



ЛУЧШИЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ УЧЕБНИК

95,94	97,9072	
42	43	
1,30	1,36	
Мо	Тс	
МОЛИБДЕН	ТЕХНЕЦИЙ	
183,85	186,207	190,2
W	Re	Os
1,46	1,52	1,55
РЕНИЙ	ОСМИЙ	ИРИДИЙ
262,12	265,1	268,1
107	108	109
Bh	Hs	Mt

Н. ГРИНВУД  
А. ЭРНШО

# ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

## 2



ЛУЧШИЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ УЧЕБНИК

Н. Гринвуд, А. Эрншо

# ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

В двух томах

## 2

3-е издание

Перевод с английского  
канд. хим. наук Л. Ю. Аликперовой  
канд. хим. наук Н. С. Рукк,  
канд. пед. наук М. Ф. Рукк,  
канд. хим. наук С. М. Пестова,  
профессора, д-ра хим. наук Е. В. Савинкиной,  
профессора, д-ра хим. наук В. А. Михайлова,



Москва  
БИНОМ. Лаборатория знаний

УДК 541  
ББК 24.12я2  
Г82

*Серия основана в 2006 г.*

**Гринвуд Н.**

Г82 Химия элементов : в 2 т. Т. 2 / Н. Гринвуд, А. Эрншо ; пер. с англ. — 3-е изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 670 с. : ил. — (Лучший зарубежный учебник).

ISBN 978-5-9963-1734-9 (Т. 2)

ISBN 978-5-9963-1732-5

В фундаментальном учебном издании английских авторов химия элементов представлена как развивающаяся дисциплина, объединяющая разные области науки — неорганическая, аналитическая, теоретическая, металлоорганическая, бионеорганическая химия и химическая технология. Огромный фактический материал изложен в рамках современных теоретических концепций. Вводные главы посвящены общим вопросам: происхождение и распространённость элементов, периодичность изменения химических свойств в зависимости от положения элемента в Периодической системе. В последующих главах систематически изложена химия одного из элементов или группы родственных элементов. Книга хорошо иллюстрирована, содержит обширный справочный материал и подробную библиографию.

В русском издании книга выходит в двух томах. Том 2 включает главы 15–31 и приложения.

Для студентов старших курсов, аспирантов и преподавателей химических факультетов и вузов, а также научных сотрудников и широкого круга специалистов.

УДК 541  
ББК 24.12я2

---

*Учебное издание*

Серия: «Лучший зарубежный учебник»

**Гринвуд** Норман  
**Эрншо** Алан

**ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ**

В двух томах

Том 2

Ведущий редактор канд. хим. наук *Т. И. Почкаева*. Редактор канд. хим. наук *Е. Э. Григорьева*

Художники *И. Е. Марев, Н. А. Новак*

Технический редактор *Е. В. Денюкова*

Компьютерная верстка: *О. А. Пелипенко*

Подписано в печать 22.07.14. Формат 84 × 108/16.

Усл. печ. л. 70,56. Тираж 1500 экз. Заказ № 1029.

Издательство «БИНОМ. Лаборатория знаний»

125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3

Телефон: (499) 157-5272, e-mail: binom@Lbz.ru, http://www.Lbz.ru

При участии ООО Агентство печати «Столица»

www.apstolica.ru; e-mail: apstolica@bk.ru

Отпечатано в ОАО «Областная типография «Печатный двор».

432049, г. Ульяновск, ул. Пушкирева, 27.

---

Copyright © 1984, 1997, Elsevier Ltd. All rights reserved  
This edition of *Chemistry of the Elements* by  
N. N. Greenwood and A. Earnshaw, ISBN 978-0750633659, is  
published by arrangement with Elsevier Ltd, The Boulevard,  
Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, England.  
Это издание *Chemistry of the Elements* авторов  
Н. Н. Гринвуда и А. Эрншо опубликовано в соответствии  
с соглашением с издательством Elsevier Ltd.  
© перевод, оформление, БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015

ISBN 978-5-9963-1734-9 (Т. 2)

