



ЛУЧШИЙ ЗАРУБЕЖНЫЙ УЧЕБНИК

Н. Гринвуд, А. Эрншо

# ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

В двух томах

1

5-е издание, исправленное,  
электронное

Перевод с английского  
профессора, д-ра хим. наук В. А. Михайлова,  
профессора, д-ра хим. наук Е. В. Савинкиной,  
канд. хим. наук Ю. И. Азимовой,  
канд. хим. наук Е. Э. Григорьевой,  
Н. М. Логачевой,  
канд. хим. наук Л. Ю. Аликберовой



Москва  
Лаборатория знаний  
2021

УДК 541  
ББК 24.12я2  
Г82

*Серия основана в 2006 г.*

**Гринвуд Н.**

Г82 Химия элементов : в 2 т. Т. 1 / Н. Гринвуд, А. Эрншо ; пер. с англ. — 5-е изд., испр., электрон. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 664 с. — (Лучший зарубежный учебник). — Систем. требования: Adobe Reader XI ; экран 10". — Загл. с титул. экрана. — Текст : электронный.

ISBN 978-5-93208-568-4 (Т. 1)

ISBN 978-5-93208-567-7

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 распространенность 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 1 включает главы 1–14.

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

УДК 541  
ББК 24.12я2

**Деривативное издание на основе печатного аналога:** Химия элементов : в 2 т. Т. 1 / Н. Гринвуд, А. Эрншо ; пер. с англ. — 5-е изд., испр. — М. : Лаборатория знаний, 2021. — 607 с. : ил. — (Лучший зарубежный учебник). — ISBN 978-5-00101-305-1 (Т. 1); ISBN 978-5-00101-304-4.

*Редакция благодарит за помощь в переиздании Полторака Павла Андреевича*

***В соответствии со ст. 1299 и 1301 ГК РФ при устранении ограничений, установленных техническими средствами защиты авторских прав, правообладатель вправе требовать от нарушителя возмещения убытков или выплаты компенсации***

Copyright © 1984, 1997, Elsevier Science Ltd.  
All rights reserved  
This edition of *Chemistry of the Elements* by N. N. Greenwood and A. Earnshaw, ISBN 0750633654, is published by arrangement with Elsevier Ltd, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford, OX5 1GB, UK.  
Это издание *Chemistry of the Elements* авторов Н. Н. Гринвуда и А. Эрншо опубликовано в соответствии с соглашением с издательством Elsevier Ltd.  
© Перевод, оформление, Лаборатория знаний, 2015

ISBN 978-5-93208-568-4 (Т. 1)  
ISBN 978-5-93208-567-7

# Оглавление

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ</b> .....	5
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ</b> .....	7
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ К ПЕРВОМУ ИЗДАНИЮ</b> .....	8
<b>Глава 1. ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ. ИЗОТОПЫ И АТОМНЫЕ МАССЫ</b> .....	10
1.1. Введение .....	10
1.2. Происхождение Вселенной .....	10
1.3. Распространенность элементов во Вселенной .....	11
1.4. Эволюция звезд и их спектральные классы .....	14
1.5. Синтез элементов .....	17
1.5.1. Горение водорода .....	17
1.5.2. Горение гелия и углерода .....	18
1.5.3. $\alpha$ -Процесс .....	19
1.5.4. $e$ -Процесс (равновесный процесс) .....	20
1.5.5. $s$ -, $r$ -Процессы (медленный и быстрый захват нейтронов) .....	20
1.5.6. $p$ -Процесс (захват протона) .....	21
1.5.7. $x$ -Процесс .....	21
1.6. Атомные массы .....	23
1.6.1. Неопределенность атомных масс .....	24
1.6.2. Проблема радиоактивных элементов .....	26
Литература .....	27
<b>Глава 2. ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА</b> .....	28
2.1. Введение .....	28
2.2. Электронное строение атомов .....	28
2.3. Периодическое изменение свойств элементов .....	30
2.3.1. Изменение атомных и физических свойств .....	30
2.3.2. Закономерности в изменении химических свойств .....	33
2.4. Предсказание новых элементов и соединений .....	35
Литература .....	38
<b>Глава 3. ВОДОРОД</b> .....	39
3.1. Введение .....	39
3.2. Атомные и физические свойства водорода .....	40
3.2.1. Изотопы водорода .....	40
3.2.2. Орто- и пара-водород .....	41
3.2.3. Ионизированные формы водорода .....	43
3.3. Получение, производство и применение .....	44
3.3.1. Водород .....	44
3.3.2. Дейтерий .....	46
3.3.3. Тритий .....	46
3.4. Химические свойства .....	49
3.4.1. Координационная химия водорода .....	50
3.5. Протонные кислоты и основания .....	53
3.6. Водородная связь .....	57
3.6.1. Влияние на свойства .....	58
3.6.2. Влияние на структуру .....	61
3.6.3. Прочность водородных связей и их теоретическое описание .....	65
3.7. Водородные соединения элементов .....	68
Литература .....	71

