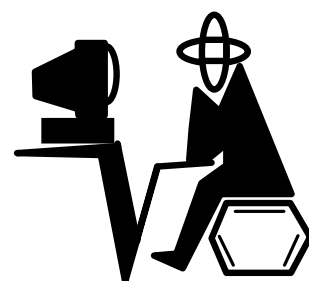


**Н.Я. Турова**

# Неорганическая химия в таблицах



*Высший химический колледж Российской академии наук*

**Москва 1997**





# ИНТЕРГАЛОГЕНИДЫ И ОКСОФТОРИДЫ ГАЛОГЕНОВ

1/n-

0

1/n+

1+

3+

**M<sup>+</sup>[Γ<sub>n</sub>]<sup>-</sup>, полигалогениды<sup>30)</sup>**  
 M<sup>+</sup> = NH<sub>4</sub>, K-Cs, [R<sub>4</sub>N], [Ph<sub>4</sub>As], [PBr<sub>4</sub>], [Ln (капролактама)<sub>6</sub>]/3

**[Me<sub>4</sub>N]Cl<sub>3</sub>**  
**RbBr<sub>3</sub>**, разл. 140  
**CsBr<sub>3</sub>**, т. пл. 180  
**[PBr<sub>4</sub>]Br<sub>3</sub>**  
**CsBr<sub>5</sub>**, крист., красн.

**KI<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O**, крист., бур., т.пл. 38, разл. 225  
**CsI<sub>3</sub>**, т. пл. 207  
**KI<sub>5</sub>·2C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>; CaI<sub>5</sub>·7H<sub>2</sub>O**  
**RbI<sub>7</sub>·4C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**  
**RbI<sub>9</sub>·4C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>**  
**Cs<sub>2</sub>I<sub>8</sub>**, крист., фиол.  
**[Et<sub>4</sub>N][I(I<sub>2</sub>)<sub>n</sub>]**, n = 2, 3, 4  
**[H(теобромин)]<sub>4</sub><sup>+</sup>[I<sub>16</sub>]<sup>-</sup>**, анион центросимметричный (I<sub>3</sub>-I<sub>2</sub>-I<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

**[Γ<sub>3</sub>]<sup>-</sup>**, линейные анионы (ψ-триг. бипир.)  
 Br-Br 2.5 (Rb)  
 2.4, 2.9 (PBr<sub>4</sub>)  
**RbI(BrCl)**

I-I 2.9 (M=Ph<sub>4</sub>As)  
 2.8, 3.0 (Cs)  
 2.8, 3.1 (NH<sub>4</sub>)  
**CsI(IBr)** (не сущ. аналогичных солей K и Rb) - используют для очистки Cs

**[Cl-I-Br]<sup>-</sup>**, I-Cl 2.38, I-Br 2.50  
 Уст. MΓΓ<sub>n</sub> возрастает по ряду Li < Cs < R<sub>4</sub>N, p. в H<sub>2</sub>O падает; CCl<sub>4</sub>, эф., бзл. ускоряют распад MΓΓ<sub>n</sub> → MΓ<sup>+</sup> + ΓΓ<sup>-</sup> (экстр. ΓΓ<sup>-</sup>)

<b>ClI<sub>3</sub></b>	<b>BrI<sub>3</sub></b> <sup>57)</sup>
Мол. - Т-образные (ψ-триг. бипир.)	
Cl-I 1.58, 1.70	Br-I 1.73, 1.81

	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>Cl<sub>2</sub></b>	<b>Br<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>
т. пл.	-219	-101	-7.2	113.7
т. к.	-188	-34	58.8	183
ΔH <sub>дис.</sub>	158	243	192	150
Γ-Γ	1.42	1.99	2.28	2.67
(г.)				

**[Cl<sub>3</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**<sup>7)</sup>  
**[Br<sub>n</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, n = 2, 3, 5; красн.  
**[I<sub>n</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, n = 2-5, черн.  
**[I<sub>2</sub>Cl]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, син. или красн.  
**[Br<sub>2</sub>Cl]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**,  
**[I<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, X = AlCl<sub>4</sub>, HSO<sub>4</sub>, SO<sub>3</sub>F, Sb<sub>2</sub>F<sub>11</sub>, SbF<sub>6</sub>, Sb<sub>3</sub>F<sub>16</sub>, IF<sub>6</sub><sup>+</sup>, I<sub>3</sub><sup>+</sup>, I<sub>4</sub><sup>+</sup>, Br<sub>2</sub><sup>+</sup>, поликатионы, Γ-Γ в [Γ<sub>2</sub>]<sup>+</sup>  
 [I<sub>3</sub>]<sup>+</sup> - угловые, I-I 2.66, ∠III 102;  
 [I<sub>4</sub>]<sup>2+</sup> - прямоугольник, I-I 2.57 и 3.26;  
 [I<sub>5</sub>]<sup>+</sup> = I-I-I-I-I  
 I-I 2.7

**BrCl** (⇌ Br<sub>2</sub> + Cl<sub>2</sub>), ст. дис. 40% (20°), г., желт.  
 т. пл. -54  
 т. к. 5 с разл.  
 ΔH<sub>дис.</sub> +15  
 μ = 0.57  
 Γ-Cl 2.14

**ICl**, иглы красн. (α), кор. (β)  
 27 (α), 14 (β)  
 97 с разл.  
 -33  
 0.65  
 2 ICl (ж.) ⇌ I<sup>+</sup> + ICl<sub>2</sub><sup>-</sup>  
 2.32  
 в стр. - зигзагообразные цепи мол.  
 + H<sub>2</sub>O ⇌ HCl + Γ<sub>2</sub> + HΓO<sub>3</sub>  
 хлор- и иодагент в орг. синтезе

**Cs[BrCl<sub>2</sub>]**, крист., желт., т. пл. 205, разл. 150  
 анионы [Γ<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]<sup>-</sup> - линейные (ψ-триг. бипир., sp<sup>3</sup>d), I-Cl 2.55<sup>9)</sup>

**H[ICl<sub>2</sub>]**, K = 10<sup>-3</sup>  
**M[ICl<sub>2</sub>]**, M = K (разл. 215), Rb, Cs (т. пл. 238, разл. 290) [PyH], [PCl<sub>4</sub>], крист., оранжев.

**IBr** ⇌ I<sub>2</sub> + Br<sub>2</sub>, ст. дис. 8% (20°), крист., красн., т. пл. 42, т.к. 119 с разл., ΔH = -10, μ = 1.21, I-Br 2.52; **2IBr·Dipy**, уст.; гр. [Br-I-N] - линейна, I-N 2.46<sup>33)</sup>

**H[IBr<sub>2</sub>]**, K = 10<sup>-3</sup>  
**M[IBr<sub>2</sub>]**, M = K (т. пл. 58, разл. 180); Cs (т. пл. 243, разл. 320); [Ph<sub>4</sub>P], крист., красн., анион линейный, I-Br 2.71<sup>10)</sup>

**[R<sub>4</sub>P][I(N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]; Na[I(CN)<sub>2</sub>]·2H<sub>2</sub>O**, анион линейный, I-C 2.31<sup>10)</sup>

**Γ(SO<sub>3</sub>F)** - см. Табл. "Сера".

<b>ClF</b> , г., бц. т. пл. -156 т. к. -100 ΔH -50 μ 0.65 Γ-F 1.63	<b>BrF</b> , ж., красн. 20° Br <sub>2</sub> + BrF <sub>3</sub> -33 20 -42 1.29 1.76	<b>IF</b> , порошок, красн. -14° I <sub>2</sub> + IF <sub>5</sub> - -89 - 1.91
сильнейшие фторагенты + H <sub>2</sub> O → Γ <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> + HF ·Py, уст.		

<b>ClF<sub>3</sub></b> г., бц. т. пл. -76 т. к. 12 ΔH -163 μ 0.55 в г. димеры	<b>BrF<sub>3</sub></b> ж., бц. 9 127 -255 1.19	<b>IF<sub>3</sub></b> крист., желт. - разл. -28 (→ I <sub>2</sub> + IF <sub>5</sub> ) -496 ·2Py, бц.
2 ΓF <sub>3</sub> (ж.) ⇌ ΓF <sub>2</sub> <sup>+</sup> + ΓF <sub>4</sub> <sup>-</sup> Т-образные мол. (ψ-триг. бипир., sp <sup>3</sup> d)		
Γ-F(акс.) 1.70 Γ-F(эkv.) 1.60 ∠F <sub>акс.</sub> ΓF <sub>эkv.</sub> 87 ∠F <sub>эkv.</sub> ΓF <sub>акс.</sub> 185	1.81 1.72 86 188	- - - -
сильнейшие фторагенты: + Э <sub>2</sub> O <sub>n</sub> → ЭF <sub>n</sub> + Γ <sub>2</sub> + O <sub>2</sub> (метод определения O); Ir, Os, SiO <sub>2</sub> воспл.		

**M[ClF<sub>2</sub>], M[BrF<sub>2</sub>], M[IF<sub>2</sub>]**, M = K-Cs, разл. 230, анионы - линейные<sup>64)</sup>

**[ClF<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>, [BrF<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**,<sup>11)</sup>  
**[BrCl<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>, [ClBr<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**,  
**[IF<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, X = AuF<sub>4</sub>, PF<sub>6</sub>, BF<sub>4</sub>, AsF<sub>6</sub>, SbF<sub>6</sub>, BiF<sub>6</sub>, PtF<sub>6</sub>, уст. Sb > As > P, катионы - ψ-тетраэдры (sp<sup>3</sup>), Γ-F 1.54 (Cl), 1.69 (Br), ∠FGF 103 (Cl), 93 (Br), I-Cl 2.31, ∠ClCl 91.5

**M[ClF<sub>4</sub>], M[BrF<sub>4</sub>], M[IF<sub>4</sub>]**, M = K-Cs, [NO], крист., бц., анион - квадрат (ψ-окт., sp<sup>3</sup>d<sup>2</sup>), Γ-F 1.88 (Br), 2.00 (I)  
**RbBr<sub>2</sub>F<sub>7</sub>**

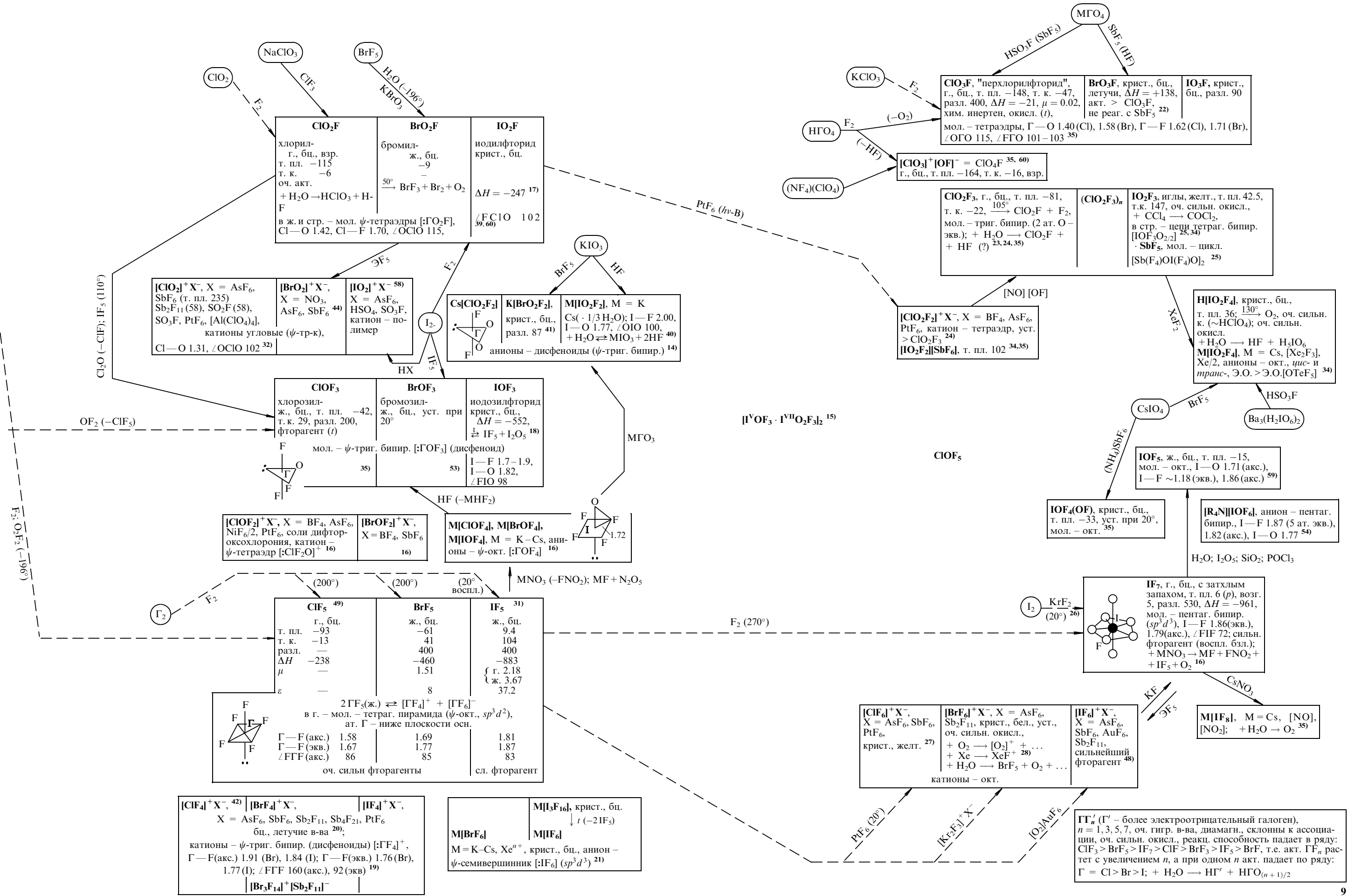
**ICl<sub>3</sub>**, крист., желт., т. пл. 101 (p), возг., т. к. 64 с разл. (→ ICl + Cl<sub>2</sub>), ΔH = -88, в стр. плоские димеры 2ICl<sub>3</sub>(ж.) ⇌

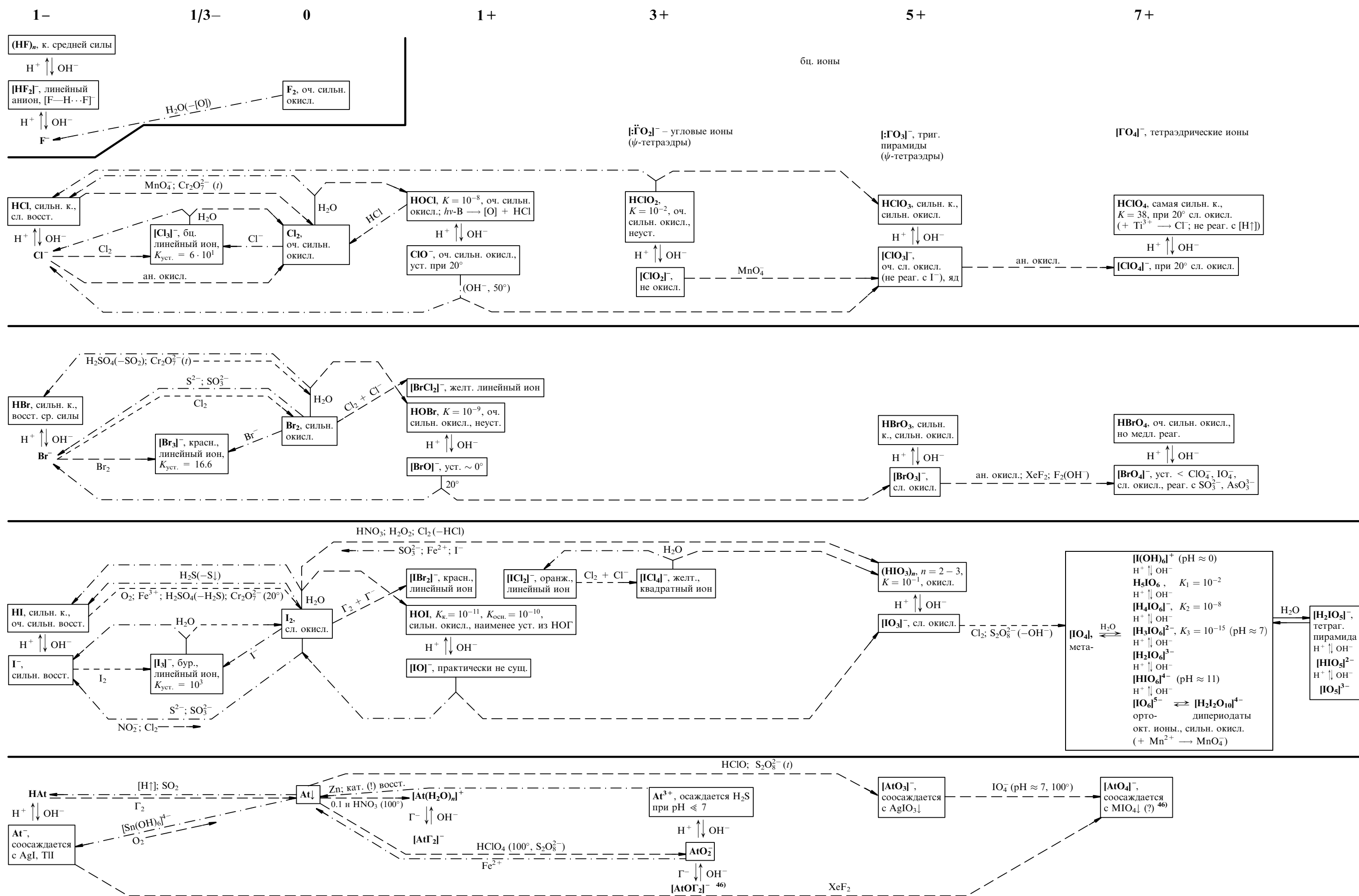
**[ICl<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, крист., красн., катион - ψ-тетраэдр (<90°), I-Cl 2.27<sup>12)</sup>  
**[ΓCl]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, Γ = Br, I,<sup>8)</sup>  
**[IBr<sub>2</sub>]<sup>+</sup>X<sup>-</sup>**, X = Sb<sub>2</sub>F<sub>11</sub>, SbCl<sub>6</sub>, AlCl<sub>4</sub><sup>8)</sup>