ISBN 978-5-9963-1732-5

# Оглавление

ГЛАВА 15. СЕРА	5
15.1. Элемент	5
15.1.1. Введение	5
15.1.2. Распространенность и нахождение в природе	5
15.1.3. Получение и применение серы в виде простого вещества	8
15.1.4. Аллотропные формы серы	11
15.1.5. Атомные и физические свойства	19
15.1.6. Химические свойства	20
Многоатомные катионы серы	21
Сера в роли лиганда	22
Другие лиганды, содержащие серу в роли донорного атома	28
15.2. Соединения серы	32
15.2.1. Сульфиды металлов	32
Общая характеристика	32
Структурная химия сульфидов металлов	35
Полисульфидные анионы	36
15.2.2. Гидриды серы (сульфаны)	37
15.2.3. Галогениды серы	38
Фториды серы	38
Хлориды, бромиды и иодиды серы	43
15.2.4. Оксиды-галогениды серы	47
15.2.5. Оксиды серы	48
Низшие оксиды	48
Диоксид серы $SO_2$	51
Диоксид серы как лиганд	54
Триоксид серы	55
Пероксиды	56
15.2.6. Кислородные кислоты серы	57
Серная кислота $H_2SO_4$	59
Пероксерные кислоты $H_2SO_5$ и $H_2S_2O_8$	65
Тиосерная кислота $H_2S_2O_3$	65
Дитионовая кислота $H_2S_2O_6$	67
Политионовые кислоты $H_2SnO_6$	67
Сернистая кислота $H_2SO_3$	69
Дисернистая кислота $H_2S_2O_5$	71
Дитионистая кислота $H_2S_2O_4$	71
15.2.7. Соединения серы с азотом	72
Бинарные нитриды серы	73
Катионы и анионы, содержащие серу и азот	79
Имиды серы $S_{8-n}(NH)_n$	83
Другие циклические соединения серы с азотом	84
Соединения серы с азотом и галогенами	84
Соединения серы с азотом и кислородом	88
Литература	93
ГЛАВА 16. СЕЛЕН, ТЕЛЛУР И ПОЛОНИЙ	100
16.1. Элементы	100
16.1.1. Введение: история, распространенность и нахождение в природе	100
16.1.2. Получение и применение простых веществ	101
16.1.3. Аллотропия	102
16.1.4. Атомные и физические свойства	105

16.1.5. Химические свойства	106
16.1.6. Многоатомные катионы $Mx^{n+}$	111
16.1.7. Многоатомные анионы $Mx^{2-}$	113
16.2. Соединения селена, теллура и полония	116
16.2.1. Селениды, теллуриды и полониды	116
16.2.2. Водородные соединения	116
16.2.3. Галогениды	117
Низшие галогениды	119
Тетрагалогениды	121
Гексагалогениды	125
Галогенидные комплексы	125
16.2.4. Оксиды-галогениды и псевдогалогениды	126
16.2.5. Оксиды	127
16.2.6. Гидроксиды и кислородные кислоты	129
16.2.7. Другие неорганические соединения	131
16.2.8. Органические соединения	134
Литература	136
<b>ГЛАВА 17. ГАЛОГЕНЫ: ФТОР, ХЛОР, БРОМ, ИОД И АСТАТ</b>	<b>140</b>
17.1. Элементы	140
17.1.1. Введение	140
Фтор	140
Хлор	143
Бром	144
Иод	144
Астат	145
17.1.2. Распространенность и нахождение в природе	145
17.1.3. Получение и применение галогенов	147
17.1.4. Атомные и физические свойства	150
17.1.5. Химические свойства	153
Реакционная способность и стереохимия	153
Растворы и комплексы с переносом заряда	155
17.2. Соединения фтора, хлора, брома и иода	158
17.2.1. Галогеноводороды $HX$	158
Получение и применение	158
Физические свойства галогеноводородов	161
Химические свойства галогеноводородов	162
Галогеноводороды как неводные растворители	164
17.2.2. Галогениды элементов	167
Фториды	167
Хлориды, бромиды и иодиды	169
17.2.3. Межгалогенные соединения	171
Двухатомные межгалогенные соединения $XY$	172
Четырехатомные межгалогенные соединения $XY_3$	175
Шестиатомные и восьмиатомные межгалогенные соединения $XF_5$ и $IF_7$	178
17.2.4. Полигалогенид-анионы	182
17.2.5. Полигалогенные катионы $XY_{2n}^+$	185
17.2.6. Катионы галогенов	188
17.2.7. Оксиды хлора, брома и иода	190
Оксиды хлора	190
Оксиды брома	195
Оксиды иода	196
17.2.8. Оксокислоты галогенов и их соли	197
Общие положения	197
Низшие кислородные кислоты галогенов $HOX$ и гипогалогениты $HO^-$	201
Оксокислоты $HOXO$ и галогениты $HO_2^-$	203
Кислородные кислоты галогенов $HOXO_2$ и галогенаты $HO_3^-$	206
Высшие оксокислоты галогенов и пергалогенаты	209
Хлорная кислота и перхлораты	209

