

БАКАЛАВРИАТ И МАГИСТРАТУРА

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Т. Г. Ахметов, В. М. Бусыгин
Л. Г. Гайсин, Р. Т. Ахметова



Т. Г. АХМЕТОВ,
В. М. БУСЫГИН,
Л. Г. ГАЙСИН,
Р. Т. АХМЕТОВА

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

Под редакцией профессора Т. Г. Ахметова

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Издание второе, стереотипное



• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •
• МОСКВА • КРАСНОДАР •
2019

УДК 66
ББК 35я73
А 95

Ахметов Т. Г., Бусыгин В. М., Гайсин Л. Г., Ахметова Р. Т.

А 95 Химическая технология неорганических веществ: Учебное пособие / Под ред. Т. Г. Ахметова. — 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2019. — 452 с. — (Учебники для вузов. Специальная литература).

ISBN 978-5-8114-3882-2

В пособии комплексно рассмотрен широкий спектр процессов и технологий практически для всех продуктов основной промышленной химии. Даны физико-химические основы процессов, аппаратурное оформление технологических схем, а также вопросы санитарно-технической и промышленной безопасности производства.

Учебное пособие предназначено для студентов направлений подготовки и специальностей, входящих в УГСН: «Химия», «Химические технологии», и преподавателей химических специальностей вузов. Книга также будет интересна для широкого круга научных и инженерно-технических специалистов химической промышленности.

ББК 35я73

Рецензенты:

В. И. КСЕНЗЕНКО — профессор;
А. И. МИХАЙЛИЧЕНКО — доктор химических наук, профессор.

Обложка
Е. А. ВЛАСОВА

© Издательство «Лань», 2019
© Коллектив авторов, 2019
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	12
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ	
БАРИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ	13
<i>Глава 1.1. Барий</i>	<i>13</i>
<i>Глава 1.2. Сульфид бария.....</i>	<i>15</i>
1.2.1. Свойства.....	15
1.2.2. Применение.....	17
1.2.3. Сырье для производства сульфида бария	17
1.2.4. Физико-химические основы получения сульфида бария из сульфата бария	20
1.2.5. Способы получения сульфида бария.....	28
<i>Глава 1.3. Хлорид бария</i>	<i>33</i>
1.3.1. Свойства.....	33
1.3.2. Применение.....	36
1.3.3. Сырье для производства хлорида бария	37
1.3.4. Способы получения хлорида бария.....	39
1.3.4.1. Получение плава хлорида бария.....	39
1.3.4.2. Получение хлорида бария из плава сульфида бария	44
1.3.4.3. Получение хлорида бария из его плава	51
1.3.4.4. Другие способы получения	55
1.3.4.5. “Короткая” схема получения растворов хлорида бария....	55
<i>Глава 1.4. Гидроксид бария.....</i>	<i>57</i>
1.4.1. Свойства.....	57
1.4.2. Сырье для производства гидроксида бария.....	61
1.4.3. Способы получения гидроксида бария	63
1.4.3.1. Получение из оксида бария	63
1.4.3.2. Получение из хлорида бария	65
1.4.3.3. Получение из сульфида бария	68
1.4.3.4. Другие способы получения	71
<i>Глава 1.5. Карбонат бария</i>	<i>72</i>
1.5.1. Свойства.....	72
1.5.2. Применение.....	74
1.5.3. Сырье для производства карбоната бария	75
1.5.4. Способы получения карбоната бария	76