**H[ICl<sub>4</sub>]·4H<sub>2</sub>O**, крист., оранжев., **K[ICl<sub>4</sub>]**, иглы, желт., т. пл. 116 с разл., анион - квадрат (ψ-окт.), I-Cl 2.42, 2.47, 2.60, 2.53<sup>13)</sup>

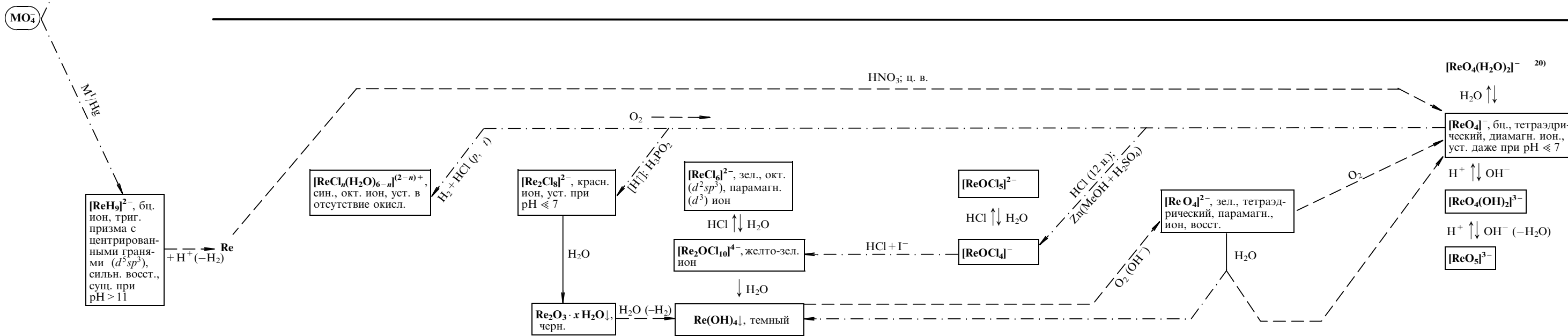
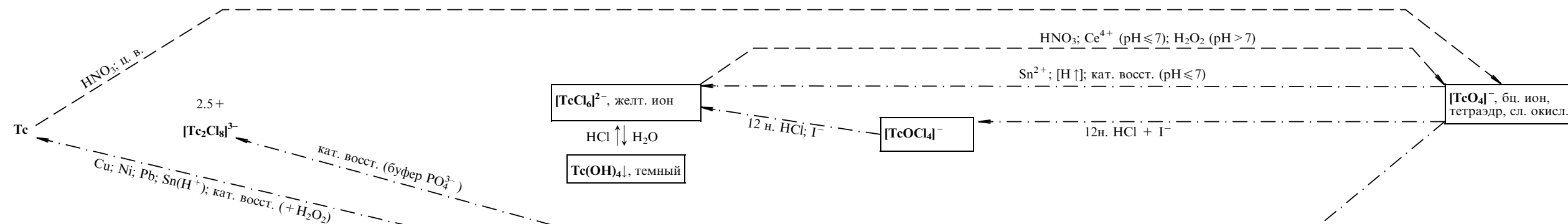
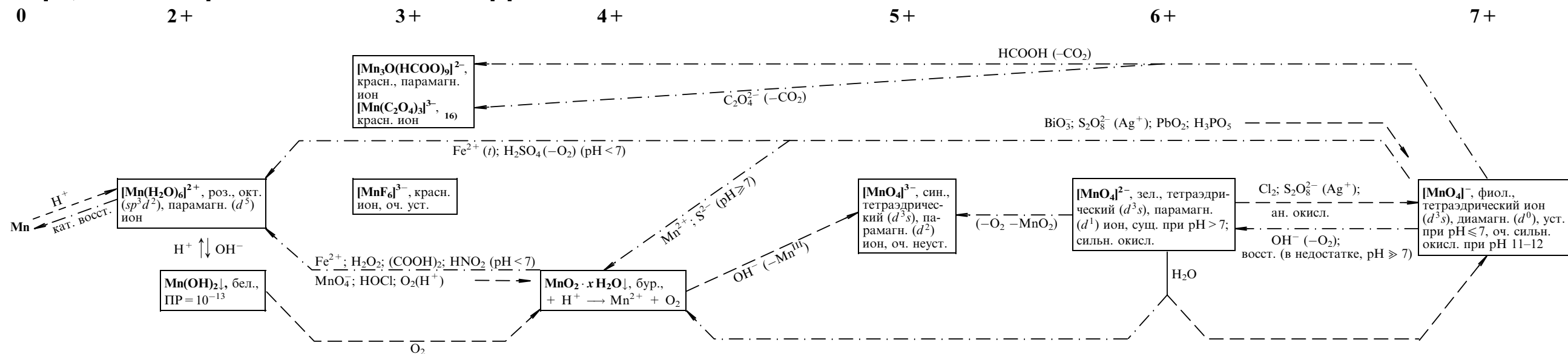
5+

7+



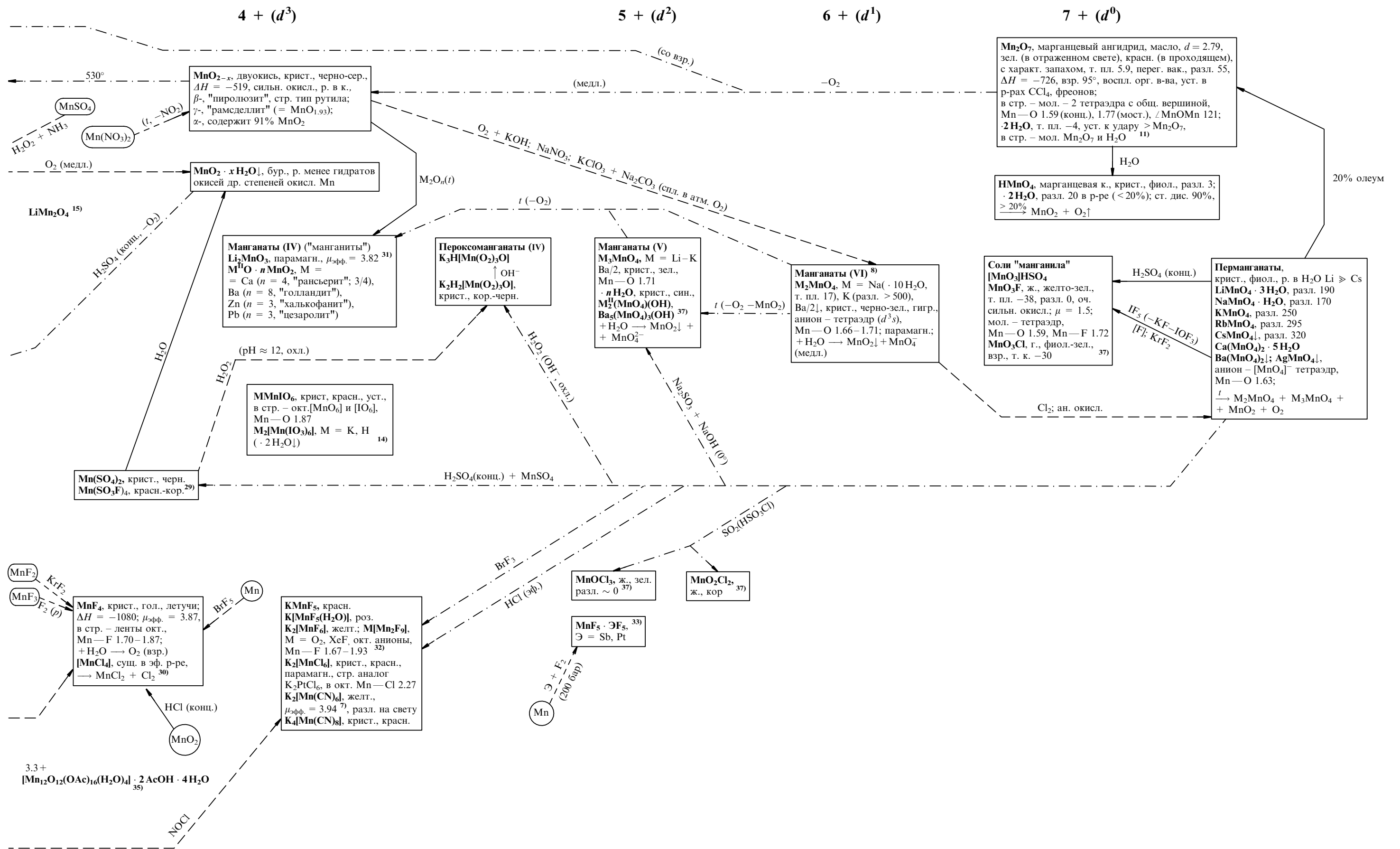


# ИОНЫ МАРГАНЦА, ТЕХНЕЦИЯ И РЕНИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ









# ТЕХНЕЦИЙ, РЕНИЙ

Ионы Tc и Re в водном р-ре см. с. 11

Tc <sup>0</sup>	4d	5s	5p	5d	3.0.
	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↑			
Re <sup>0</sup>	5d	6s	6p	6d	1.5
	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↑			

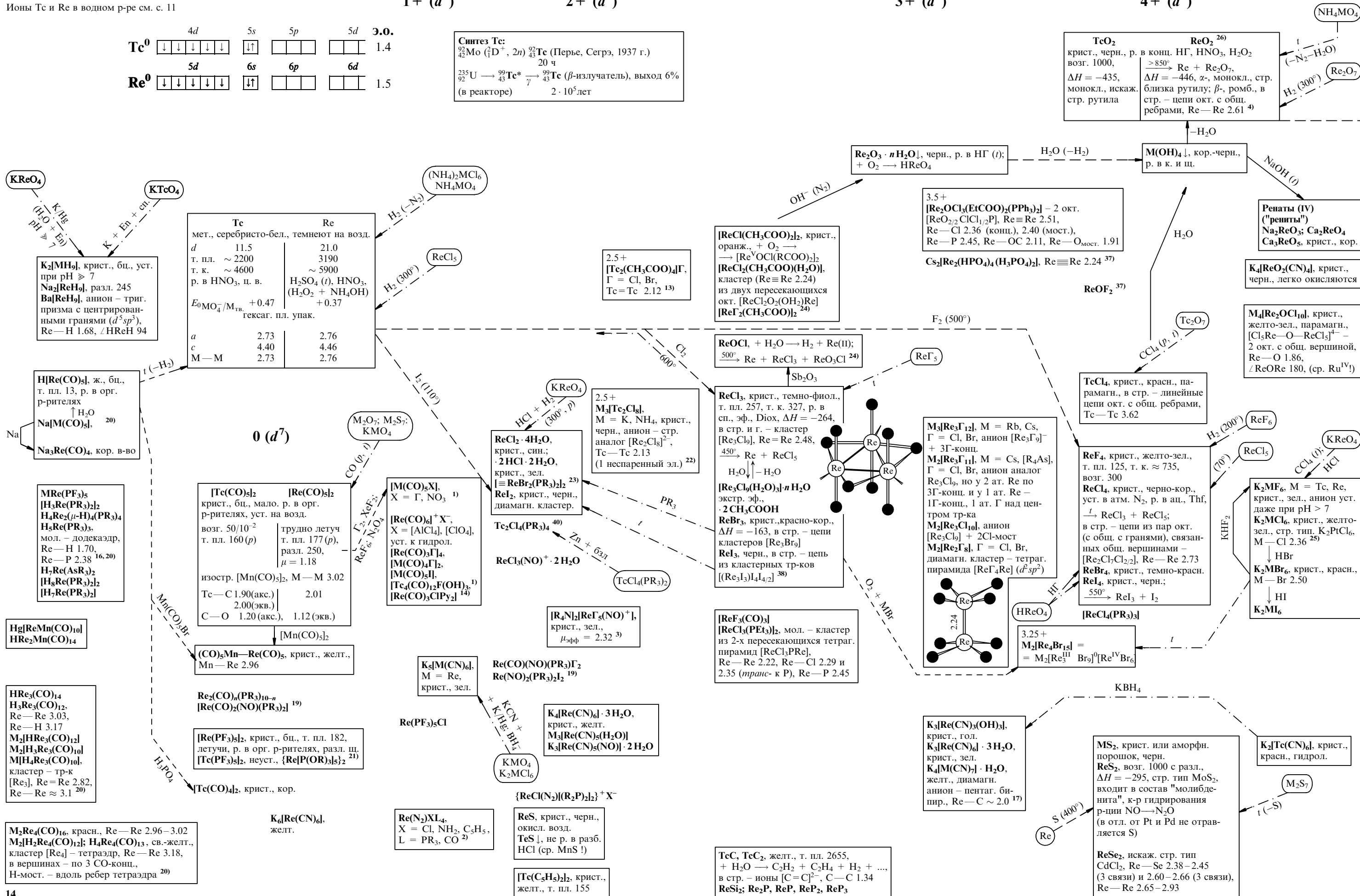
**Синтез Tc:**  
 $^{92}_{42}\text{Mo} (\text{D}^+, 2n) \xrightarrow{^{235}_{92}\text{U}} \text{ }^{92}_{43}\text{Tc}$  (Перье, Сегрэ, 1937 г.)  
 20 ч  
 $^{235}_{92}\text{U} \rightarrow \text{ }^{99}_{43}\text{Tc}^* \xrightarrow{\gamma} \text{ }^{99}_{43}\text{Tc}$  ( $\beta$ -излучатель, выход 6% (в реакторе)  $2 \cdot 10^5$  лет)

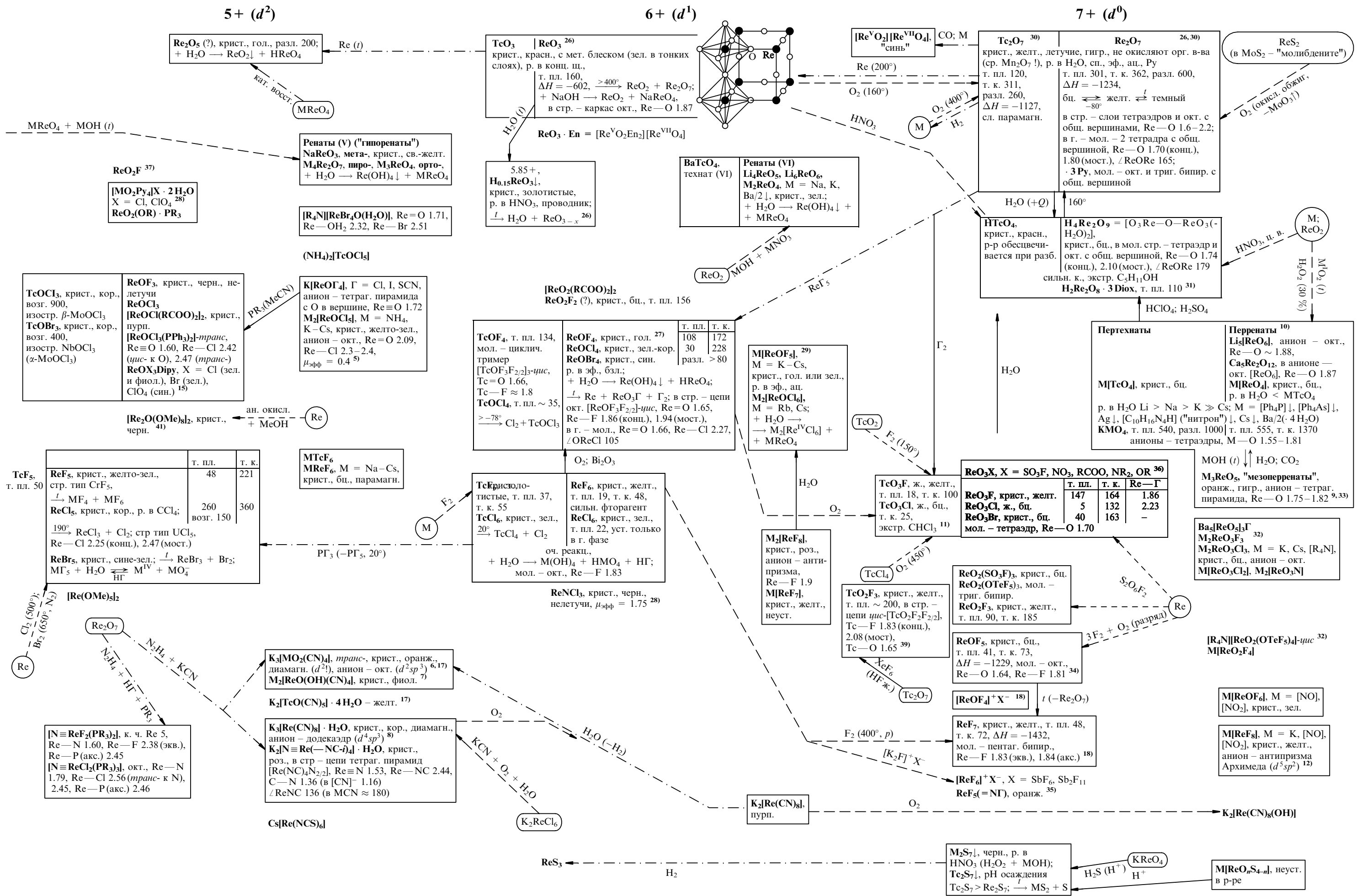
1+ ( $d^6$ )