Бромная кислота и перброматы .....	214
Иодные кислоты и периодаты .....	215
17.2.9. Фториды-оксиды галогенов и родственные соединения .....	217
Фториды-оксиды хлора .....	218
Фториды-оксиды брома .....	222
Фториды-оксиды иода .....	223
17.2.10. Галогенопроизводные оксокислот .....	225
17.3. Химия астага .....	227
Литература .....	229
<b>ГЛАВА 18. БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ: ГЕЛИЙ, НЕОН, АРГОН, КРИПТОН, КСЕНОН И РАДОН .....</b>	<b>233</b>
18.1. Введение .....	233
18.2. Элементы .....	234
18.2.1. Распространение, получение и применение .....	234
18.2.2. Атомные и физические свойства элементов .....	235
18.3. Химические свойства благородных газов .....	236
18.3.1. Клатраты .....	237
18.3.2. Соединения ксенона .....	237
18.3.3. Соединения других благородных газов .....	245
Литература .....	246
<b>ГЛАВА 19. КООРДИНАЦИОННЫЕ И МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ .....</b>	<b>248</b>
19.1. Введение .....	248
19.2. Типы лигандов .....	248
19.3. Устойчивость координационных соединений .....	250
19.4. Координационные числа .....	253
Координационное число 2 .....	254
Координационное число 3 .....	255
Координационное число 4 .....	255
Координационное число 5 .....	255
Координационное число 6 .....	256
Координационное число 7 .....	257
Координационное число 8 .....	258
Координационное число 9 .....	258
Координационные числа выше 9 .....	258
19.5. Изомерия .....	259
Конформационная изомерия .....	259
Геометрическая изомерия .....	260
Оптическая изомерия .....	260
Ионизационная изомерия .....	261
Связевая изомерия .....	261
Координационная изомерия .....	261
Полимеризационная изомерия .....	261
Лигандная изомерия .....	262
19.6. Координационная связь .....	262
19.7. Металлоорганические соединения .....	264
19.7.1. Моногапто-лиганды .....	265
19.7.2. Дигапто-лиганды .....	270
19.7.3. Тригапто-лиганды .....	273
19.7.4. Тетрагапто-лиганды .....	275
19.7.5. Пентагапто-лиганды .....	276
19.7.6. Гексагапто-лиганды .....	279
19.7.7. Гептагапто- и октагапто-лиганды .....	280
Литература .....	282
<b>ГЛАВА 20. СКАНДИЙ, ИТТРИЙ, ЛАНТАН, АКТИНИЙ .....</b>	<b>284</b>
20.1. Введение .....	284
20.2. Элементы .....	284