1.5.4.1. Получение из хлорида бария	76
1.5.4.2. Получение из сульфида бария	79
1.5.4.3. Получение из нитрата бария.....	80
1.5.4.4. Получение из гидроксида бария.....	81
1.5.4.5. Другие способы получения	82
Глава 1.6. Сульфат бария.....	85
1.6.1. Свойства.....	85
1.6.2. Применение.....	87
1.6.3. Сырье для производства сульфата бария.....	87
1.6.4. Способы получения сульфата бария	87
1.6.4.1. Получение из хлорида бария	88
1.6.4.2. Получение из сульфида бария	90
1.6.4.3. Получение из гидроксида бария.....	91
1.6.4.4. Получение из нитрата бария.....	93
1.6.4.5. Другие способы получения	94
Глава 1.7. Оксид бария и другие бариевые соли неорганических кислот.....	96
1.7.1. Оксид бария.....	96
1.7.2. Пероксид бария.....	98
1.7.3. Нитрат бария	99
1.7.3.1. Способы получения нитрата бария.....	101
1.7.4. Нитрит бария	102
1.7.5. Литопон	103
1.7.6. Титанат бария.....	104
1.7.7. Силикаты бария	104
1.7.8. Хлорат и перхлорат бария.....	106
1.7.9. Фторид бария	107
1.7.10. Кремнефторид бария.....	108
1.7.11. Иодид бария	108
1.7.12. Бромид бария	109
1.7.13. Гидросульфид бария.....	109
1.7.14. Дисульфид бария	110
1.7.15. Три- и тетрасульфид бария.....	110
1.7.16. Сульфит бария	111
1.7.17. Тиосульфат бария	112
1.7.18. Перманганат и манганат бария.....	113
1.7.19. Селенат и селенит бария	114
1.7.20. Вольфрамат бария.....	115
1.7.21. Гафниат бария.....	115
1.7.22. Ванадаты бария	116
1.7.23. Хромат бария.....	116
1.7.24. Молибдаты бария.....	116
1.7.25. Метаборат бария	117
1.7.26. Сурьманат бария	118
1.7.27. Метацирконат бария	118
1.7.28. Церат бария	119
1.7.29. Метателлурат бария	119
1.7.30. Метаниобат бария.....	120
1.7.31. Германат бария	121
1.7.32. Гексацианоферраты бария.....	121
1.7.33. Дитионат бария.....	122
1.7.34. Тетрациано платинат бария.....	122
1.7.35. Фосфовольфрамат бария.....	123
1.7.36. Роданид бария	123
1.7.37. Фосфаты бария	124

Глава 1.8. Бариевые соли органических кислот	125
1.8.1. Формиат бария	125
1.8.2. Оксалат бария	126
1.8.3. Ацетат бария	127
1.8.4. Бензоат бария	127
1.8.5. Цитрат бария	128
1.8.6. Карбамат бария	129
1.8.7. Сукцинат бария	129
1.8.8. Тартрат бария	129
1.8.9. Лактат бария	129
1.8.10. Розоловат бария	130
1.8.11. Пропионат бария	130
1.8.12. Аскорбат бария	131
1.8.13. Стеарат бария	131
1.8.14. Салицилат бария	131
1.8.15. Сульфанилат бария	132
Глава 1.9. Обезвреживание и использование отходов производства соединений бария	132
1.9.1. Производство хлорида бария	133
1.9.1.1. Отходящие газы	133
1.9.1.2. Сероводород	135
1.9.1.3. Шлам от выщелачивания плава сульфида бария	136
1.9.1.4. Шлам от выщелачивания плава хлорида бария	138
1.9.2. Производство гидроксида бария	139
1.9.3. Производство карбоната и сульфата бария	139
Глава 1.10. Технический прогресс в производстве соединений бария	141
1.10.1. Производство сульфида и хлорида бария	141
1.10.2. Производство гидроксида бария	144
1.10.3. Производство карбоната и сульфата бария	145
1.10.4. Общая схема производства соединений бария	145
РАЗДЕЛ ВТОРОЙ	
СОЕДИНЕНИЯ СУЛЬФИТНОГО РЯДА	147
Глава 2.1. Диоксид серы	147
2.1.1. Свойства диоксида серы	147
2.1.2. Способы получения диоксида серы	149
2.1.2.1. Получение из колчеданов	150
2.1.2.2. Получение из элементной серы	156
2.1.2.3. Получение из сероводорода	158
2.1.2.4. Другие способы получения	159
Глава 2.2. Сульфиты	164
2.2.1. Сульфит натрия	165
2.2.1.1. Свойства сульфита натрия	165
2.2.1.2. Получение сульфита натрия	169
Получение безводного сульфита натрия	170
“Сухой” способ получения безводного сульфита натрия	172
2.2.2. Сульфит аммония	175
2.2.3. Сульфит и гидросульфит кальция	178