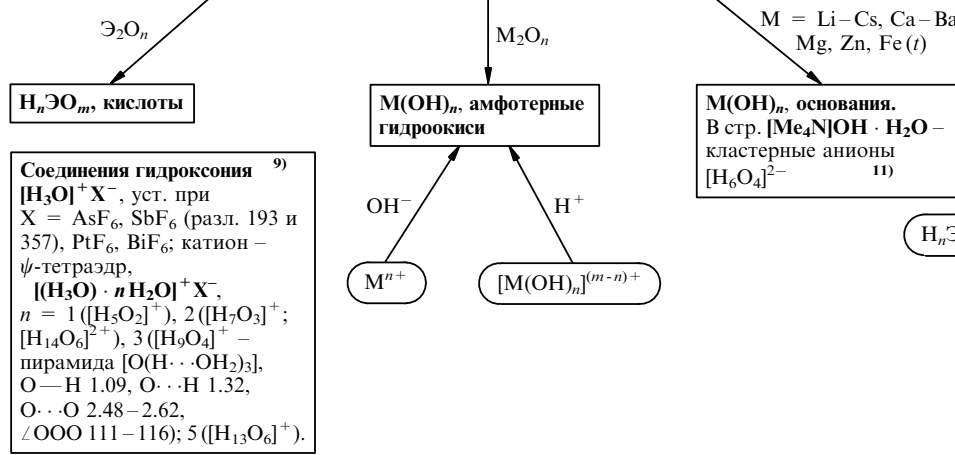
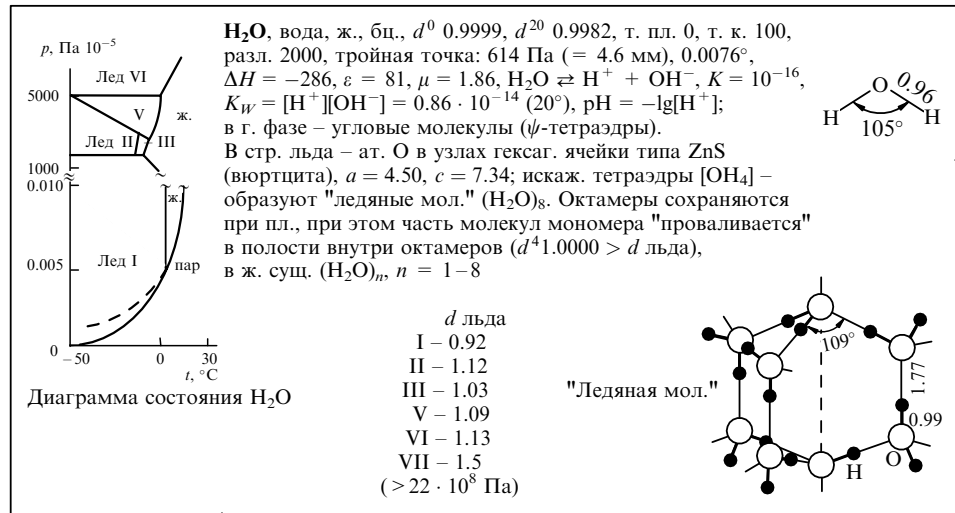
2+ ( $d^5$ )

3+ ( $d^4$ )

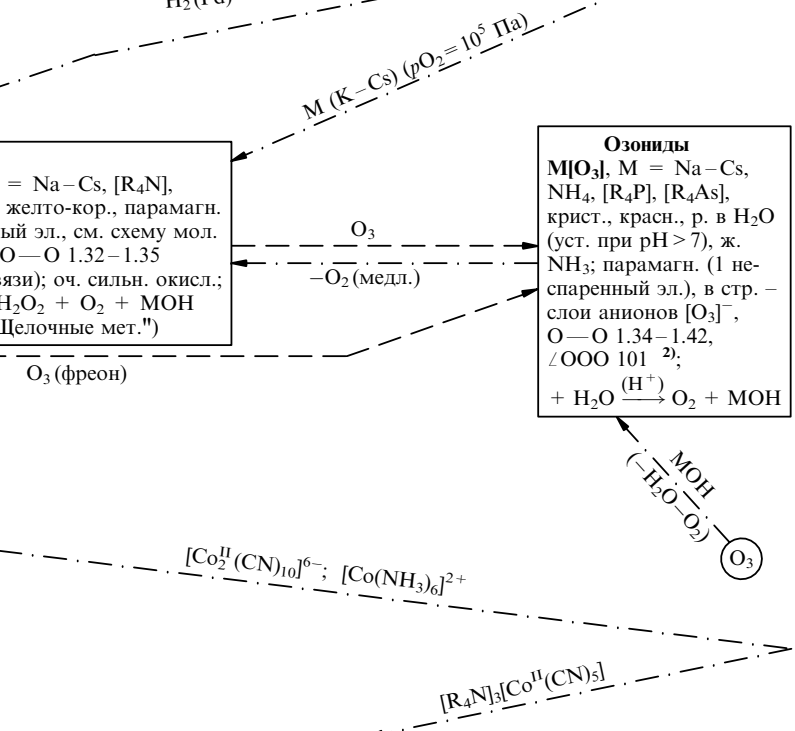
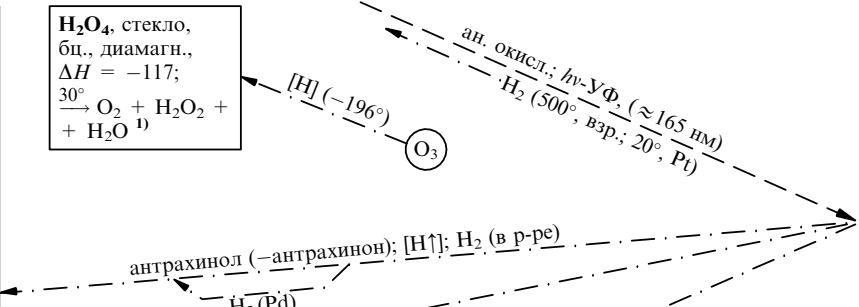
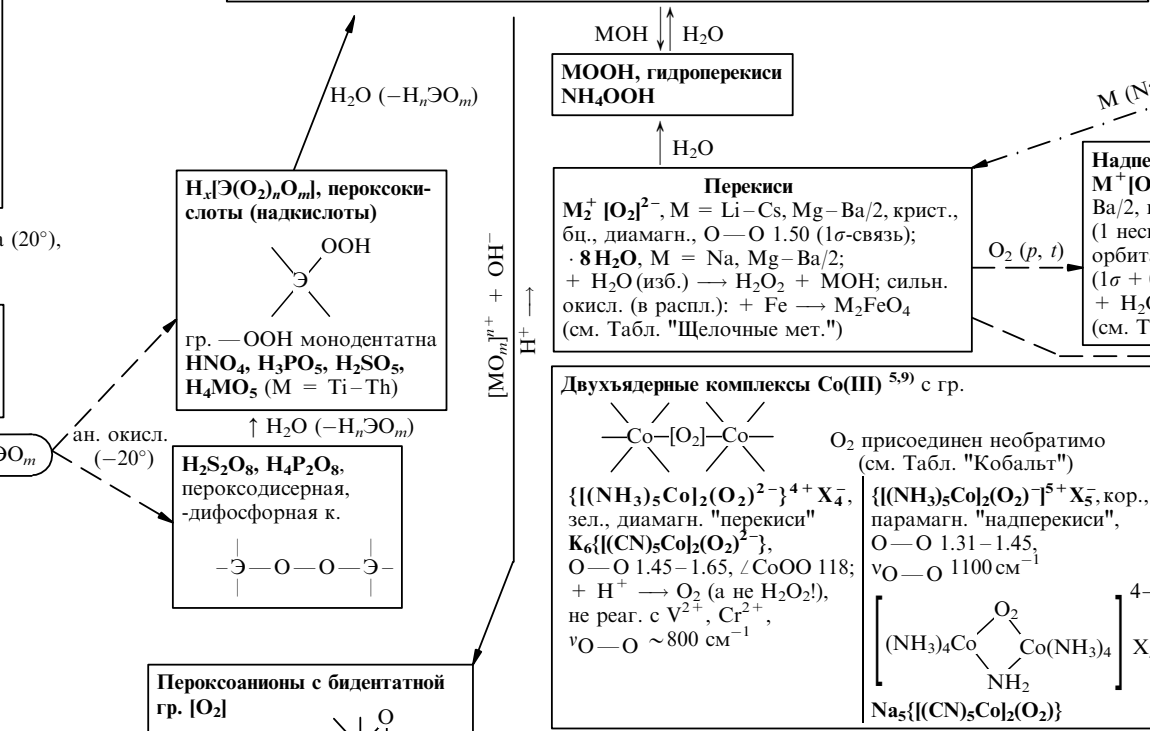
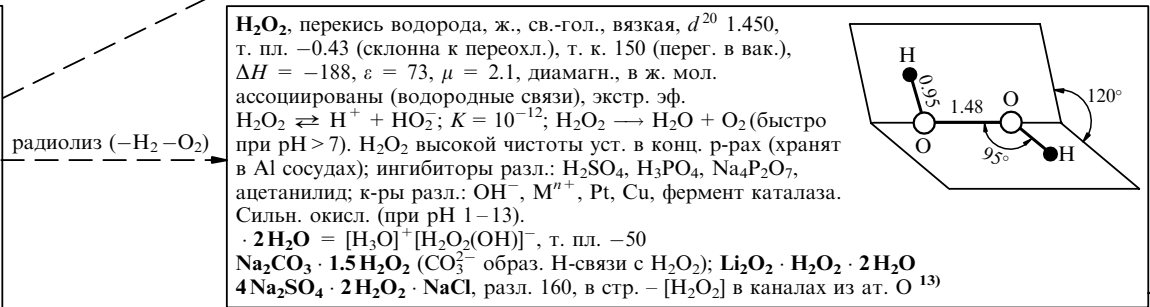
4+ ( $d^3$ )







[R<sub>3</sub>O]X, R = Alk, соединения алкилоксония, HX · R<sub>2</sub>O; HX · ROH



**Оксигенильные комплексы** содержат бидентатную гр. [O<sub>2</sub>], M O<sub>2</sub> диамагн.,  $\nu_{O-O}$  830–860 см<sup>-1</sup> (см. также Табл. "Рутений" – "Платина" 5,6)

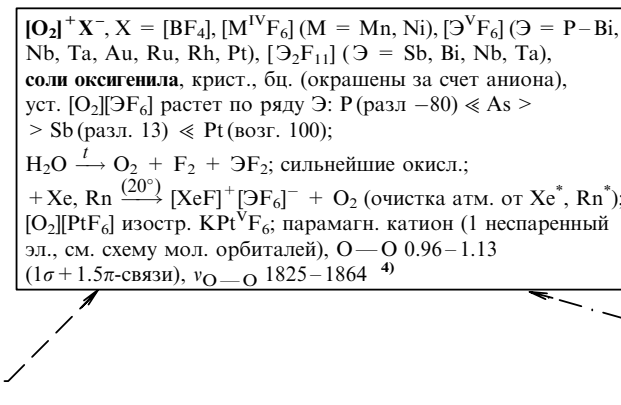
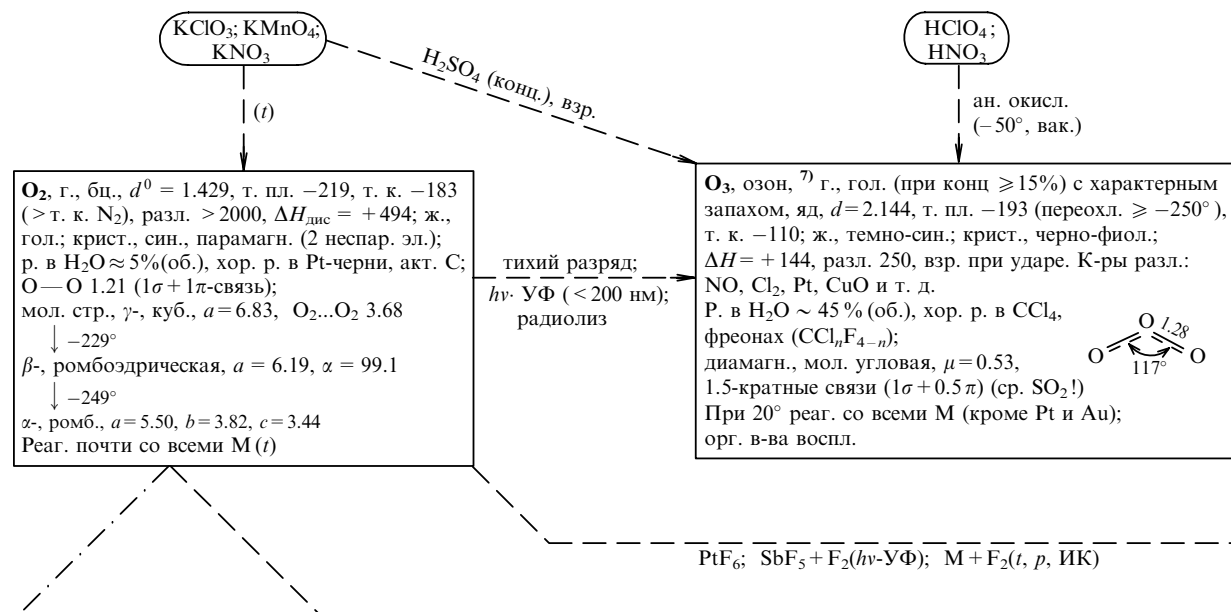
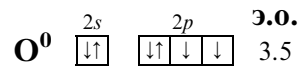
**O<sub>2</sub> присоединен необратимо** (при разл. → H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и др. продукты восст. O<sub>2</sub>), O—O > 1.45

**O<sub>2</sub> присоединен обратимо**, O—O ≤ 1.45

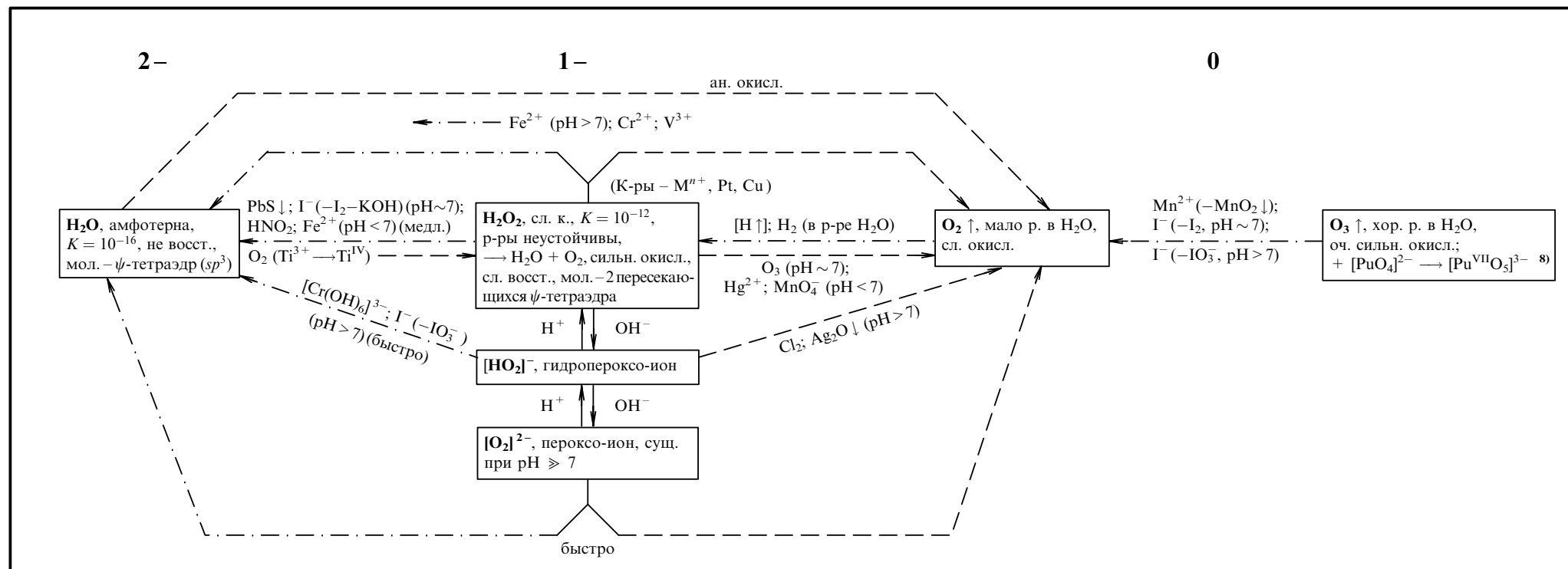
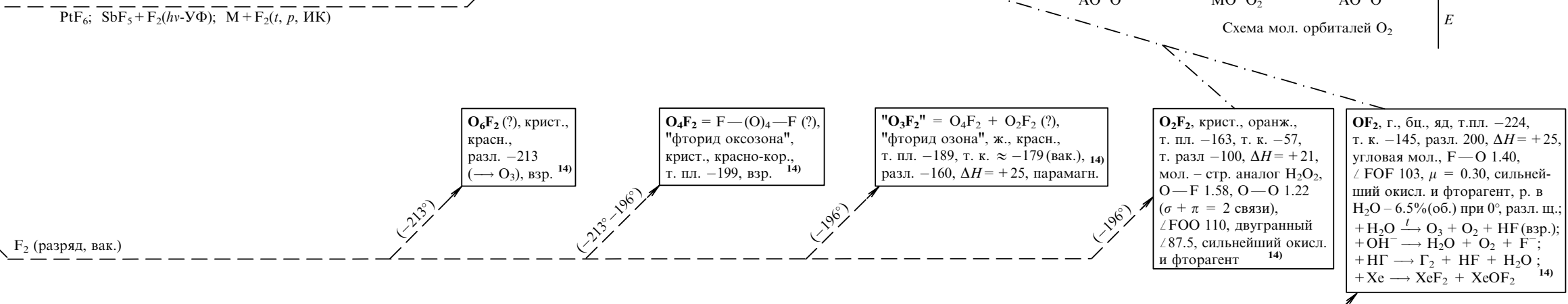
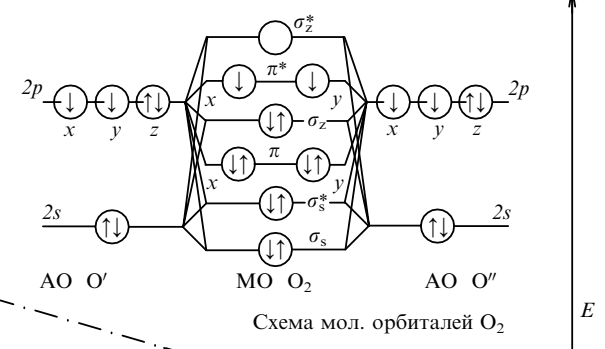
[CuL <sub>3</sub> (O <sub>2</sub> )X <sub>2</sub> , L = 1,2-Ме <sub>2</sub> -имидазол	O—O	[IrΓ(CO)(PPh <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )	O—O
[Ir(CO)(PR <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )	1.51	Γ = Cl ("комплекс Васка")	1.30
[Ir(Ph <sub>2</sub> P—CH <sub>2</sub> —) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )PF <sub>6</sub>	1.52	Br	1.36
[RhΓ(PR <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (t-BuNC)(O <sub>2</sub> )	—	[Rh(Ph <sub>2</sub> P—CH <sub>2</sub> —) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )PF <sub>6</sub>	1.42
[Pt(PPh <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> ) · L, L = 1.5 C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , 2 CHCl <sub>3</sub>	1.45	[RhΓ(PR <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (n-CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> NC)(O <sub>2</sub> )	—
{Co[(Ph <sub>2</sub> PCH=) <sub>2</sub> ] <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )BF <sub>4</sub> · 2 C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1.50	[Rh(PPh <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl(O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (см. Табл. "Родий")	1.44
[(PR <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (CN) <sub>2</sub> Co—NC—Co(CN)(PR <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> (O <sub>2</sub> )	1.42	Диметилглиоксиматы Fe <sup>II</sup> (Co, Ni) · n O <sub>2</sub>	—
[M(O <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (ЭR <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>+</sup> X <sup>-</sup> , M = Rh, Ir, Э = P, As	1.44	Комплексы Co с аминокислотами, осн. Шиффа	—
	≈ 1.48		