20.2.1. Распространенность и нахождение в природе	284
20.2.2. Получение металлов и их применение	285
20.2.3. Свойства элементов и простых веществ	285
20.2.4. Химические свойства	288
20.3. Соединения скандия, иттрия, лантана и актиния	288
20.3.1. Соединения	288
20.3.2. Комплексные соединения	289
20.3.3. Металлоорганические соединения	292
Литература	292
<b>ГЛАВА 21. ТИТАН, ЦИРКОНИЙ, ГАФНИЙ</b>	<b>293</b>
21.1. Введение	293
21.2. Элементы	293
21.2.1. Распространенность и нахождение в природе	293
21.2.2. Получение и применение металлов	294
21.2.3. Свойства элементов и простых веществ	295
21.2.4. Химические свойства	296
21.3. Соединения титана, циркония и гафния	297
21.3.1. Оксиды и сульфиды	299
21.3.2. Смешанные (сложные) оксиды	300
21.3.3. Галогениды	302
21.3.4. Соединения с оксоанионами	304
21.3.5. Комплексные соединения	304
Степень окисления IV ( $d^0$ )	304
Степень окисления III ( $d^1$ )	307
Нижшие степени окисления	308
21.3.6. Металлоорганические соединения	309
Литература	311
<b>ГЛАВА 22. ВАНАДИЙ, НИОБИЙ, ТАНТАЛ</b>	<b>313</b>
22.1. Введение	313
22.2. Элементы	313
22.2.1. Распространенность и нахождение в природе	313
22.2.2. Получение и применение металлов	314
22.2.3. Атомные и физические свойства элементов и простых веществ	315
22.2.4. Химические свойства	316
22.3. Соединения ванадия, ниобия и тантала	317
22.3.1. Оксиды	317
22.3.2. Полиметаллаты	319
22.3.3. Сульфиды, селениды и теллуриды	323
22.3.4. Галогениды и оксиды-галогениды	324
22.3.5. Соединения с оксоанионами	328
22.3.6. Комплексные соединения	329
Степень окисления V ( $d^0$ )	329
Степень окисления IV ( $d^1$ )	329
Степень окисления III ( $d^2$ )	331
Степень окисления II ( $d^3$ )	332
22.3.7. Биохимия ванадия	333
22.3.8. Металлоорганические соединения	333
Литература	335
<b>ГЛАВА 23. ХРОМ, МОЛИБДЕН И ВОЛЬФРАМ</b>	<b>337</b>
23.1. Введение	337
23.2. Элементы	337
23.2.1. Распространенность и нахождение в природе	337
23.2.2. Получение металлов и их применение	338
23.2.3. Свойства элементов и простых веществ	338
23.2.4. Химические свойства	339

23.3. Соединения хрома, молибдена и вольфрама	341
23.3.1. Оксиды	341
23.3.2. Изополиметаллаты	343
23.3.3. Гетерополиметаллаты	347
23.3.4. Бронзы вольфрама и молибдена	349
23.3.5. Сульфиды, селениды и теллуриды	350
23.3.6. Галогениды и оксиды-галогениды	351
23.3.7. Комплексные соединения хрома, молибдена и вольфрама	355
Степень окисления VI ( $d^0$ )	355
Степень окисления V ( $d^1$ )	357
Степень окисления IV ( $d^2$ )	357
Степень окисления III ( $d^3$ )	359
Степень окисления II ( $d^4$ )	362
23.3.8. Биологическая активность и связывание азота	366
23.3.9. Металлоорганические соединения	368
Литература	370
<b>ГЛАВА 24. МАРГАНЕЦ, ТЕХНЕЦИЙ И РЕНИЙ</b>	<b>372</b>
24.1. Введение	372
24.2. Элементы и простые вещества	372
24.2.1. Распространенность и нахождение в природе	372
24.2.2. Получение и применение металлов	373
24.2.3. Свойства элементов и простых веществ	374
24.2.4. Химические свойства	375
24.3. Соединения марганца, технеция и рения	378
24.3.1. Оксиды и халькогениды	378
24.3.2. Оксоанионы	381
24.3.3. Галогениды и оксиды-галогениды	382
24.3.4. Комплексные соединения марганца, технеция и рения	384
Степень окисления VII ( $d^0$ )	384
Степень окисления VI ( $d^1$ )	385
Степень окисления V ( $d^2$ )	386
Степень окисления IV ( $d^3$ )	386
Степень окисления III ( $d^4$ )	387
Степень окисления II ( $d^5$ )	388
Более низкие степени окисления	390
24.3.5. Биохимия марганца	391
24.3.6. Металлоорганические соединения	393
Литература	398
<b>ГЛАВА 25. ЖЕЛЕЗО, РУТЕНИЙ И ОСМИЙ</b>	<b>400</b>
25.1. Введение	400
25.2. Элементы и простые вещества	401
25.2.1. Распространенность и нахождение в природе	401
25.2.2. Получение и применение металлов	401
25.2.3. Свойства элементов и простых веществ	403
25.2.4. Химические свойства	405
25.3. Соединения железа, рутения и осмия	406
25.3.1. Оксиды и халькогениды	409
25.3.2. Смешанные оксиды металлов и оксоанионы	411
25.3.3. Галогениды и оксиды-галогениды	412
25.3.4. Комплексные соединения	414
Степень окисления VIII ( $d^0$ )	414
Степень окисления VII ( $d^1$ )	414
Степень окисления VI ( $d^2$ )	414
Степень окисления V ( $d^3$ )	415
Степень окисления IV ( $d^4$ )	415
Степень окисления III ( $d^5$ )	416