Глава 2.3. Пиросульфиты	180
2.3.1. Пиросульфит натрия.....	180
2.3.1.1. Свойства пиросульфита натрия.....	180
2.3.1.2. Получение пиросульфита натрия.....	182
2.3.2. Пиросульфит аммония.....	186
2.3.2.1. Свойства пиросульфита аммония.....	186
2.3.2.2. Получение пиросульфита аммония.....	188
2.3.3. Пиросульфит калия.....	189
Глава 2.4. Тиосульфаты	190
2.4.1. Тиосульфат натрия.....	190
2.4.1.1. Свойства тиосульфата натрия.....	190
2.4.1.2. Способы получения тиосульфата натрия.....	193
Сульфитный способ.....	194
Сульфидный способ.....	203
Другие способы получения.....	205
2.4.2. Тиосульфат аммония.....	207
2.4.2.1. Свойства тиосульфата аммония.....	207
2.4.2.2. Способы получения тиосульфата аммония.....	209
Сульфитный способ.....	209
Сероводородно-сульфитно-гидросульфитный способ.....	212
Гидросульфидный способ.....	213
Получение тиосульфата аммония жидкофазным окислением смеси сероводорода и аммиака.....	215
Получение тиосульфата аммония путем обменных реакций.....	219
2.4.3. Тиосульфаты некоторых металлов.....	220
2.4.3.1. Тиосульфат калия.....	220
2.4.3.2. Тиосульфат бария.....	220
2.4.3.3. Тиосульфат магния.....	222
2.4.3.4. Тиосульфат кальция.....	223
2.4.3.5. Тиосульфат стронция.....	223
Глава 2.5. Дитионит натрия	224
2.5.1. Свойства дитионита натрия.....	224
2.5.2. Способы получения дитионита натрия.....	226
2.5.2.1. Цинковый способ.....	226
2.5.2.2. Формиатный способ.....	231
2.5.2.3. Электрохимический способ.....	232
Глава 2.6. Ронгалит	233
2.6.1. Свойства ронгалита.....	233
2.6.2. Получение ронгалита.....	233
РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ	
СОЕДИНЕНИЯ СУЛЬФИДНОГО РЯДА	237
Глава 3.1. Элементная сера	237
3.1.1. Свойства и применение серы.....	237
3.1.2. Способы получения элементной серы.....	242
3.1.2.1. Экстракционный способ.....	243
3.1.2.2. Комбинированные методы.....	245
3.1.2.3. Получение серы из газов.....	247
3.1.2.4. Другие методы получения серы.....	257

Глава 3.2. Сульфиды	262
3.2.1. Свойства сульфидов	262
3.2.2. Получение сульфидов	265
3.2.2.1. Сульфиды лития	265
3.2.2.2. Сульфиды калия	265
3.2.2.3. Сульфиды рубидия и цезия.....	266
3.2.2.4. Сульфид бериллия	266
3.2.2.5. Сульфид магния.....	267
3.2.2.6. Сульфид кальция	267
3.2.2.7. Сульфид стронция.....	268
3.2.2.8. Сульфиды бария	268
3.2.2.9. Сульфиды скандия	269
3.2.2.10. Сульфиды лантана.....	269
3.2.2.11. Сульфиды титана.....	270
3.2.2.12. Сульфиды циркония	271
3.2.2.13. Сульфиды железа.....	271
3.2.2.14. Сульфиды алюминия	272
3.2.2.15. Сульфиды галлия.....	273
3.2.2.16. Сульфиды индия.....	273
3.2.2.17. Сульфиды таллия.....	274
3.2.2.18. Сульфиды бора	274
3.2.2.19. Сульфиды фосфора	275
3.2.2.20. Сульфиды углерода	276
3.2.2.21. Сульфид цинка	276
3.2.2.22. Сульфид кадмия	277
3.2.2.23. Сульфид ртути	277
3.2.2.24. Сульфиды меди.....	278
3.2.2.25. Сульфид серебра.....	279
3.2.2.26. Сульфиды других металлов и неметаллов.....	280
3.2.3. Гидросульфиды	281
3.2.3.1. Гидросульфид натрия.....	282
3.2.3.2. Гидросульфид калия.....	283
Глава 3.3. Сульфид натрия	283
3.3.1. Свойства сульфида натрия.....	283
3.3.2. Получение сульфида натрия.....	284
3.3.2.1. Сырье для получения сульфида натрия.....	284
3.3.2.2. Физико-химические основы восстановления сульфата натрия до сульфида натрия	287
3.3.2.3. Процесс выщелачивания сульфида натрия из его плава.....	290
3.3.2.4. Способы получения сульфида натрия	291
Восстановление сульфата натрия углеродом	291
Восстановление сульфата натрия водородом	293
Восстановление сульфата натрия в циклонных печах	295
Другие способы получения.....	296
Глава 3.4. Полисульфиды	297
3.4.1. Общая характеристика полисульфидов.....	297
3.4.2. Некоторые полисульфиды	298
3.4.2.1. Полисероводороды	298
3.4.2.2. Полисульфиды лития.....	299
3.4.2.3. Полисульфиды натрия.....	299
3.4.2.4. Полисульфиды калия.....	301
3.4.2.5. Полисульфиды рубидия и цезия	301