окисл. акт. гр. [O<sub>2</sub>] > мол. O<sub>2</sub>; "оксигенильные" комплексы + NO → NO<sub>2</sub><sup>-</sup>; + NO<sub>2</sub> → NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; + SO<sub>2</sub> → SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; + PR<sub>3</sub> → OPR<sub>3</sub>; + RCH<sub>2</sub>OH → RCOO<sup>-</sup>; продукты окисл. становятся L: [Pt(PR<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] + NO → [Pt(PR<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>]; к-ры окисл.: [Pt(PR<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] + PR<sub>3</sub> → [Pt(PR<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(O<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] → Pt(PR<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + 2 OPR<sub>3</sub>

# КИСЛОРОД



	Число валентных эл.	Число связей	O—O	$\nu_{O-O}$ , см <sup>-1</sup>	Число неспаренных эл.
[O <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	14	1 $\sigma_z$	1.50	880	0
[O <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	13	1 $\sigma_z$ +0.5 $\pi$ =1.5	1.33	1089	1
O <sub>2</sub>	12	1 $\sigma_z$ +1 $\pi$ =2	1.21	1555	2
[O <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>	11	1 $\sigma_z$ +1.5 $\pi$ =2.5	1.13	1825–1864	1

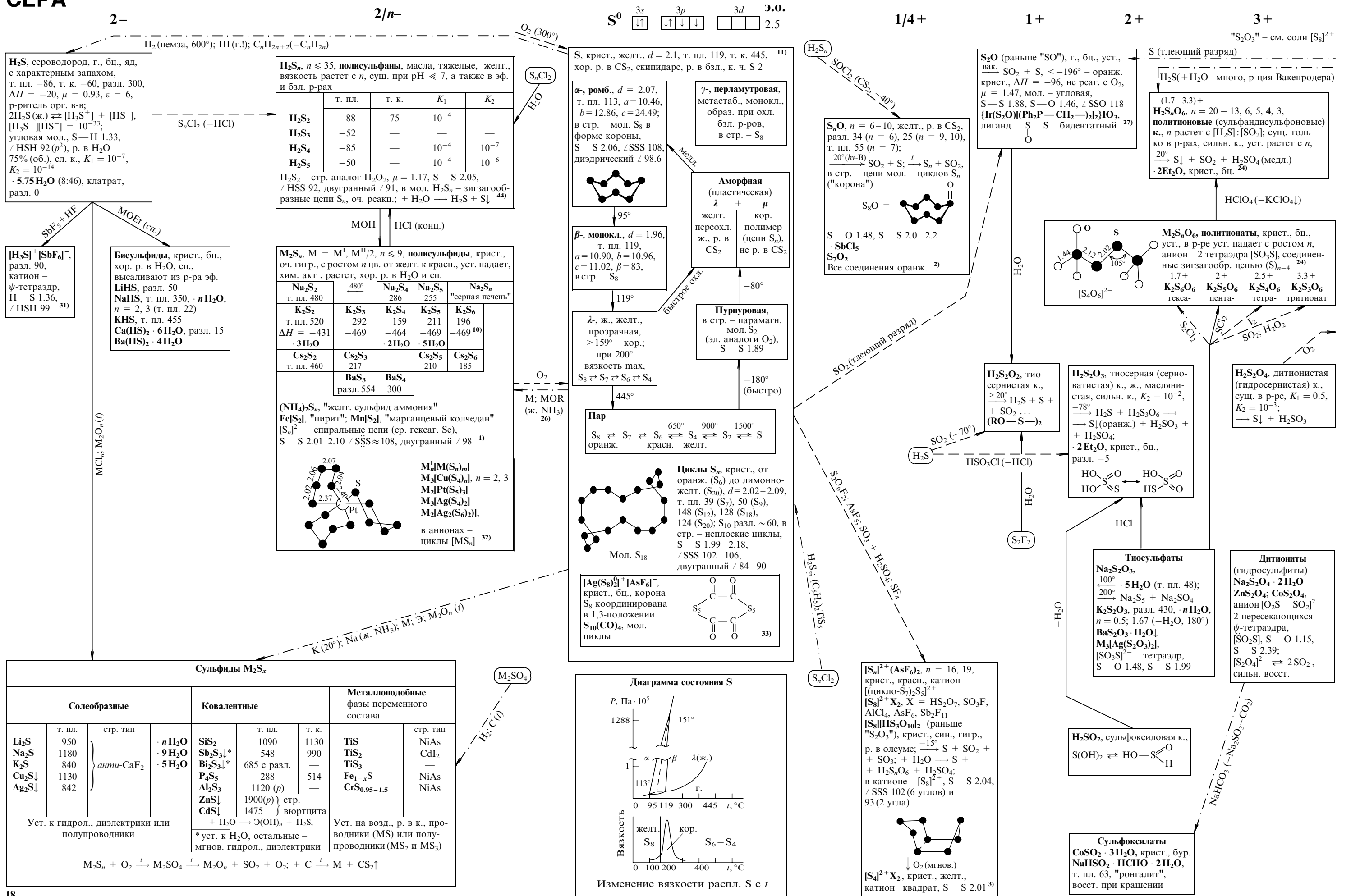


Оксиды (типы структур)

Ионные	Молекулярные	Полимерные	Металлоподобные
т. пл.	т. пл.	т. к.	т. пл.
<b>Li<sub>2</sub>O</b> 1570	<b>Cl<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b> -90	<b>BeO</b> 2580	<b>MnO</b> <sub>1.0-1.13</sub> т. пл. 1780, полупроводник
<b>K<sub>2</sub>O</b> 740	<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b> 5.9 разл.	<b>Nb<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b> 4260	Тип. вюрцита
стр. тип.	мол. — 2 тетраэдра с общ. вершиной	<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> 2072	$\sim 3500$ блеском, проводник, искаж. тип NaCl, окт. кластер [Nb <sub>6</sub> ], Nb—Nb 2.80
<b>CaO</b> 2614	<b>OsO<sub>4</sub></b> 39.5(z) 130	<b>TiO<sub>2</sub></b> 1870	$\sim 3000$ тип рутила.
<b>BaO</b> 1923	<b>XeO<sub>4</sub></b> -36		<b>NbO<sub>2</sub></b> , полупроводник, т. пл. 2080., искаж. стр. рутила
стр. тип. NaCl	<b>SeO<sub>3</sub></b> 121		<b>W<sub>18</sub>O<sub>49</sub></b> — в стр. — слон кластеров [W <sub>6</sub> ]
	возг. в стр. — циклы		
	<b>[SeO<sub>3</sub>]<sub>4</sub>(z)</b>		
	<b>P<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> 24		
	175 в стр. — мол. P <sub>4</sub> O <sub>6</sub>		
	+ H <sub>2</sub> O $\rightarrow$ M(OH) <sub>2</sub>		
	+ H <sub>2</sub> O $\rightarrow$ Э <sub>2</sub> O <sub>n</sub> · x H <sub>2</sub> O		