Степень окисления II ( $d^6$ )	420
Соединения рутения со смешанной валентностью	424
Более низкие степени окисления	426
25.3.5. Биохимия железа	426
Гемоглобин и миоглобин	426
Цитохромы	429
Белки, содержащие железо и серу	429
25.3.6. Металлоорганические соединения	431
Карбонильные соединения	431
Гидриды карбониллов и карбонилат-анионы	433
Галогениды карбониллов и другие замещенные карбонилы	435
Ферроцен и другие циклопентадиенилы	435
Литература	439
<b>ГЛАВА 26. КОБАЛЬТ, РОДИЙ И ИРИДИЙ</b>	<b>440</b>
26.1. Введение	440
26.2. Элементы	440
26.2.1. Распространенность и нахождение в природе	440
26.2.2. Получение и применение металлов	441
26.2.3. Свойства элементов и простых веществ	441
26.2.4. Химические свойства	442
26.3. Соединения кобальта, родия и иридия	444
26.3.1. Оксиды и сульфиды	444
26.3.2. Галогениды	445
26.3.3. Комплексные соединения	447
Степень окисления IV ( $d^5$ )	447
Степень окисления III ( $d^6$ )	448
Степень окисления II ( $d^7$ )	455
Степень окисления I ( $d^8$ )	458
Более низкие степени окисления	461
26.3.4. Биохимия кобальта	462
26.3.5. Металлоорганические соединения	463
Карбонилы	464
Циклопентадиенилы	467
Литература	467
<b>ГЛАВА 27. НИКЕЛЬ, ПАЛЛАДИЙ И ПЛАТИНА</b>	<b>469</b>
27.1. Введение	469
27.2. Элементы	470
27.2.1. Распространенность и нахождение в природе	470
27.2.2. Получение и применение металлов	470
27.2.3. Свойства элементов и простых веществ	472
27.2.4. Химические свойства	473
27.3. Соединения никеля, палладия и платины	475
27.3.1. Система Pd/H <sub>2</sub>	475
27.3.2. Оксиды и халькогениды	476
27.3.3. Галогениды	477
27.3.4. Комплексные соединения	478
Степень окисления IV ( $d^6$ )	478
Степень окисления III ( $d^7$ )	479
Степень окисления II ( $d^8$ )	480
Степень окисления I ( $d^9$ )	489
Степень окисления 0 ( $d^{10}$ )	489
27.3.5. Биохимия никеля	490
27.3.6. Металлоорганические соединения	490
Соединения с $\sigma$ -связями	490
Карбонилы	491
Циклопентадиенилы	492

