосфора в почве	644
29.2.1. Введение	644
29.2.2. Минерализация мокрым озолением при общем анализе	645
29.2.3. Сухая минерализация	647
29.3. Разделение различных форм фосфора	648
29.3.1. Введение	648
29.3.2. Последовательные методики	648
29.3.3. Селективная экстракция — индексы доступности	652
29.3.4. Методы изотопного разбавления	659
29.3.5. Анализ органического фосфора	660
29.4. Удержание фосфора	664
29.4.1. Введение	664
29.4.2. Определение параметров удержания Р	664
29.5. Анализ Р в экстрактах	665

29.5.1.	Введение	665
29.5.2.	Анализ ортофосфатного Р спектроколориметрическим методом	667
29.5.3.	Анализ Р методами атомной спектрометрии	671
29.5.4.	Определение различных форм Р методом ³¹ P-ЯМР	671
29.5.5.	Разделение фосфорсодержащих соединений методом жидкостной хроматографии	672
29.6.	Прямое определение форм Р <i>in situ</i> или в экстрагированных частицах	673
	Использованная литература	673
	Дополнительная литература	675
Глава 30.	Сера	677
30.1.	Введение	677
30.1.1.	Соединения серы	677
30.1.2.	Минералогические исследования	677
30.2.	Общее содержание серы и соединений серы	681
30.2.1.	Характеристики почв, сформировавшихся на морских и речных наносах (<i>Fluviomarine Soils</i>)	681
30.2.2.	Отбор и подготовка проб почвы	681
30.2.3.	Анализ растворимых форм серы	682
30.2.4.	Анализ общей серы	683
30.2.5.	Солюбилизация общей серы методом окислительного щелочного плавления	683
30.2.6.	Полная солюбилизация гипобромитом натрия в щелочной среде	684
30.2.7.	Анализ S колориметрическим методом с использованием метиленового синего	685
30.2.8.	Анализ сульфатов колориметрическим методом с использованием метилтимолового синего	690
30.2.9.	Определение общей серы автоматизированным сухим СНН(ОS) элементным анализом	693
30.2.10.	Анализ общего содержания S в форме SO ₄ ²⁻ методом ионной хроматографии	694
30.2.11.	Анализ общей S методом плазменной эмиссионной спектрометрии	696
30.2.12.	Анализ методом рентгеновской флуоресценции	696
30.2.13.	Анализ методом атомно-адсорбционной спектрометрии	696
30.2.14.	Аналитическое фракционирование соединений серы	696
30.2.15.	Анализ органической S, связанной с С	698
30.2.16.	Анализ органической S, не связанной с С	699
30.2.17.	Экстракция и анализ содержания растворимых сульфидов	700
30.2.18.	Анализ серы в пиритах	702
30.2.19.	Анализ элементарной серы	704
30.2.20.	Анализ водорастворимых сульфатов	706
30.2.21.	Анализ сульфатов, экстрагированных Na ₃ -ЭДТА	707
30.2.22.	Анализ ярозита	709
30.2.23.	Последовательный анализ форм S	711

30.3.	Сера в гипсоносных почвах	713
30.3.1.	Гипсоносные почвы	713
30.3.2.	Предварительные анализы	713
30.3.3.	Экстракция и количественный анализ при многоступенчатой экстракции	714
30.3.4.	Анализ путем осаждения ацетоном	716
30.4.	Потребность почвы в сере и гипсе	717
30.4.1.	Введение	717
30.4.2.	Потребность растений в сере	718
30.4.3.	Потребность в гипсе	719
	Используемая литература	720
	Дополнительная литература	722
Глава 31.	Анализ экстрагируемых элементов и полный элементный анализ.	725
31.1.	Элементы почвы	725
31.1.1.	Основные элементы	725
31.1.2.	Микроэлементы и примеси	725
31.1.3.	Биогенные и токсичные элементы	728
31.1.4.	Полный элементный анализ	729
31.1.5.	Экстрагируемые элементы	729
31.2.	Методы, включающие солюбилизацию	730
31.2.1.	Методы полной солюбилизации	730
31.2.2.	Основные реагенты для полного растворения	731
31.2.3.	Кислотное вскрытие пробы в открытом сосуде	734
31.2.4.	Кислотное вскрытие в закрытом сосуде	738
31.2.5.	Микроволновая минерализация	740
31.2.6.	Щелочное сплавление	741
31.2.7.	Селективная экстракция	746
31.2.8.	Методы измерений	751
31.2.9.	Спектроколориметрический анализ	752
31.2.10.	Пламенно-эмиссионная спектрометрия	755
31.2.11.	Пламенная атомно-абсорбционная спектрометрия	756
31.2.12.	Анализ микроэлементов ААС с генерацией гидридов и методом холодного пара	760
31.2.13.	Анализ микроэлементов электротермической ААС	763
31.2.14.	Анализ методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-АЭС)	763
31.2.15.	Анализ методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой	767
31.3.	Анализ в твердых средах	772
31.3.1.	Методы	772
31.3.2.	Рентгенофлуоресцентный анализ	773
31.3.3.	Нейтронно-активационный анализ	780
	Используемая литература	786
	Предметный указатель.	790