He реаг с H<sub>2</sub>O

# СЕРА



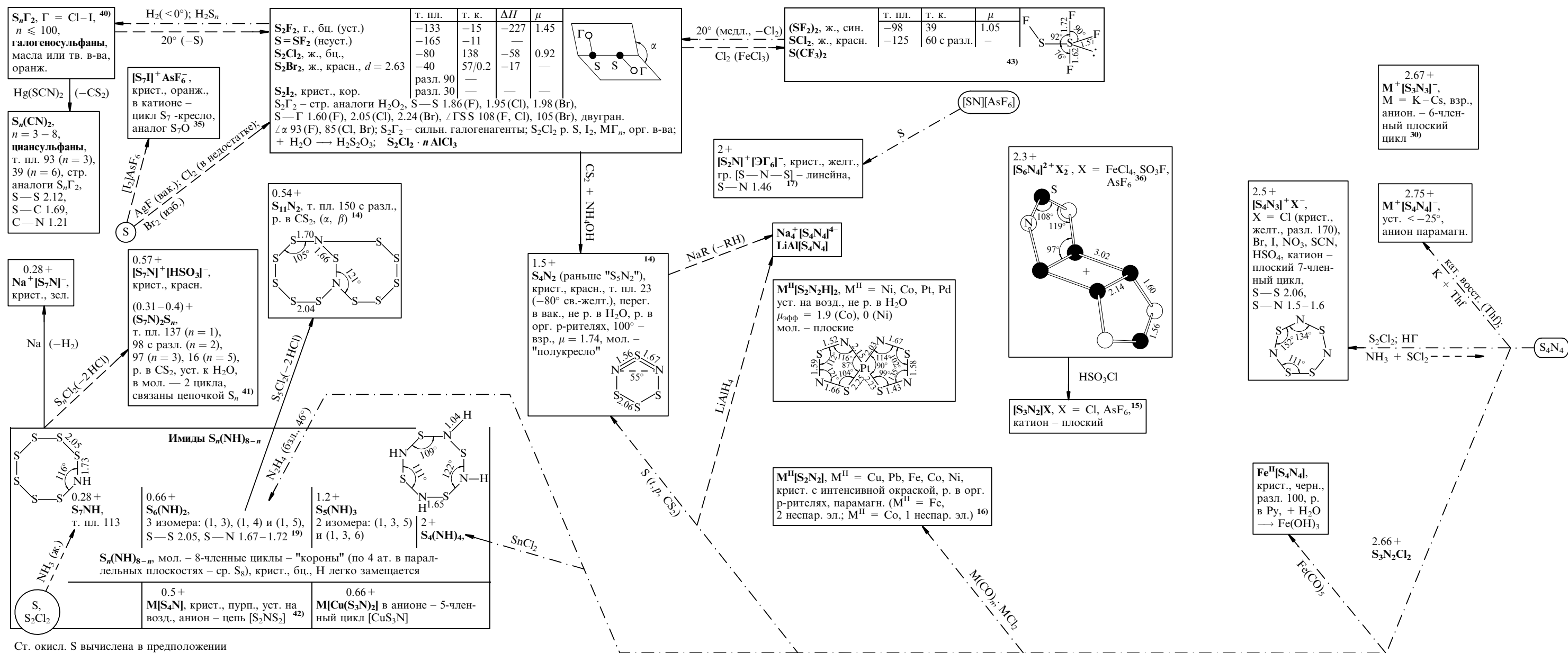


# ГАЛОГЕНИДЫ, НИТРИДЫ, ГАЛОГЕНО- И ОКСОНИТРИДЫ СЕРЫ 13)

1/n +

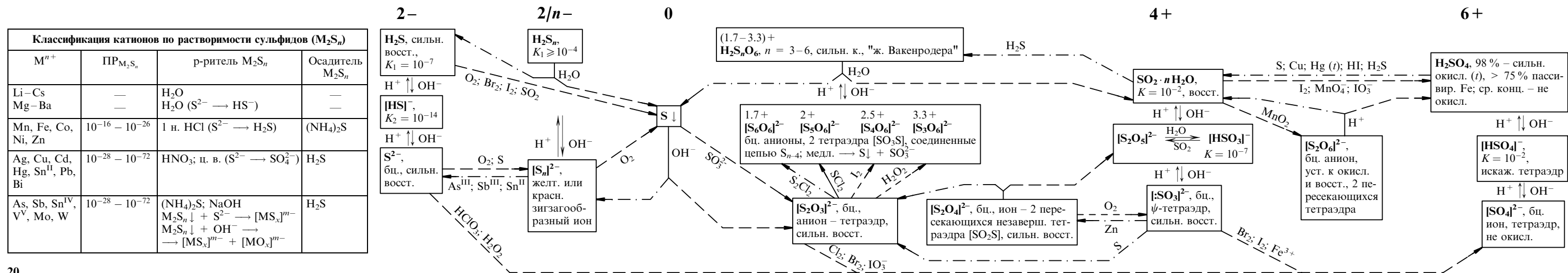
1 +

2 +

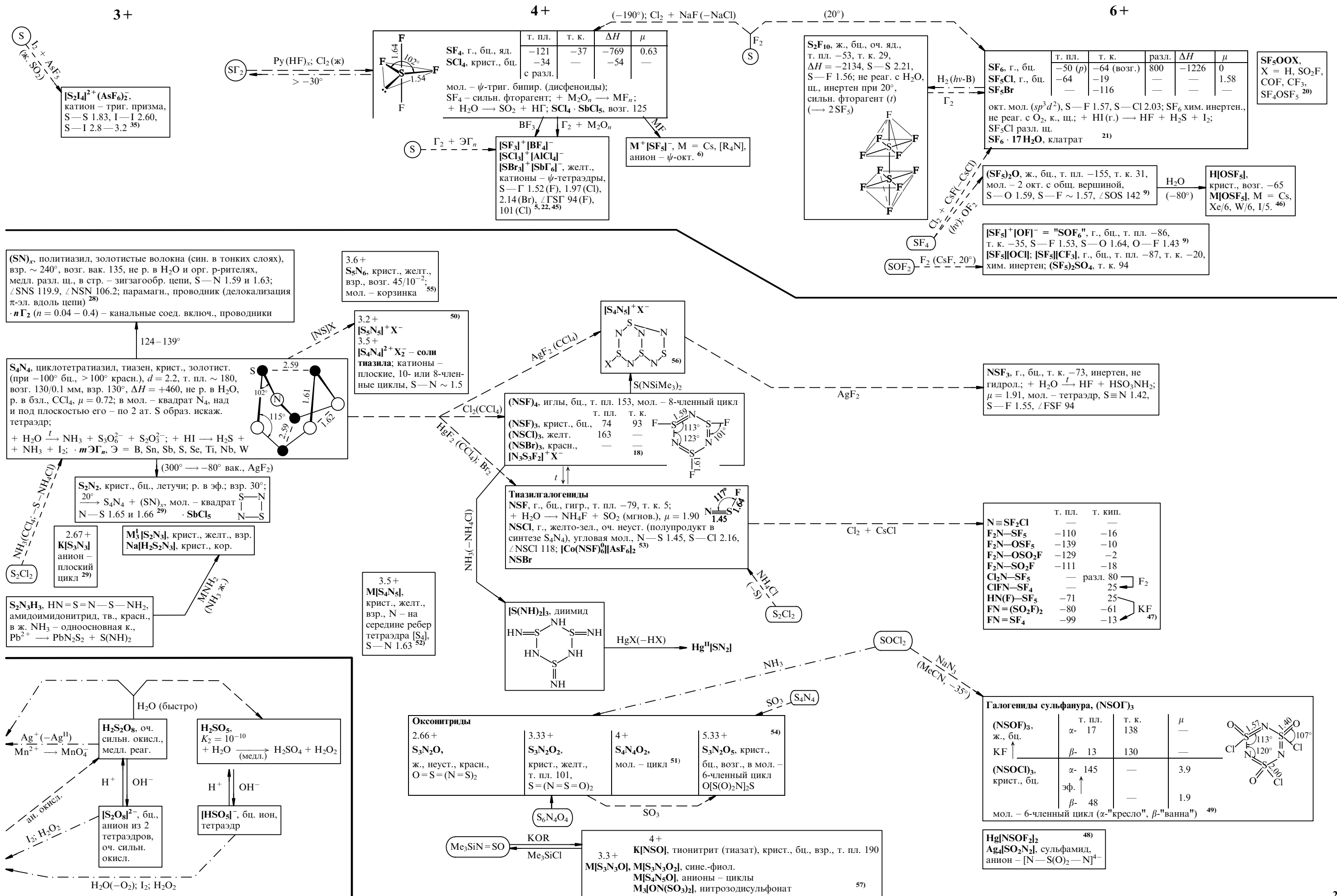


Ст. окисл. S вычислена в предположении формальных ст. окисл. N 3- и H 1+

## ИОНЫ СЕРЫ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

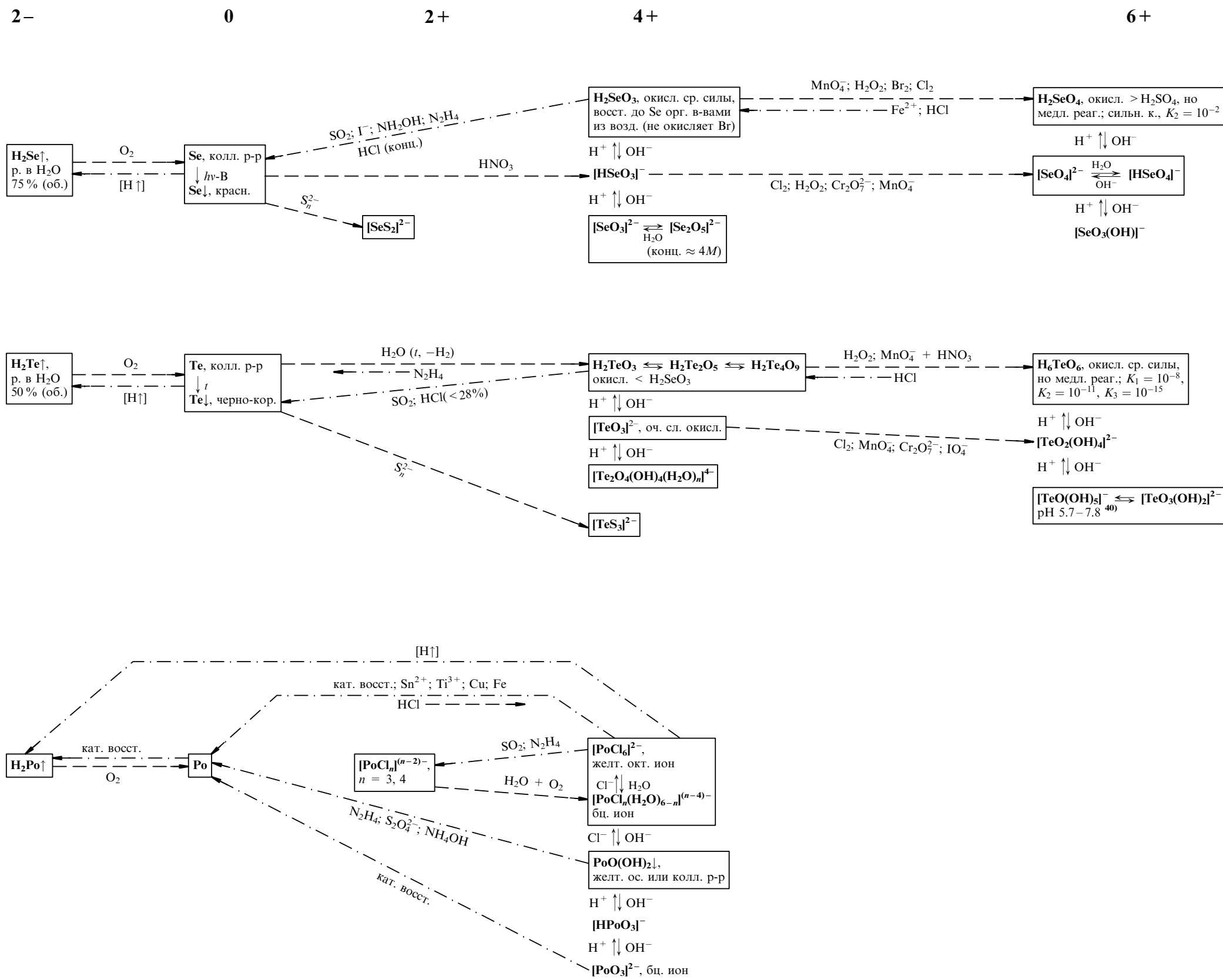










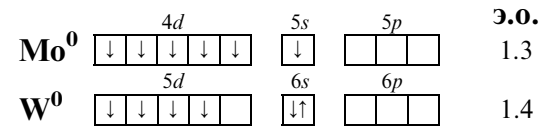








# МОЛИБДЕН, ВОЛЬФРАМ



Ионы Mo и W в водном р-ре см. с. 25

Mo	W
мет., серовато-бел.	
$d$	10.2
т. пл.	2620
т. к.	~4630
р. в конц. $H_2SO_4$	(HF + $HNO_3$ )
пассивир. конц. $HNO_3$	оч. сл. р. в ц. в.
легко р. в распл. ( $KNO_3$ + NaOH)	
$E_0^{M^{3+}/M_{тв}}$	-0.20
$E_0^{[MO_4]^{2-}/M_{тв}}$	-1.05
куб. (тип $\alpha$ -Fe)	
$a$	3.14
M—M	2.80

Ферромolibден	Ферровольфрам
$\geq 55\%$ Mo,	65–80% W,
1–2% Si,	0.4–1% Si,
$\leq 0.1$ –0.2% C,	0.2–0.7% Mn,
0.1–0.2% P, S,	0.3% Cu, 0.5% C,
остальное – Fe.	0.1% S и P,
В системе Mo–Fe	остальное – Fe.
сущ. тв. р-р вычитания, $Mo_6Fe_7$ и $Mo_2Fe_3$ , (т. пл. 1540 и 1480)	В системе Fe–W
	сущ. тв. р-р вычитания, $W_6Fe_7$ и $WFe_2$ (т. пл. 1640 и 1046)

**Инструментальные стали** – быстрорежущие: 17.5–18.5% W, а также Cr, V, C, Mn, Si. "Победит", 80–87% W, 6–15% Co, 5–7% C.

$M(CO)_6$  крист., бц., возг. вак. 30–50, т. к. 156 (Mo), 175 (W), разл.  $\approx 120$ ,  $\Delta H = -979$  (Mo), 961 (W) <sup>22</sup>, р. в орг. р-рителях, не р. в к. и ш., мол. – окт., M—C 2.13 (Mo), 2.3 (W); C—O 1.15

$K[M(CO)_5]^{45}$

$Mo(CO)_nL_{6-n}$ , L = Py,  $\Theta R_3$ ,  $\Theta Cl_3$  ( $\Theta = P-Sb$ ), Sn $\Gamma_4$ , MeCN, Dipy/2 <sup>1</sup>)

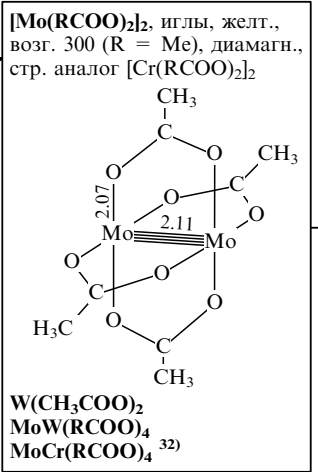
$M(PF_3)_6$ , крист., бц., возг. вак. 40, т. пл. 196 (Mo), 214 (p, W), не р. в  $H_2O$ , разл. ш.

$W[P(OMe)_3]_6$  <sup>2)</sup>

$[M(N_2)_2(PR_3)_4]$ -тип <sup>2)</sup>  
 $[M(N_2)_2(R_2P-CH_2-)]_2$ , *цис*- и *транс*-, крист., оранжев., уст. на возд., мол. – окт.,  $(N_2)_{акс}$ ,  $N \equiv N$  1.103; + EtOH + KOH  $\rightarrow$   $NH_3$  + ... + *i*-PrOH  $\rightarrow$   $N_2H_4$  + ...  
 $MH_2Cl_2(PR_3)_4$

$M(C_6H_6)_2$ , мол. – сэндвич  $Mo(C_6H_6)(PPh_3)_2$   
 $\downarrow N_2$   
 $[(C_6H_6)Mo(PPh_3)_2N \equiv N]$

**Металлоподобные фазы** (включение  $\Theta$  в стр. M) в системах Mo(W)–B (C, N, S) оч. тв., тугоплавки, хим. инертны,  $Mo_2C$  (т. пл. 2690),  $WC$  (2600 с разл.),  $W_2C$  (2800),  $d = 17.3$ ;  $MoC$  (2700) <sup>42)</sup>  $M_2B$ ;  $MB$ ;  $MB_2$ ;  $M_2B_5$   $M_2N$ ;  $MN$ ;  $MP_4$   $M_3Si$ ;  $M_3Si_2$ ;  $M_5Si_3$ ;  $MSi_2$



2.5+  $[Mo_2(RCOO)_4]^+ [I_3]^-$ , крист., кор.,  $\mu_{эфф} = 1.67$  <sup>43)</sup>

$K_5[Mo(CN)_7]$ , диамагн., анион – пентаг. бипир.  
 $K_4[M(CN)_6]$   
 $K_6[M(CN)_8]$  <sup>7)</sup>

$K_2[Mo(CN)_5]$ , красн.  $K_4[Mo(CN)_7] \cdot 2H_2O$ , черн.,  $\mu_{эфф} = 1.75$ , анион – пентаг. бипир., Mo—C 2.16 <sup>7)</sup>  
 $K_5[Mo(CN)_8]$   
 $K_3[M(NCS)_6] \cdot nH_2O$ , уст. к окисл.,  $\mu_{эфф} \approx 3.8$

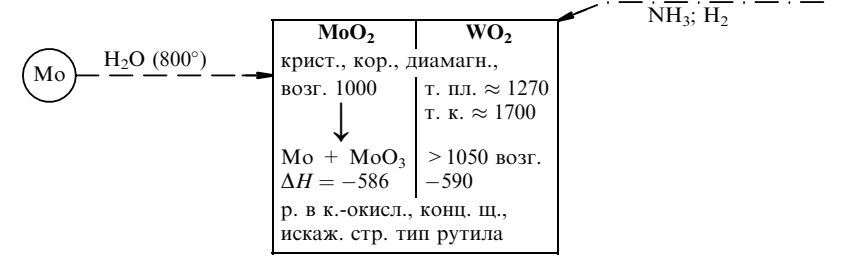
$Mo_{12}S_{14}$ ;  $Mo_9S_{11}$   
 $Mo_6S_8$ , в стр. – колонки из тр-ков  $[Mo_3]$

$[(C_5H_5)M(CO)_3X]$ , X = H, Cl, R, мол. – триг. бипир.

$(C_6H_5)Mo(CO)_3$  <sup>44)</sup>  
 $(C_5H_5)Mo(C_6H_6)$

2+ ( $d^4$ )      3+ ( $d^3$ )

4+ ( $d^2$ )



$Mo(OH)_3$  ↓, черн., плохо р. в к.

$MoO(OH)_2$  ↓ =  $H_2Mo_5O_7(OH)_8$ , оливково-зел., сл. р. в ш. ( $\rightarrow [MoO_3]^{2-}$ , зел.-гол. р-р)

$Mg_2Mo_3O_8$  <sup>20)</sup>

$K_4[Mo_2(SO_4)_4] \cdot 2H_2O$ , крист., роз.

$Cs_2[Mo_2(HPO_4)_4(H_2O)_2]$ , крист., пурп., уст. на возд.,  $Mo \equiv Mo$  2.22 <sup>45)</sup>  
 $M_3[Mo_2(HPO_4)_4]Cl$

$Mo(O_2)(SO_3F)_4$  <sup>71)</sup>

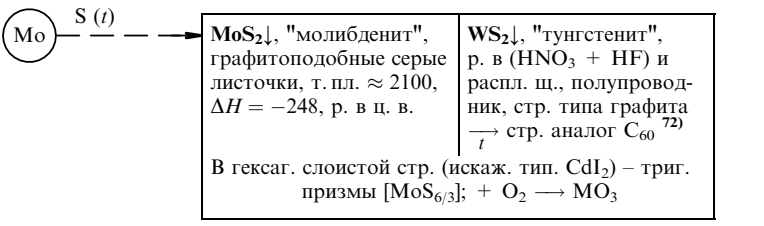
$Na[Mo_2P_3O_{12}]$ , в каркасной стр. – окт.  $[MoO_6]$ , Mo—O  $\sim 1.33$   
 $Cs_2[Mo_3O_4(C_2O_4)_3(H_2O)_3] \cdot 4H_2O \cdot 0.5H_2C_2O_4$ , уст. в крист. и р-ре, в анионе кластер – тр-к  $[OMo_3]$ , Mo—Mo 2.49, Mo—O 1.92–2.09  
 $[R_4N]_4[Mo_3O_4(NCS)_8(H_2O)]$  <sup>46)</sup>

$K_4[Mo_2(CN)_4]$ -*транс*, диамагн., анион – окт., Mo—O 1.83, Mo—C 2.20

$K_3[Mo(OH)(CN)_4] \cdot nH_2O$   
 $K_6[M_2O_3(CN)_8] \cdot nH_2O$  <sup>47)</sup>

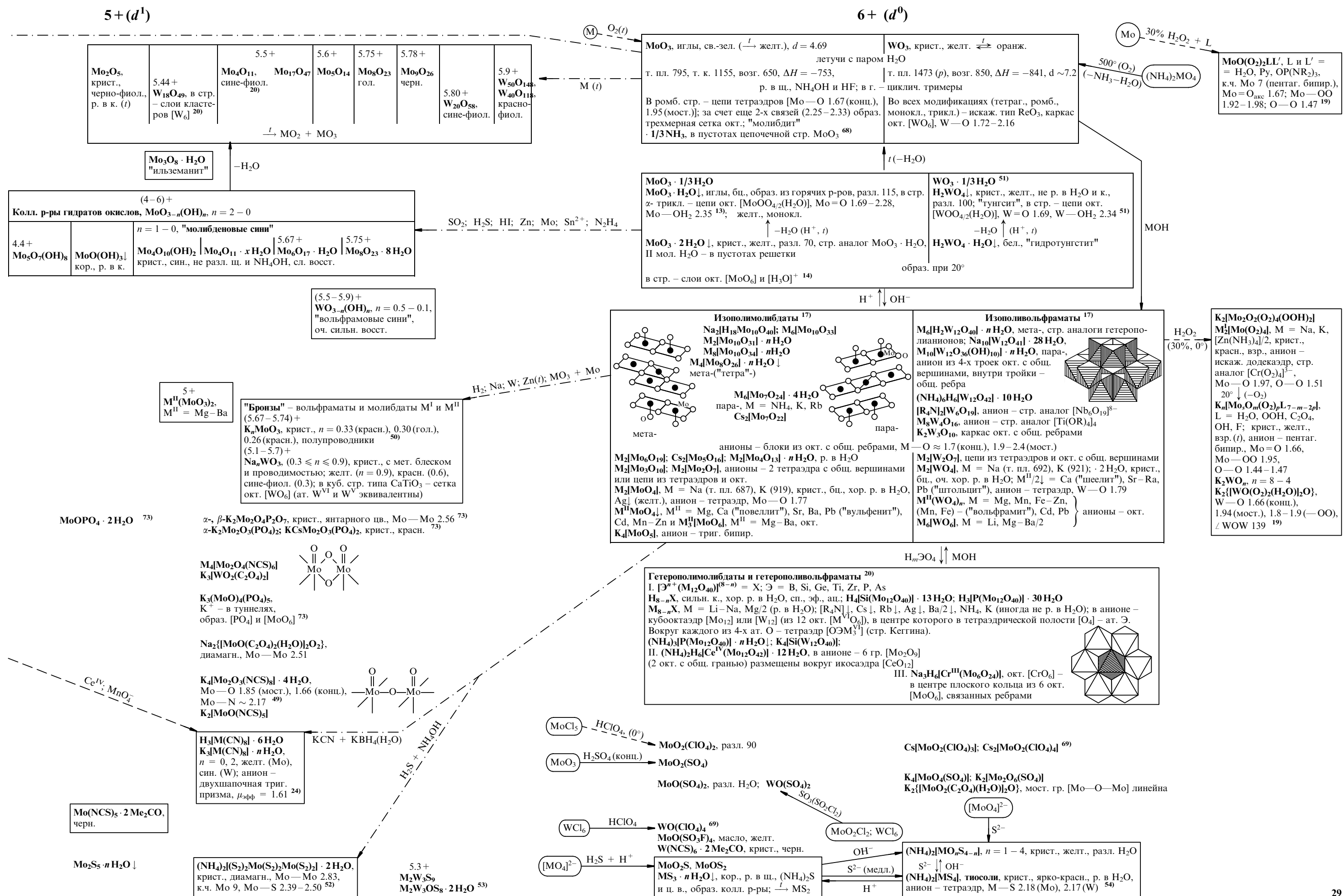
$K[Mo(CN)_5]$ , диамагн. ( $d^2$ ), анион – тетраг. пирамида ( $d^4s$ )  
 $H_4[M(CN)_8] \cdot 6H_2O$   
 $K_4[M(CN)_8] \cdot 2H_2O$ , крист., желт., диамагн. ( $d^2$ ), анион – додекаэдр ( $d^4sp^3$ ) в стр. и антипризма – в р-ре, Mo—C 2.16

$K_2[Mo(NCS)_6]$   
 $M_5[W_3O_4(NCS)_9] \cdot nH_2O$ , пурп. крист., стр. аналог  $M_5[Mo_3O_4F_9]$ , W—W 2.53 <sup>46)</sup>



$(NH_4)_2[Mo_3S_2(S_2)_6] \cdot 0.5H_2O$  <sup>48)</sup>, крист., красн., диамагн.