<b>Глава 4. ЛИТИЙ, НАТРИЙ, КАЛИЙ, РУБИДИЙ, ЦЕЗИЙ И ФРАНЦИЙ</b>	<b>74</b>
4.1. Введение	74
4.2. Элементы	74
4.2.1. Открытие и выделение	74
4.2.2. Распространенность и нахождение в природе	75
4.2.3. Производство и использование металлов	76
4.2.4. Атомные и физические свойства	80
4.2.5. Химические свойства	81
4.2.6. Растворы в жидком аммиаке и других растворителях	82
4.3. Соединения	84
4.3.1. Модель ионной связи	84
4.3.2. Галогениды и гидриды	86
4.3.3. Оксиды, пероксиды, надпероксиды и субоксиды	88
4.3.4. Гидроксиды	90
4.3.5. Соли оксокислот и другие соединения	91
4.3.6. Координационная химия	94
4.3.7. Имиды, амиды и родственные соединения	101
4.3.8. Металлоорганические соединения	104
Литература	107
<b>Глава 5. БЕРИЛЛИЙ, МАГНИЙ, КАЛЬЦИЙ, СТРОНЦИЙ, БАРИЙ И РАДИЙ</b>	<b>110</b>
5.1. Введение	110
5.2. Элементы	111
5.2.1. Распространенность и нахождение в природе	111
5.2.2. Производство и применение металлов	112
5.2.3. Атомные и физические свойства	113
5.2.4. Химические свойства	115
5.3. Соединения	115
5.3.1. Введение	115
5.3.2. Гидриды и галогениды	117
5.3.3. Оксиды и гидроксиды	121
5.3.4. Соли оксокислот и координационные соединения	123
5.3.5. Металлоорганические соединения	126
Бериллий	126
Магний	131
Кальций, стронций и барий	136
Литература	137
<b>Глава 6. БОР</b>	<b>139</b>
6.1. Введение	139
6.2. Бор	139
6.2.1. Выделение и очистка простого вещества	139
6.2.2. Структура кристаллического бора	140
6.2.3. Атомные и физические свойства бора	142
6.2.4. Химические свойства	144
6.3. Бориды	145
6.3.1. Введение	145
6.3.2. Получение и стехиометрия	145
6.3.3. Структуры боридов	146
6.4. Бораны (гидриды бора)	150
6.4.1. Введение	150
6.4.2. Образование связей и топология	156
6.4.3. Получение и свойства боранов	160
6.4.4. Химия малых боранов и борогидридных анионов ( $B_1-B_4$ )	161
6.4.5. Бораны и борогидридные анионы среднего размера ( $B_5-B_9$ )	167
6.4.6. Химия нидо-декаборана $B_{10}H_{14}$	169
6.4.7. Химия клозо- $B_nH_n^{2-}$	174
6.5. Карбораны	175
6.6. Карбораны	182

6.7. Галогениды бора .....	188
6.7.1. Тригалогениды бора .....	188
6.7.2. Низшие галогениды бора .....	192
6.8. Кислородные соединения бора .....	193
6.8.1. Оксиды и оксокислоты бора .....	193
6.8.2. Бораты .....	196
6.8.3. Органические соединения со связью бор—кислород .....	198
6.9. Соединения бора с азотом .....	198
6.10. Другие соединения бора .....	202
6.10.1. Соединения, содержащие связи атомов бора с атомами фосфора, мышьяка или сурьмы .....	202
6.10.2. Соединения, содержащие связи атомов бора с атомами серы, селена и теллура .....	203
Литература .....	205
<b>Глава 7. АЛЮМИНИЙ, ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ И ТАЛЛИЙ .....</b>	<b>208</b>
7.1. Введение .....	208
7.2. Элементы .....	209
7.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	209
7.2.2. Получение и использование металлов .....	210
7.2.3. Атомные и физические свойства .....	213
7.2.4. Химические свойства .....	216
7.3. Соединения .....	218
7.3.1. Гидриды и родственные соединения .....	218
7.3.2. Галогениды и галогенидные комплексы .....	223
Тригалогениды алюминия .....	223
Тригалогениды галлия, индия и таллия .....	226
Низшие галогениды галлия, индия и таллия .....	229
7.3.3. Оксиды и гидроксиды .....	231
7.3.4. Тройные и более сложные оксиды .....	235
Шпинели и родственные соединения .....	235
Натриевый $\beta$ -глинозем и родственные фазы .....	237
Алюминат трикальция $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ .....	238
7.3.5. Другие неорганические соединения .....	239
Халькогениды .....	239
Соединения, содержащие связи с N, P, As, Sb или Bi .....	242
Некоторые соединения с необычной стереохимией .....	243
7.3.6. Металлоорганические соединения .....	245
Алюминийорганические соединения .....	245
Металлоорганические соединения галлия, индия и таллия .....	249
Гетероциклы и кластеры со связью Al–N .....	251
Литература .....	253
<b>Глава 8. УГЛЕРОД .....</b>	<b>255</b>
8.1. Введение .....	255
8.2. Углерод .....	256
8.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	256
8.2.2. Аллотропные формы .....	260
8.2.3. Атомные и физические свойства .....	262
8.2.4. Фуллерены .....	264
Строение фуллеренов .....	266
Другие аллотропные формы углерода .....	267
Химия фуллеренов .....	268
8.2.5. Химические свойства углерода .....	273
8.3. Соединения включения графита .....	276
8.4. Карбиды .....	280
Металлокарбоздрены (меткары) .....	283
8.5. Гидриды, галогениды и оксогалогениды .....	284
8.6. Оксиды и карбонаты .....	288
8.7. Халькогениды и родственные соединения .....	295