Алкеновые и алкиновые комплексы	493
$\pi$ -Аллильные комплексы	495
Литература	495
<b>ГЛАВА 28. МЕДЬ, СЕРЕБРО И ЗОЛОТО</b>	<b>497</b>
28.1. Введение [1]	497
28.2. Элементы	497
28.2.1. Распространенность и нахождение в природе	497
28.2.2. Получение и использование металлов	498
28.2.3. Атомные и физические свойства металлов	499
28.2.4. Химические свойства	501
28.3. Соединения меди, серебра и золота	504
28.3.1. Оксиды и сульфиды	504
28.3.2. Высокотемпературные сверхпроводники	505
28.3.3. Галогениды	506
28.3.4. Фотография	509
28.3.5. Комплексные соединения	510
Степень окисления III ( $d^8$ )	510
Степень окисления II ( $d^9$ )	511
Электронные спектры и магнитные свойства меди(II)	515
Степень окисления I ( $d^{10}$ )	516
Кластерные соединения золота	518
28.3.6. Биохимия меди	519
28.3.7. Металлоорганические соединения	520
Литература	522
<b>ГЛАВА 29. ЦИНК, КАДМИЙ И РТУТЬ</b>	<b>523</b>
29.1. Введение	523
29.2. Элементы	523
29.2.1. Распространенность и нахождение в природе	523
29.2.2. Производство и использование металлов	524
29.2.3. Свойства металлов	526
29.2.4. Химические свойства	526
29.3. Соединения цинка, кадмия и ртути	529
29.3.1. Оксиды и халькогениды	529
29.3.2. Галогениды	532
29.3.3. Ртуть(I)	534
Поликатионы ртути	535
29.3.4. Цинк(II) и кадмий(II)	535
29.3.5. Ртуть(II)	537
Соединения со связью $Hg^{II}-N$	538
Соединения со связью $Hg^{II}-S$	540
Кластерные соединения, содержащие ртуть	540
29.3.6. Металлоорганические соединения	540
29.3.7. Биологическая роль элементов 12-й группы и их воздействие на окружающую среду	543
Литература	545
<b>ГЛАВА 30. ЛАНТАНИДЫ (<math>Z = 58-71</math>)</b>	<b>546</b>
30.1. Введение [1]	546
30.2. Элементы	546
30.2.1. Распространенность и нахождение в природе	546
30.2.2. Получение и применение простых веществ	548
30.2.3. Свойства элементов и простых веществ	550
30.2.4. Химические свойства	553
30.3. Соединения лантанидов	556
30.3.1. Оксиды и халькогениды	556
30.3.2. Галогениды	558
30.3.3. Магнитные и спектральные свойства	560

30.3.4. Комплексные соединения	562
Степень окисления IV	562
Степень окисления III	562
Степень окисления II	565
30.3.5. Металлоорганические соединения	565
Циклопентадиениды и родственные соединения	565
Алкилы и арилы	566
Литература	566
<b>ГЛАВА 31. АКТИНИДЫ И ТРАНСАКТИНИДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (<math>Z = 90-103</math> и <math>104-112</math>)</b>	<b>568</b>
31.1. Введение	568
Сверхтяжелые элементы	569
31.2. Actинидные элементы	571
31.2.1. Распространенность и нахождение в природе	571
31.2.2. Производство и применение металлов-актинилов	571
Ядерные реакторы и атомная энергия	573
Переработка ядерного топлива	577
31.2.3. Свойства актинидных элементов и простых веществ	579
31.2.4. Химические свойства	581
31.3. Соединения актинилов	584
31.3.1. Оксиды и халькогениды актинилов	584
31.3.2. Смешанные оксиды	586
31.3.3. Галогениды актинилов	587
31.3.4. Магнитные и спектроскопические свойства	589
31.3.5. Комплексные соединения актинилов	590
Степень окисления VII	590
Степень окисления VI	590
Степень окисления V	591
Степень окисления IV	592
Степень окисления III	594
Степень окисления II	594
31.3.6. Металлоорганические соединения актинилов	594
31.4. Трансактиниды ( $Z = 104-112$ )	596
31.4.1. Введение	596
31.4.2. Элемент 104	597
31.4.3. Элемент 105	598
31.4.4. Элемент 106	598
31.4.5. Элементы 107, 108 и 109	599
31.4.6. Элементы 110, 111 и 112	600
Литература	600
Приложение 1. Атомные орбитали	602
Приложение 2. Элементы симметрии, операции симметрии и точечные группы	607
Приложение 3. Некоторые внесистемные единицы	610
Приложение 4. Распространенность элементов в земной коре в граммах на тонну	611
Приложение 5. Эффективные ионные радиусы	612
Приложение 6. Нобелевские премии по химии	613
Приложение 7. Нобелевские премии по физике	617
Предметный указатель	620