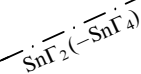
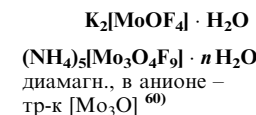
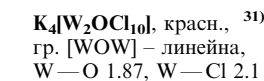
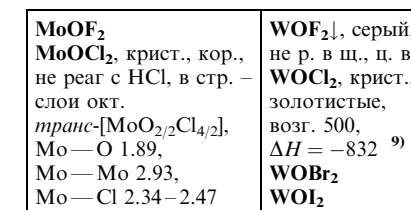
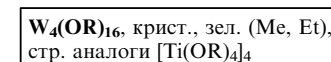
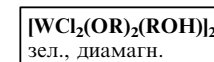
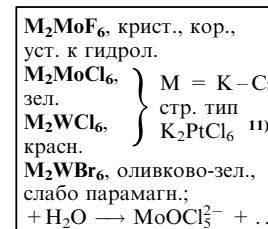
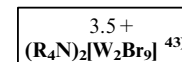
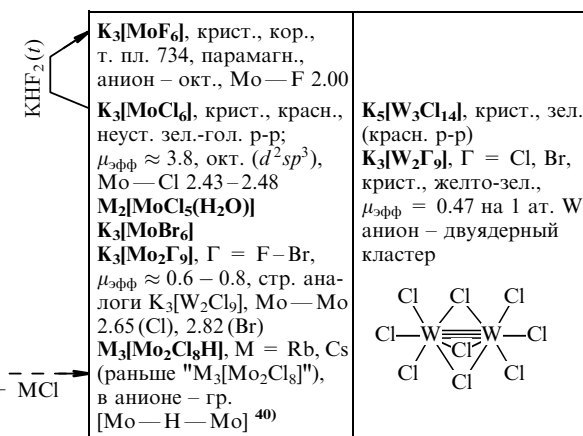
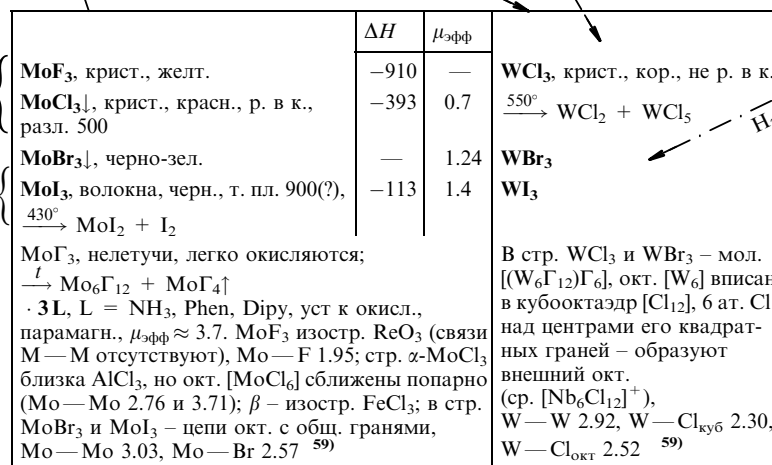
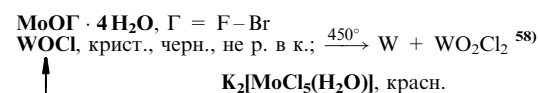
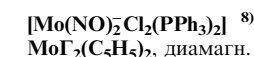
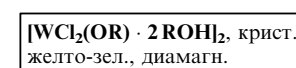
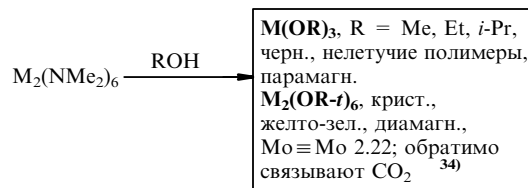
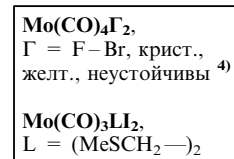
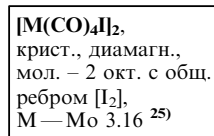
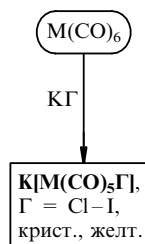
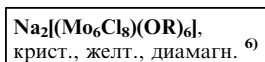
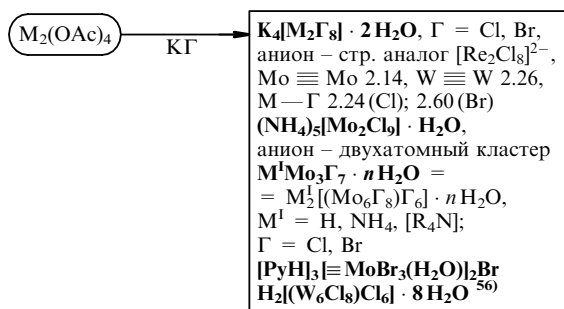
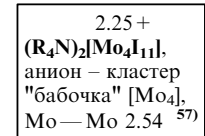
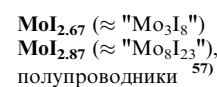
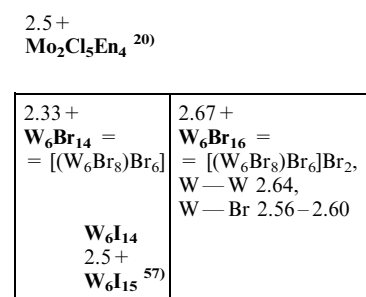
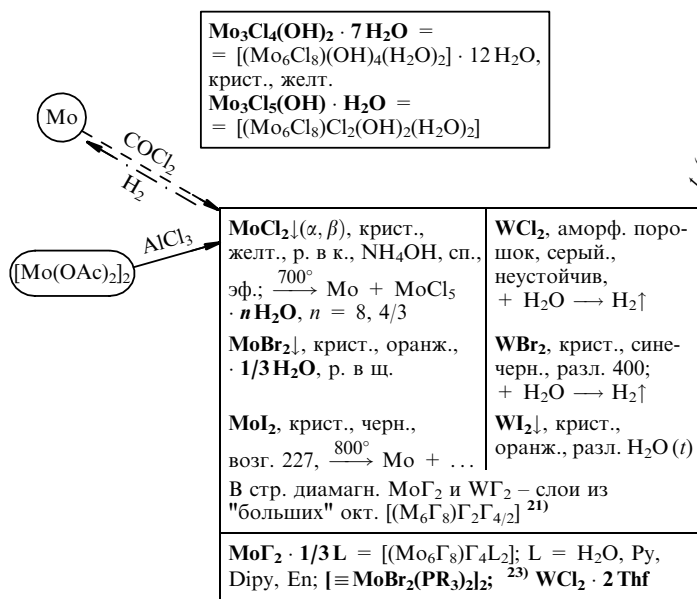
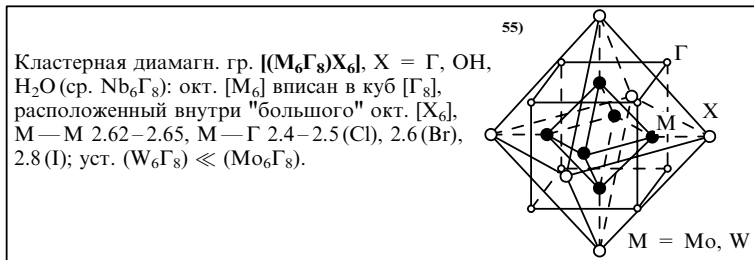


1 + (d<sup>5</sup>)

2 + (d<sup>4</sup>)

3 + (d<sup>3</sup>)

4 + (d<sup>2</sup>)

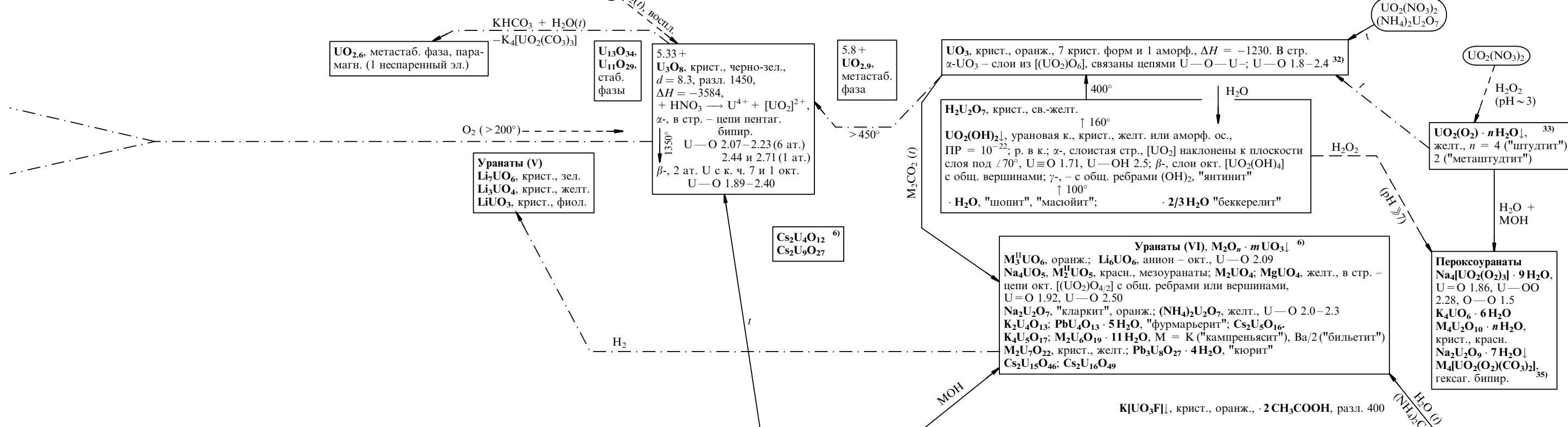






5+ (f<sup>1</sup> или d<sup>1</sup>)

6+ (f<sup>0</sup>d<sup>0</sup>)



U<sub>5</sub>O<sub>12</sub>Cl<sup>3)</sup>  
 UO<sub>2</sub>F  
 UO<sub>2</sub>Cl, μ<sub>эфф</sub> = 1.36,  $\xrightarrow{t}$  UOCl<sub>2</sub> + Cl<sub>2</sub>  
 UO<sub>2</sub>Br, в стр. – слои пентаг. бибир., U—O 2.05–2.30, U—Br 2.94<sup>3)</sup>

	ΔH
UOCl <sub>3</sub> , крист., кор., р. в сп., ац.	-1188
UOBr <sub>3</sub> , крист., красно-кор.	-988
UOI <sub>3</sub>	-853

UO(OR)<sub>3</sub>

т. пл.	ΔH
UF <sub>5</sub> ↓, крист., бц. (окрашены за счет примесей) >150° → UF <sub>6</sub> + U <sub>2</sub> F <sub>9</sub> + U <sub>4</sub> F <sub>17</sub> , оч. реакц.; + H <sub>2</sub> O → UF <sub>4</sub> + UO <sub>2</sub> F <sub>2</sub> ; α-, тетраг., в стр. – линейные цепи окт. с общ. вершинами;	287 (p) -2030
β-, тетраг., трехмерная сетка восьмивершинников, т. к. 530, U—F 1.96–2.32	348 —
UCl <sub>5</sub> , иглы, красно-кор., гигр., $\xrightarrow{120^\circ}$ UCl <sub>4</sub> + UCl <sub>6</sub> ; + H <sub>2</sub> O → UCl <sub>4</sub> + UO <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ; в монокл. и трикл. стр. – димерные мол. (2 окт. с общ. ребром), U—Cl 2.43 (конц.), 2.70 (мост.)	320 (p) -1041
UBr <sub>5</sub> , крист., черно-кор., $\xrightarrow{80^\circ}$ UBr <sub>4</sub> + Br <sub>2</sub> ; в стр. – димеры из 2-х окт., U—Br 2.58–2.81	— -858

UF<sub>3</sub>(SO<sub>3</sub>F)<sub>2</sub>  
 UF<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>F)<sub>3</sub>, крист., зел., разл. 86, μ<sub>эфф</sub> = 1

[UF<sub>4</sub>]<sup>+</sup>[SbF<sub>6</sub>]<sup>-</sup>, к. ч. U 8 (додекаэдр), U—F 1.95 (конц.), 2.31–2.66 (мост.)<sup>5)</sup>

U(OR)<sub>n</sub>Γ<sub>5-n</sub>, ж., зел. (Γ = Cl) или кор. (Γ = Br)  
 ↓ NaOR  
 U(OR)<sub>5</sub>, крист., кор. (R = Me) или ж. (R = Et), перегоняются в вак.

[R<sub>4</sub>N]<sub>2</sub>[UOF<sub>5</sub>]  
 [PyH]<sub>2</sub>[UOCl<sub>5</sub>]  
 [R<sub>4</sub>N]<sub>2</sub>[UOBr<sub>5</sub>]<sup>13)</sup>

M<sub>3</sub>[UF<sub>8</sub>]; M<sub>2</sub>[UF<sub>7</sub>]  
 Cs[UF<sub>6</sub>], крист., син., анион – окт., U—F 2.06  
 HUF<sub>6</sub> · nH<sub>2</sub>O, n = 2.5, 1.25, зел., уст. к окисл.; + H<sub>2</sub>O → UF<sub>4</sub>↓ + UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>  
 [R<sub>4</sub>N]<sub>3</sub>[UCl<sub>8</sub>]  
 M[UCl<sub>6</sub>], M = NO, [PCl<sub>4</sub>]<sup>4)</sup>

UO<sub>2</sub>(OR)<sub>2</sub>, R = Me, i-Pr, Ph (красн.)  
 UO<sub>2</sub>S], кор., р. в CH<sub>3</sub>COOH; + O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → UO<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>

M[U(OR)<sub>6</sub>], M = Na, Ca, Al, крист., зел., возг. в вак.

Соли уранила, [O=U=O]<sup>2+</sup>, крист., желт., флуоресцирующие, U=O 1.61–1.93, U—O 2.3–2.4

UO<sub>2</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>  $\xrightarrow{270^\circ}$  · 6H<sub>2</sub>O, т. пл. 185  
 UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)  $\xrightarrow{175^\circ}$  · nH<sub>2</sub>O, n = 2.5, 3.5, в стр. – цепи пентаг. бибир.  
 UO<sub>2</sub>(SeO<sub>4</sub>) · 4H<sub>2</sub>O<sup>14)</sup>  
 UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O, т. пл. 60, р. в сп., эф. (экстрагируется эф. из р-ров в HNO<sub>3</sub>), · 2H<sub>2</sub>O, т. пл. 179, · n(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>O, т. пл. 45 (n = 2); 2(n = 4)  
 2NO<sub>2</sub>  
 (UO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 4H<sub>2</sub>O; (UO<sub>2</sub>)(H<sub>3</sub>O)PO<sub>4</sub> · 3H<sub>2</sub>O  
 (UO<sub>2</sub>)(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O<sup>20)</sup>; (UO<sub>2</sub>)H(PO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>  
 (UO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 12H<sub>2</sub>O, "трегерит"  
 UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>1</sub>, разл. 500, "резерфордин"  
 UO<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>, разл. 300  $\xrightarrow{110^\circ}$  · 2H<sub>2</sub>O  
 UO<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) · 3H<sub>2</sub>O↓

UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, т. пл. 1303, в стр. – гексаг. бибир. [UO<sub>2</sub>F<sub>6</sub>]; мало дис., K<sub>1</sub> = 10<sup>-4</sup>, K<sub>2</sub> = 10<sup>-5</sup>,  $\xrightarrow{700^\circ}$  UF<sub>6</sub> + U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> + O<sub>2</sub><sup>34)</sup>  
 UO<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, т. пл. 578; · nH<sub>2</sub>O, n = 3, 1; · nNH<sub>3</sub>, n = 10.5–1<sup>34)</sup>  
 UO<sub>2</sub>Br<sub>2</sub>  
 UO<sub>2</sub>(OR)<sub>2</sub>, R = Me, i-Pr, Ph (красн.)  
 UO<sub>2</sub>S], кор., р. в CH<sub>3</sub>COOH; + O<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O → UO<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>

UOF<sub>4</sub>, крист., оранжев., гигр.,  $\xrightarrow{150^\circ}$  UF<sub>6</sub> + UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>; + H<sub>2</sub>O → UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub><sup>10)</sup>  $\xrightarrow{MF(SO_2)}$  M[UOF<sub>5</sub>], M = NH<sub>4</sub>, K–Cs, анион – искаж. окт. (Cs) или цепи додекаэдров (K, Rb)<sup>10)</sup>

U(SO<sub>3</sub>)F<sub>4</sub>, оранжев., разл. 90°<sup>10)</sup>; U(OЭФ)<sub>5</sub>, Э = S, Se, Te

т. пл.	т. к.	ΔH
UF <sub>6</sub> , крист., бц., гигр., р. в C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> , эф., разл. сп., мол. – искаж. окт.; U—F 1.98 (г. и стр. <sup>14)</sup> ); окисл.: + HBr → Br <sub>2</sub> + UF <sub>4</sub> + HF	64 (p) возг. 56	-2180
UCl <sub>6</sub> , крист., темно-зел., р. в CCl <sub>4</sub> , в мол. стр. – искаж. гексаг. пл. упак. Cl, U – в окт. пустотах, U—Cl 2.41–2.51 <sup>11)</sup>	177 с разл.	-1068

NaOR ↓  
 U(OR)<sub>6</sub>, R = Et, i-Pr, ж., темно-красн., перегоняются в вак.