8.8. Цианиды и другие соединения со связью углерод–азот .....	299
8.9. Металлоорганические соединения .....	305
Литература .....	305
<b>Глава 9. КРЕМНИЙ</b> .....	<b>310</b>
9.1. Введение .....	310
9.2. Кремний .....	311
9.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	311
9.2.2. Выделение, промышленное производство и технологическое применение .....	311
9.2.3. Атомные и физические свойства .....	312
9.2.4. Химические свойства .....	313
9.3. Соединения .....	316
9.3.1. Силициды .....	316
9.3.2. Гидриды кремния (силаны) .....	317
9.3.3. Галогениды кремния и родственные комплексы .....	320
9.3.4. Диоксид кремния и кремниевые кислоты .....	322
9.3.5. Силикатные минералы .....	326
Силикаты, содержащие дискретные анионы (островные силикаты) .....	327
Цепочечные силикаты .....	328
Слоистые силикаты .....	329
Каркасные силикаты .....	333
9.3.6. Другие неорганические соединения кремния .....	338
9.3.7. Кремнийорганические соединения и полимеры на их основе (силиконы) .....	340
Литература .....	344
<b>Глава 10. ГЕРМАНИЙ, ОЛОВО, СВИНЕЦ</b> .....	<b>347</b>
10.1. Введение .....	347
10.2. Элементы .....	348
10.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	348
10.2.2. Производство и применение простых веществ .....	348
10.2.3. Атомные и физические свойства .....	350
10.2.4. Химические свойства .....	352
10.3. Соединения .....	353
10.3.1. Гидриды и гидрогалогениды .....	353
10.3.2. Галогениды и родственные комплексы .....	354
Галогениды германия .....	355
Галогениды олова .....	356
Галогениды свинца .....	359
10.3.3. Оксиды и гидроксиды .....	360
10.3.4. Производные оксокислот .....	363
10.3.5. Другие неорганические соединения .....	366
10.3.6. Связи металл–металл, кластеры .....	368
10.3.7. Металлоорганические соединения .....	371
Германий .....	371
Олово .....	374
Свинец .....	377
Литература .....	379
<b>Глава 11. АЗОТ</b> .....	<b>382</b>
11.1. Введение .....	382
11.2. Элемент .....	383
11.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	383
11.2.2. Производство и использование азота .....	386
11.2.3. Атомные и физические свойства .....	387
11.2.4. Химические свойства .....	387
11.3. Соединения .....	391
11.3.1. Нитриды, азиды и нитридокомплексы .....	391
11.3.2. Аммиак и соли аммония .....	394
Жидкий аммиак как растворитель .....	397