3.4.2.6. Полисульфиды кальция	302
3.4.2.7. Полисульфиды стронция	302
3.4.2.8. Полисульфиды бария	303
3.4.2.9. Полисульфид железа	304
3.4.2.10. Полисульфиды цинка	305
3.4.2.11. Полисульфиды ванадия	306
3.4.2.12. Полисульфид сурьмы	306
3.4.2.13. Полисульфиды индия и таллия	306
3.4.2.14. Полисульфид лантана	306
РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ	
ХЛОРОВОДОРОД И ХЛОРОВОДОРОДНАЯ КИСЛОТА	307
<i>Глава 4.1. Свойства и применение хлороводорода и хлороводородной кислоты</i>	<i>307</i>
<i>Глава 4.2. Получение хлороводорода и хлороводородной кислоты</i>	<i>310</i>
4.2.1. Сульфатный способ получения хлороводорода	311
4.2.1.1. Сырье для получения хлороводорода	311
4.2.1.2. Физико-химические основы взаимодействия хлорида калия с серной кислотой	314
4.2.1.3. Двухстадийная технологическая схема получения хлороводорода	320
4.2.1.4. Другие схемы получения хлороводорода	322
4.2.2. Получение хлороводорода из элементов	327
4.2.3. Абсорбция хлороводорода	330
РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ	
КАЛЬЦИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ	333
<i>Глава 5.1. Кальций</i>	<i>333</i>
<i>Глава 5.2. Хлорид кальция</i>	<i>336</i>
5.2.1. Свойства	336
5.2.2. Способы получения	339
5.2.2.1. Получение из дистиллерной жидкости содового производства	339
5.2.2.2. Получение карбоната кальция	342
<i>Глава 5.3. Карбид кальция</i>	<i>344</i>
5.3.1. Свойства	344
5.3.2. Получение	345
<i>Глава 5.4. Цианамид (динитридокарбонат) кальция</i>	<i>348</i>
5.4.1. Свойства	348
5.4.2. Получение	349
<i>Глава 5.5. Хлорная известь</i>	<i>353</i>
5.5.1. Свойства	353
5.5.2. Получение	356

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

МАГНИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ	359
<i>Глава 6.1. Металлический магний</i>	<i>359</i>
6.1.1. Свойства и применение	359
6.1.2. Получение металлического магния	361
<i>Глава 6.2. Хлорид магния</i>	<i>364</i>
6.2.1. Свойства и применение	364
6.2.2. Способы получения хлорида магния	365
6.2.2.1. Получение из карналлита	365
6.2.2.2. Получение из морской воды	366
6.2.2.3. Другие способы получения	368
<i>Глава 6.3. Сульфат магния</i>	<i>372</i>
6.3.1. Свойства и применение	372
6.3.2. Способы получения сульфата магния	373
6.3.2.1. Получение из морской воды	374
6.3.2.2. Получение из сложных минералов	375
6.3.2.3. Получение из природных карбонатов и оксида магния	379
<i>Глава 6.4. Оксид и гидроксид магния</i>	<i>381</i>
6.4.1. Свойства и применение	381
6.4.2. Способы получения оксида и гидроксида магния	384

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

КРЕМНИЙ И ЕГО СОЕДИНЕНИЯ	387
<i>Глава 7.1. Кремний</i>	<i>387</i>
7.1.1. Свойства, применение и получение	387
7.1.2. Диоксид кремния (кремнезем)	390
7.1.3. Кремниевые кислоты	391
7.1.4. Силикаты	392
<i>Глава 7.2. Силикагели</i>	<i>394</i>
7.2.1. Свойства и применение	394
7.2.2. Получение силикагелей	396
<i>Глава 7.3. Тетрахлорид кремния</i>	<i>410</i>
7.3.1. Свойства и применение	410
7.3.2. Получение тетрахлорида кремния	411
<i>Глава 7.4. Белая сажа</i>	<i>412</i>
7.4.1. Свойства и применение	412
7.4.2. Получение белой сажи	413

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

САНИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....