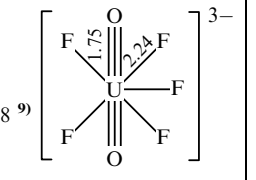
[NO<sub>2</sub>][UO<sub>2</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>],  $\xrightarrow{150^\circ}$  UO<sub>2</sub>(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub><sup>12)</sup>  
 H<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] · nH<sub>2</sub>O, n = 2; 6<sup>12)</sup>  
 M<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]; M<sub>4</sub>[UO<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]; M<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(SO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] · nH<sub>2</sub>O<sup>12)</sup>  
 M[UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>]; Cs<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]<sup>20)</sup>  
 M[UO<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>n</sub>] · nH<sub>2</sub>O, M = H, Li–K, Mg ("салеит"), Ca ("отунит"), Cu ("горбернит"), Pb ("парсонсит")<sup>20)</sup>  
 M[UO<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>n</sub>] · mH<sub>2</sub>O; H<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>]<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 8H<sub>2</sub>O<sup>20)</sup>  
 M<sub>2</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(VO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] · nH<sub>2</sub>O, M = K ("карнотит"), Ca/2 ("тлюмунит")  
 (NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>[X] · 2H<sub>2</sub>O; Ca<sub>2</sub>[X] · 10H<sub>2</sub>O, "ураноталлит"; Mg<sub>2</sub>X · 18H<sub>2</sub>O; X = [UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>], гексаг. бибир.<sup>7)</sup>  
 Na[UO<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>], анион – гексаг. бибир.  
 NaMg[UO<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>] · 9H<sub>2</sub>O; MZn[UO<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>] · 6H<sub>2</sub>O, M = Li, Na  
 Na<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] · 2H<sub>2</sub>O, в анионе – пентаг. бибир. [UO<sub>7</sub>]  
 (NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>[UO<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)<sub>3</sub>], анион – гексаг. бибир., (H<sub>3</sub>O)<sub>2</sub>[Ca(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>] · 2H<sub>2</sub>O, "уранофан"<sup>7)</sup>

Cs<sub>2</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>F<sub>6</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>], анион – 2 пентаг. бибир. с общ. ат. или ребром [F<sub>2</sub>]<sup>8)</sup>  
 M<sub>3</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>F<sub>7</sub>]; M<sub>4</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>F<sub>8</sub>]; K<sub>5</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>F<sub>9</sub>], анион – 2 пентаг. бибир. [UO<sub>2</sub>F<sub>5</sub>] с общ. ат. F<sub>экр</sub><sup>8)</sup>  
 K<sub>2</sub>[(UO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>F<sub>8</sub>(H<sub>2</sub>O)] · 3H<sub>2</sub>O<sup>8)</sup>  
 Cs<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>F<sub>4</sub>]; K<sub>3</sub>[UO<sub>2</sub>F<sub>5</sub>], анион – пентаг. бибир.  
 M<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>], анион – тетраг. бибир. с акс. [UO<sub>2</sub>], U—Cl ≈ 2.6;  
 Cs[(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Cl<sub>5</sub>], в стр. – каркас пентаг. бибир.<sup>12)</sup>  
 M<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>Br<sub>4</sub>], M = Cs, [R<sub>4</sub>N], анион – сплюснутый окт., U—Br 2.8<sup>9)</sup>

[R<sub>4</sub>N]<sub>2</sub>[UO<sub>2</sub>(OPh)<sub>4</sub>]

UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · nH<sub>2</sub>O, n = 4 ("штудтит"), 2 ("меташтудтит")  
 Пероксоураниаты Na<sub>4</sub>[UO<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>)<sub>3</sub>] · 9H<sub>2</sub>O, U=O 1.86, U—OO 2.28, O—O 1.5 K<sub>4</sub>U<sub>2</sub>O<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O M<sub>4</sub>U<sub>2</sub>O<sub>10</sub> · nH<sub>2</sub>O Na<sub>2</sub>U<sub>2</sub>O<sub>9</sub> · 7H<sub>2</sub>O M<sub>4</sub>[UO<sub>2</sub>(O<sub>2</sub>)(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], гексаг. бибир.<sup>35)</sup>

(NH<sub>4</sub>)<sub>4</sub>[UF<sub>10</sub>]  
 Na<sub>3</sub>[UF<sub>9</sub>], крист., желт., гигр., разл. 300  
 M<sub>2</sub>[UF<sub>8</sub>], M = Na–Cs, анион – искаж. восьмивершинник M[UOF<sub>7</sub>], M = Na, [NO]<sup>+</sup>, [NO<sub>2</sub>]<sup>+</sup>, анион – пентаг. бибир., U—F 1.76 и 2.24<sup>18)</sup>



3.0.  
Np 1.3  
др. An 1.6

Table of electron configurations for Actinides from Neptunium (Np) to Lawrencium (Lr). Columns represent f-orbitals (5f, 6d, 7s) with arrows indicating electron filling.

Table listing elements from Rutherfordium (Rf) to Meitnerium (Mt) with their atomic numbers.

\*) или 5f<sup>5</sup>7s<sup>2</sup>

Синтез трансурановых элементов

Table detailing the synthesis of transuranic elements, including discovery methods, isotope production, and physical properties.

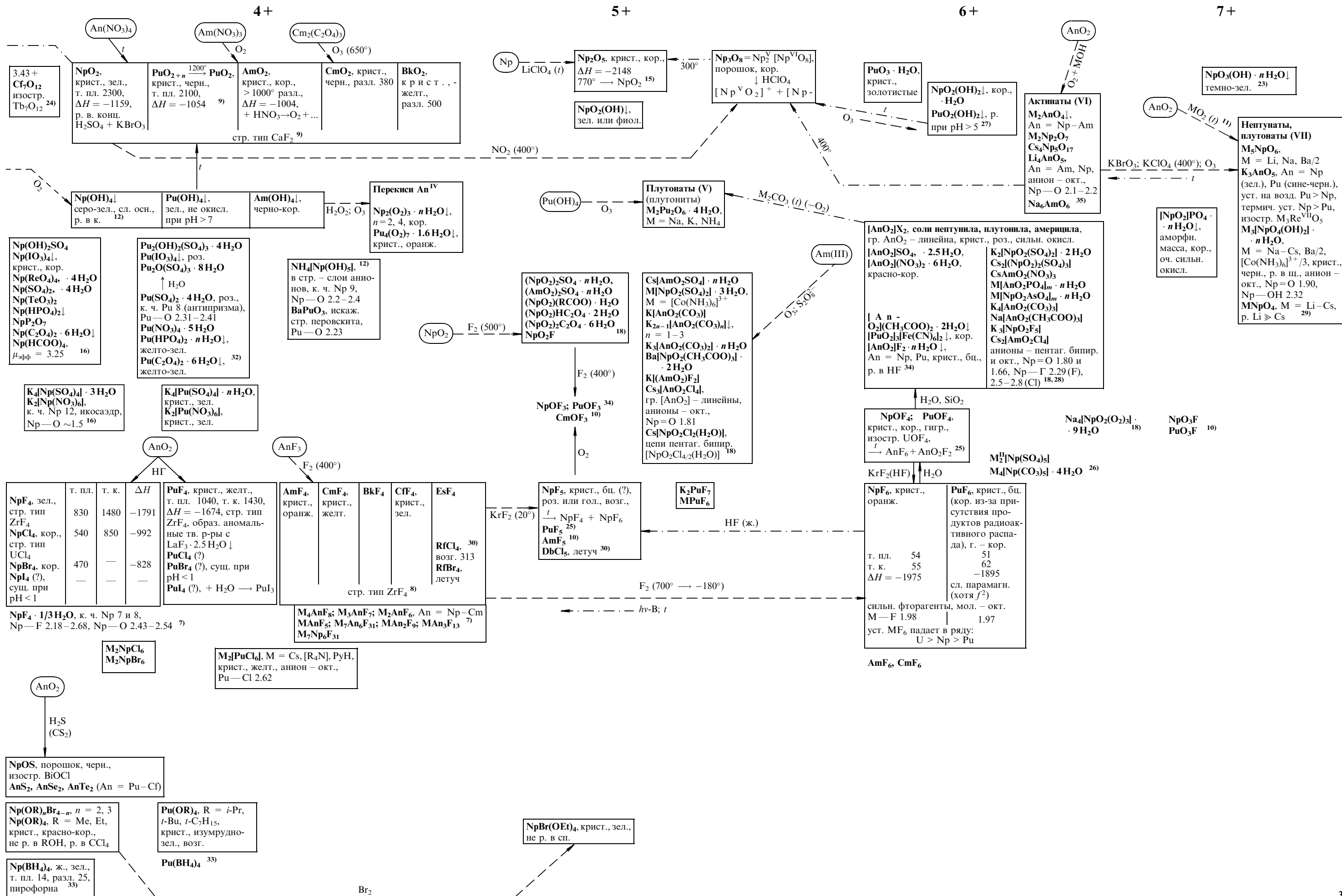
Table of physical and chemical properties for Actinides (Np, Pu, Am, Cm, Bk, Cf, Es). Includes melting/boiling points, crystal structures, and magnetic properties.

Diagram showing the chemical behavior of Actinides, including reactions with H2, AnO2, and HgF2, and the formation of various halides and intermetallics.

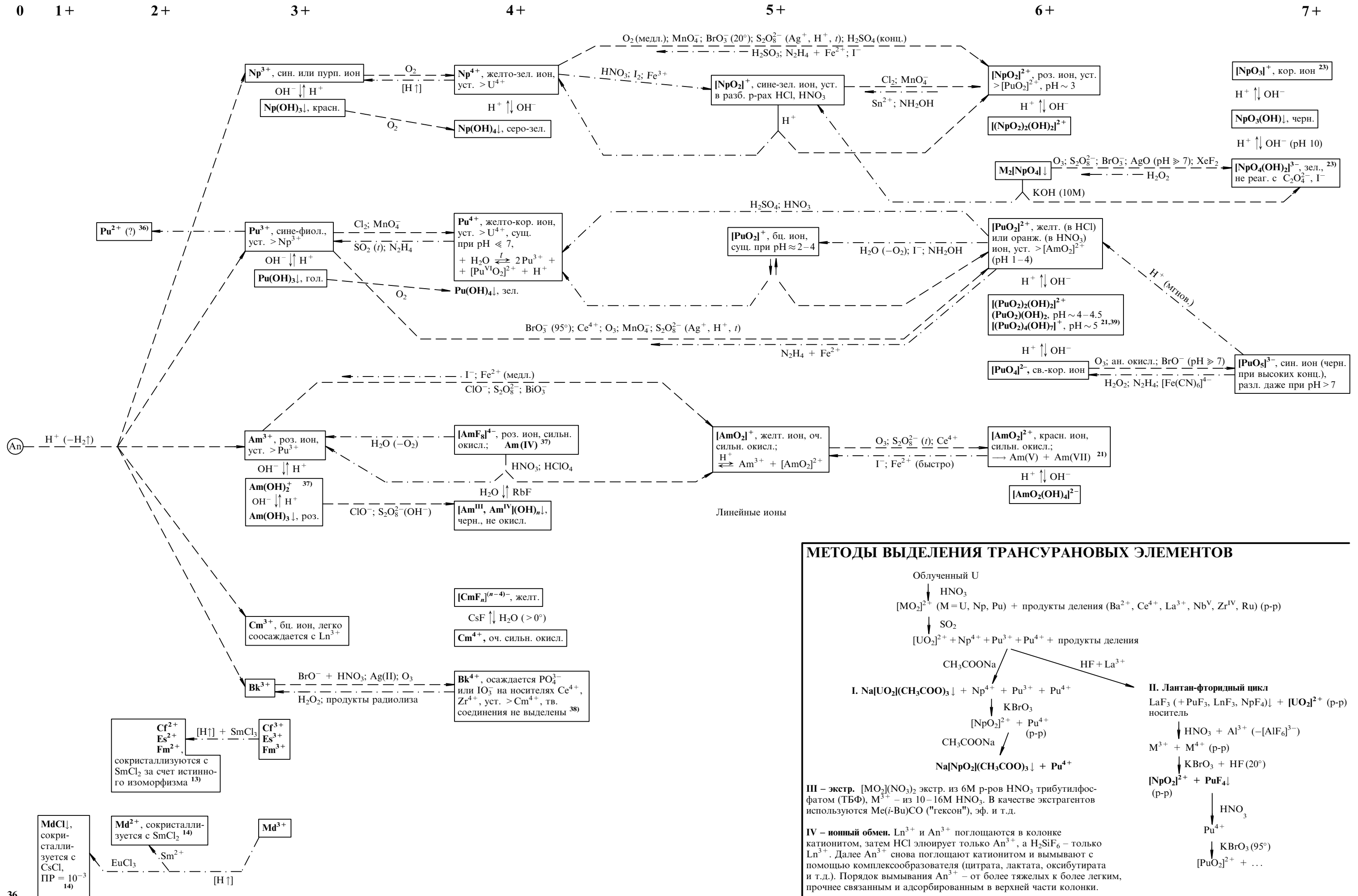
Table of oxides, hydroxides, and other compounds for Actinides, detailing their chemical formulas, colors, and crystal structures.

Table of chlorides for Actinides, including melting/boiling points, enthalpies of formation, and crystal structures.

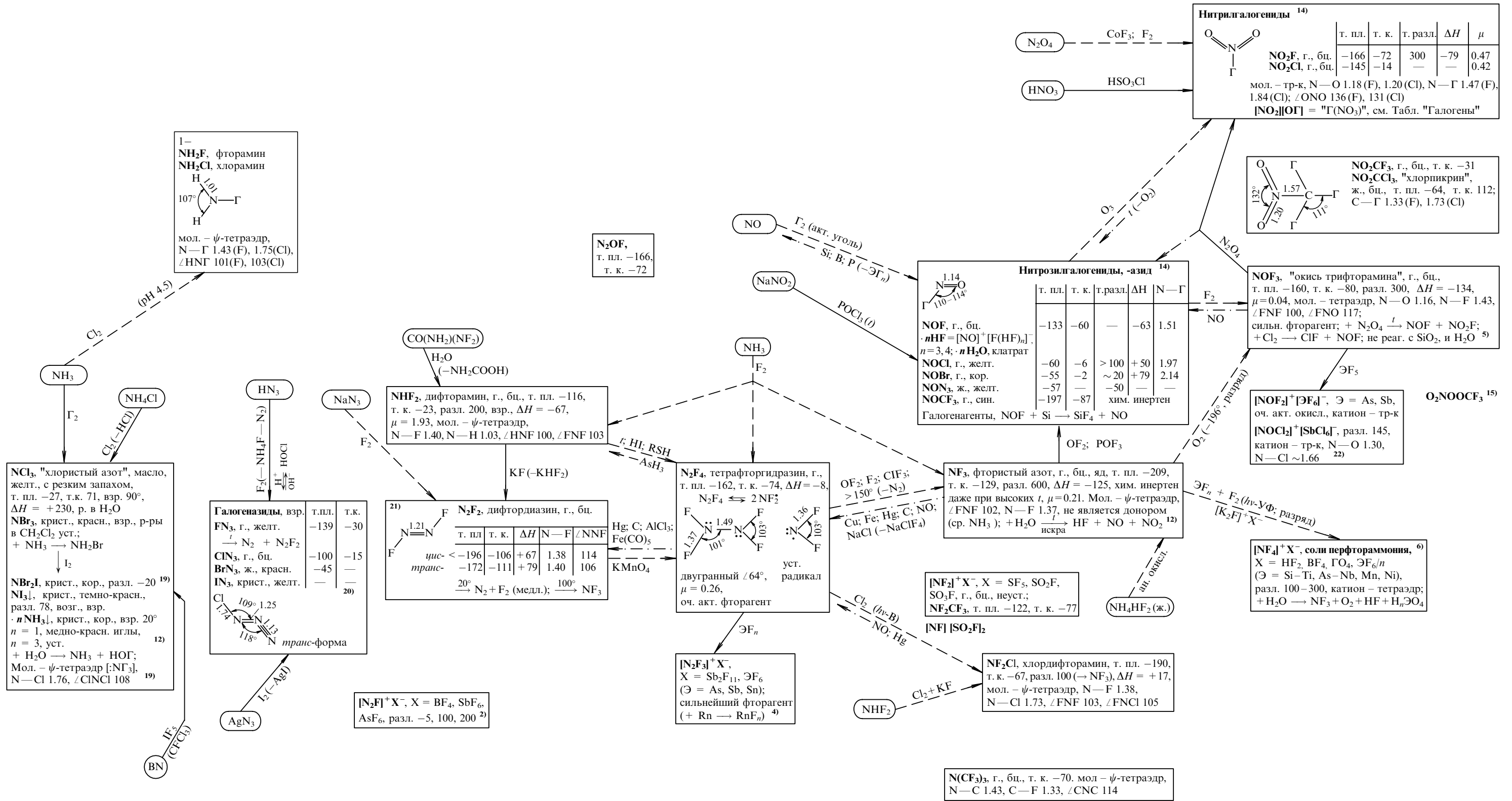
Table of fluorides and other halides for Actinides, including various compounds like PuF6, AmF3, and intermetallics like NaPuF4.