11.3.3. Другие гидриды азота .....	399
Гидразин .....	400
Гидроксиламин .....	403
Азид водорода .....	405
11.3.4. Термодинамические соотношения между N-содержащими частицами .....	406
11.3.5. Галогениды азота и родственные соединения .....	410
11.3.6. Оксиды азота .....	414
Закись азота (монооксид диазота) $N_2O$ .....	414
Оксид азота (монооксид азота) $NO$ .....	416
Триоксид диазота $N_2O_3$ .....	423
Диоксид азота $NO_2$ и тетраоксид диазота $N_2O_4$ .....	424
Пентаоксид диазота $N_2O_5$ и триоксид азота $NO_3$ .....	427
11.3.7. Оксокислоты, оксоанионы и соли оксокислот азота .....	428
Азотноватистая кислота и гипонитриты .....	428
Азотистая кислота и нитриты .....	430
Азотная кислота и нитраты .....	433
Ортонитраты $M_3^I NO_4$ .....	439
Литература .....	440
<b>Глава 12. ФОСФОР .....</b>	<b>444</b>
12.1. Введение .....	444
12.2. Элемент .....	446
12.2.1. Распространенность и нахождение в природе .....	446
12.2.2. Производство и применение фосфора в виде простого вещества .....	449
12.2.3. Аллотропные формы фосфора .....	449
12.2.4. Атомные и физические свойства .....	452
12.2.5. Химические свойства и стереохимия .....	453
12.3. Соединения фосфора .....	457
12.3.1. Фосфиды .....	457
12.3.2. Фосфин и его производные .....	460
12.3.3. Галогениды фосфора .....	462
Тригалогениды фосфора .....	463
Тетрагалогениды дифосфора и другие низшие галогениды фосфора .....	465
Пентагалогениды фосфора .....	465
Псевдогалогениды фосфора (III) .....	468
12.3.4. Оксогалогениды и тиогалогениды фосфора .....	468
12.3.5. Оксиды, сульфиды, селениды фосфора и их производные .....	469
Оксиды .....	470
Сульфиды .....	472
Оксосульфиды .....	475
12.3.6. Оксокислоты фосфора и их соли .....	475
Гипофосфористая кислота и гипофосфиты $[H_2^+ PO(OH) \text{ и } H_2PO_2^-]$ .....	478
Фосфористая кислота и фосфиты $[HPO(OH)_2 \text{ и } HPO_3^{3-}]$ .....	479
Гипофосфорная кислота ( $H_4P_2O_6$ ) и гипофосфаты .....	480
Другие низшие оксокислоты фосфора .....	481
Фосфорные кислоты .....	481
Ортофосфаты .....	487
Цепочечные полифосфаты .....	490
цикло-Полифосфорные кислоты и цикло-полифосфаты .....	493
12.3.7. Соединения со связями фосфор-азот .....	494
Циклофосфазаны .....	496
Фосфазены .....	496
Полифосфазены .....	498
12.3.8. Фосфорорганические соединения .....	504
Литература .....	507

<b>Глава 13. МЫШЬЯК, СУРЬМА, ВИСМУТ</b>	<b>511</b>
13.1. Введение	511
13.2. Элементы	512
13.2.1. Распространенность, нахождение в природе и получение	512
13.2.2. Атомные и физические свойства	514
13.2.3. Химические свойства	516
13.3. Соединения мышьяка, сурьмы и висмута	518
13.3.1. Интерметаллические соединения и сплавы	518
13.3.2. Гидриды мышьяка, сурьмы и висмута	519
13.3.3. Галогениды и их производные	521
Тригалогениды $\text{MX}_3$	522
Пентагалогениды $\text{MX}_5$	524
Смешанные и низшие галогениды	525
Галогенидные комплексы $\text{M}^{\text{III}}$ и $\text{M}^{\text{V}}$	527
Оксогалогениды	531
13.3.4. Оксиды и оксосоединения	533
Оксосоединения $\text{M}^{\text{III}}$	533
Оксиды со смешанной валентностью элемента	536
Оксосоединения $\text{M}^{\text{V}}$	537
13.3.5. Сульфиды и родственные соединения	539
13.3.6. Связи металл—металл и кластеры	542
13.3.7. Другие неорганические соединения	549
13.3.8. Металлоорганические соединения	550
Органические производные $\text{As}^{\text{III}}$	550
Органические производные $\text{As}^{\text{V}}$	551
Физиологическое действие мышьякосодежащих соединений	552
Сурьмаорганические и висмуторганические соединения	554
Литература	556
<b>Глава 14. КИСЛОРОД</b>	<b>560</b>
14.1. Элемент	560
14.1.1. Введение	560
14.1.2. Распространение в природе	561
14.1.3. Получение	562
14.1.4. Атомные и физические свойства	563
14.1.5. Другие формы кислорода	566
Озон	566
Атомарный кислород	570
14.1.6. Химические свойства диоксида $\text{O}_2$	570
14.2. Соединения кислорода	573
14.2.1. Координационная химия: кислород в роли лиганда	573
14.2.2. Вода	577
Введение	577
Распространение воды в природе и ее запасы	578
Физические свойства и строение	579
Кристаллизационная вода, аквакомплексы и твердые гидраты	581
Химические свойства	583
Поливода	588
14.2.3. Пероксид водорода	588
Физические свойства	588
Химические свойства	589
14.2.4. Фториды кислорода	592
14.2.5. Оксиды	594
Различные варианты классификации	594
Нестехиометрия	596
Литература	598
<b>Предметный указатель</b>	<b>602</b>