417

<i>Глава 8.1. Производство соединений бария</i>	417
8.1.1. Сырье	417
8.1.1.1. Баритовый концентрат	417
8.1.1.2. Уголь	418
8.1.1.3. Растворы хлорида кальция	418
8.1.1.4. Хлороводородная кислота	419
8.1.1.5. Карбонат натрия	419
8.1.1.6. Гидроксид натрия	419
8.1.1.7. Хлорид цинка	420
8.1.2. Полуфабрикаты	421
8.1.2.1. Сульфид и хлорид бария	421
8.1.2.2. Сероводород	422
8.1.3. Целевые продукты	423
8.1.3.1. Карбонат бария	423
8.1.3.2. Гидроксид, хлорид и нитрат бария	423
8.1.3.3. Пероксид бария	423
8.1.3.4. Сульфат бария	424
8.1.3.5. Фторид и кремнефторид бария	424
8.1.4. Отходы производства, дымовые газы	425
8.1.4.1. Моноксид углерода	425
8.1.4.2. Диоксид углерода	427
<i>Глава 8.2. Производство сульфитных солей</i>	427
8.2.1. Сырье	427
8.2.1.1. Элементная сера	428
8.2.1.2. Диоксид серы	428
8.2.1.3. Аммиак	429
8.2.2. Полуфабрикаты и целевые продукты	431
8.2.2.1. Сульфит и гидросульфит натрия	431
8.2.2.2. Гидросульфиды аммония, натрия и других металлов	431
8.2.3. Отходы производства	431
8.2.3.1. Водные растворы хлорида натрия	432
8.2.3.2. Цинксодержащие отходы производства дитионита натрия	432
<i>Глава 8.3. Производство соединений сульфидного ряда</i>	433
8.3.1. Соединения лития	433
8.3.2. Соединения натрия и калия	434
8.3.3. Соединения меди	434
8.3.4. Соединения серебра	435
8.3.5. Соединения бериллия	435
8.3.6. Соединения стронция, магния, кальция и цинка	436
8.3.7. Соединения бора	436
8.3.8. Соединения фосфора	436
8.3.9. Соединения сурьмы	436
8.3.10. Соединения кадмия	437
8.3.11. Соединения ртути	438
8.3.12. Соединения алюминия	439
8.3.13. Соединения таллия	439

Глава 8.4. Производство хлороводородной кислоты и калийных солей	440
8.4.1. Сырье	440
8.4.1.1. Хлорид калия	440
8.4.1.2. Серная кислота	440
8.4.1.3. Аммиак	441
8.4.1.4. Хлор	441
8.4.1.5. Водород	441
8.4.1.6. Фосфорная кислота	441
8.4.2. Полуфабрикаты	442
8.4.3. Целевые продукты	442
Глава 8.5. Производство соединений кальция	442
8.5.1. Сырье	442
8.5.1.1. Карбонат кальция	442
8.5.1.2. Оксид и гидроксид кальция	442
8.5.1.3. Азот	443
8.5.1.4. Хлор, углерод и хлороводородная кислота	443
8.5.2. Целевые продукты	443
8.5.2.1. Хлорид кальция	443
8.5.2.2. Карбид кальция	443
8.5.2.3. Цианамид кальция	444
8.5.2.4. Хлорная известь	444
Глава 8.6. Производство соединений магния	445
Глава 8.7. Производство соединений кремния	445
8.7.1. Сырье	445
8.7.1.1. Силикат натрия	446
8.7.1.2. Ферросилиций	446
8.7.1.3. Карбид кремния	446
8.7.1.4. Серная кислота, хлороводородная кислота, хлор и хлорид кальция	446
8.7.2. Целевые продукты	446
8.7.2.1. Силикагели	446
8.7.2.2. Тетрахлорид кремния	447
8.7.2.3. Белая сажа	447
8.7.3. Отходы производства	447
Рекомендуемая литература	448