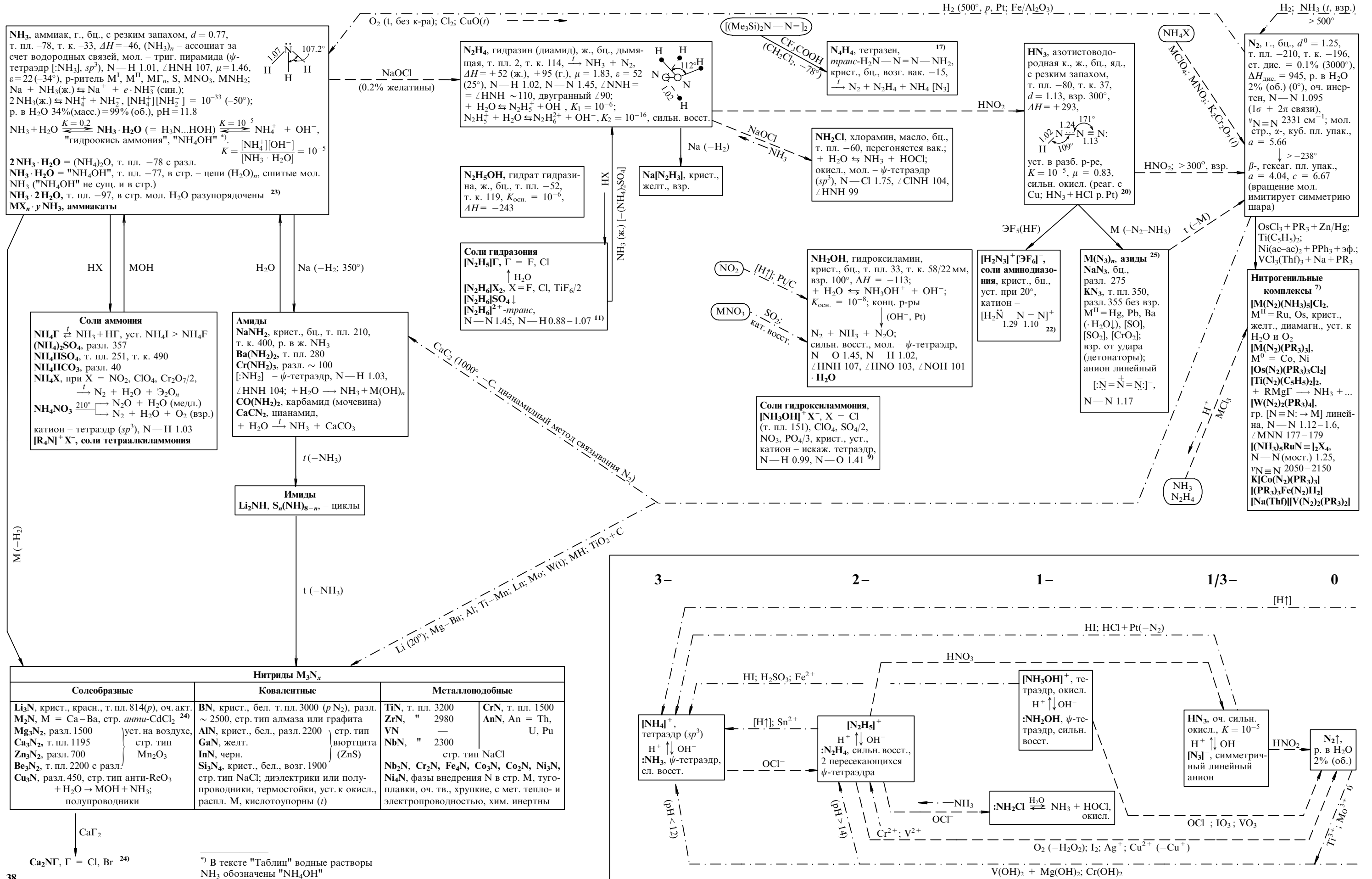


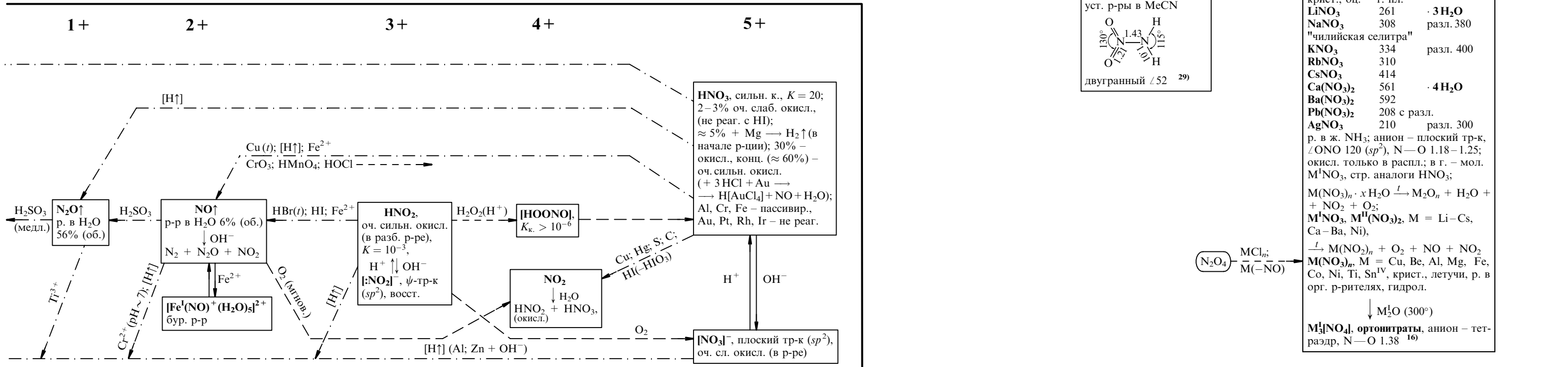
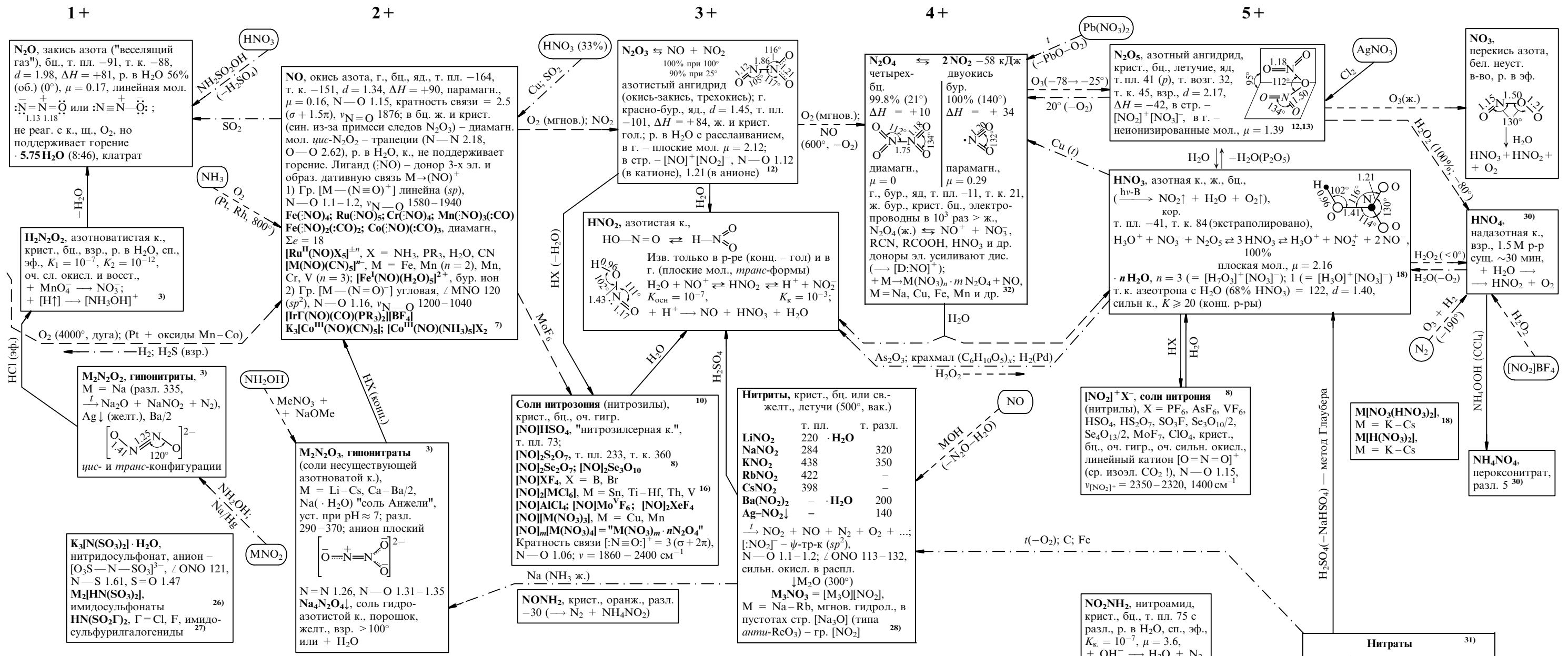
# ИОНЫ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (An) В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



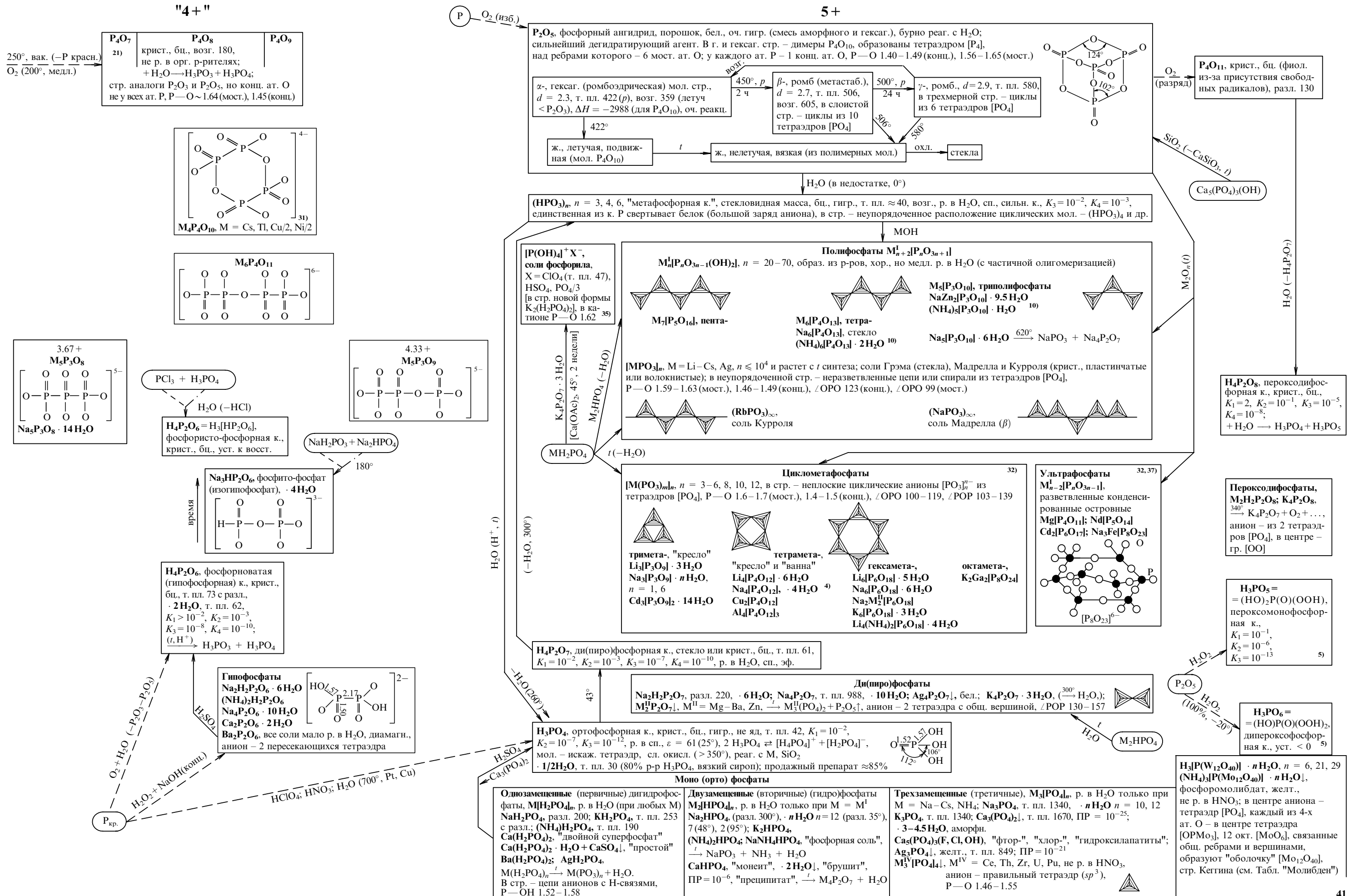














# СЕРНИСТЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ФОСФОРА 29)

Полисульфиды  
(PS)<sub>n</sub>; (P<sub>2</sub>S<sub>11</sub>)<sub>n</sub>; (P<sub>2</sub>S<sub>14</sub>)<sub>n</sub>,  
желт. в-ва, не р. в H<sub>2</sub>O и  
орг. р-рителях, р. в ш.,  
разл. 200

**Сульфиды** 17)  
крист., желт., летучие, р. в CS<sub>2</sub>, бзл., нафталине (распл.), воспл. на возд. (t),  
гигр. (кроме P<sub>4</sub>S<sub>3</sub>)

P <sub>4</sub> S <sub>2</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>4</sub> (PS) <sub>n</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>5</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>n</sub> n=5.5-6.7	P <sub>4</sub> S <sub>7</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>9</sub>	P <sub>4</sub> S <sub>10</sub> (2 формы)
т. пл. 46	174	—	162	232 с разл.	308	250 с разл.	288
т. к. —	408 наиболее уст.	—	—	—	523	—	514

В мол. всех P<sub>4</sub>S<sub>n</sub> – тетраэдр [P<sub>4</sub>], P—P 2.2, S(мост.) – на ребрах тетраэдра,  
при n > 6 S – конц., P—S 2.1 (мост.), 1.9 (конц.); P<sub>4</sub>S<sub>6</sub> и P<sub>4</sub>S<sub>10</sub> – стр. аналоги  
P<sub>4</sub>O<sub>6</sub> и P<sub>4</sub>O<sub>10</sub>

**Тригалогениды** 20)  
5+  
PSF<sub>3</sub>, г., бц., воспл.  
PSCl<sub>3</sub>, ж.  
PSBr<sub>3</sub>, крист.  
PSFClBr  
PSI<sub>3</sub>, крист.

т. пл.	т. к.	μ
-149	-52	0.63
-36	125	1.41
37	206	—
—	98	—
47	—	—

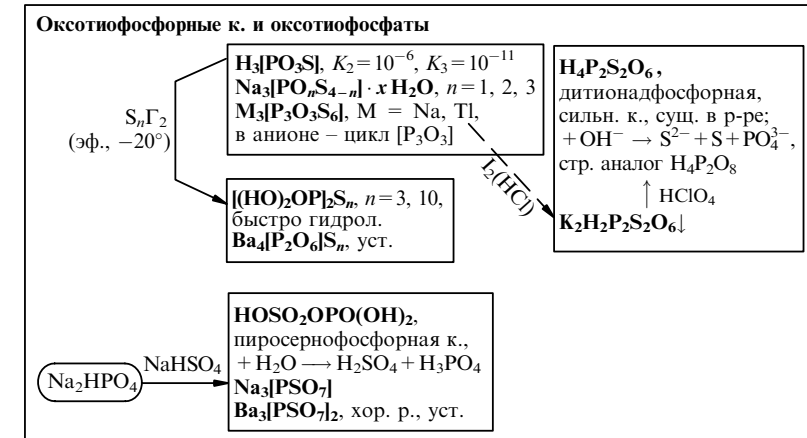
В тетрамерных мол. – тетраэдр [P<sub>4</sub>], P—P 2.20,  
P—S 1.86–2.19, P—Г 2.19 (Br), 2.48 (I), в г. –  
мономеры PSG<sub>3</sub> – искаж. тетраэдры  
P<sub>4</sub>S<sub>3</sub>I<sub>2</sub>, крист., оранжев., т. пл. 121, 3 ат. S-мост.  
вдоль ребер, 2 ат. I-конц.,  
PS(NCS)<sub>3</sub>, ж.

**Тиофосфаты** 23)  
3+ 4+ 5+

M <sub>3</sub> [PS <sub>3</sub> ] M <sub>4</sub> [P <sub>4</sub> S <sub>8</sub> ], уст. к гидрол., в анионе – квадрат [P <sub>4</sub> ]	[R <sub>4</sub> N]₂[H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> S <sub>6</sub> ] M <sub>2</sub> <sup>II</sup> [P <sub>2</sub> S <sub>6</sub> ], M = Cd, Hg, Sn, Fe, анион – 2 пе- ресекающихся тетраэдра	Zn <sub>4</sub> [P <sub>2</sub> S <sub>6</sub> ] <sub>3</sub> = Zn <sub>4</sub> [P <sub>2</sub> <sup>V</sup> S <sub>6</sub> ] · [P <sub>2</sub> <sup>VI</sup> S <sub>6</sub> ] <sub>2</sub>	H <sub>3</sub> [PS <sub>4</sub> ] M <sub>3</sub> [PS <sub>4</sub> ], + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> S + M <sub>3</sub> [PS <sub>n</sub> O <sub>4-n</sub> ], n = 0–3, анион – тетраэдр Ag <sub>7</sub> [PS <sub>6</sub> ] Ag <sub>4</sub> [P <sub>2</sub> S <sub>7</sub> ], анион изостр. [P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sup>4-</sup>
---	--	---	---

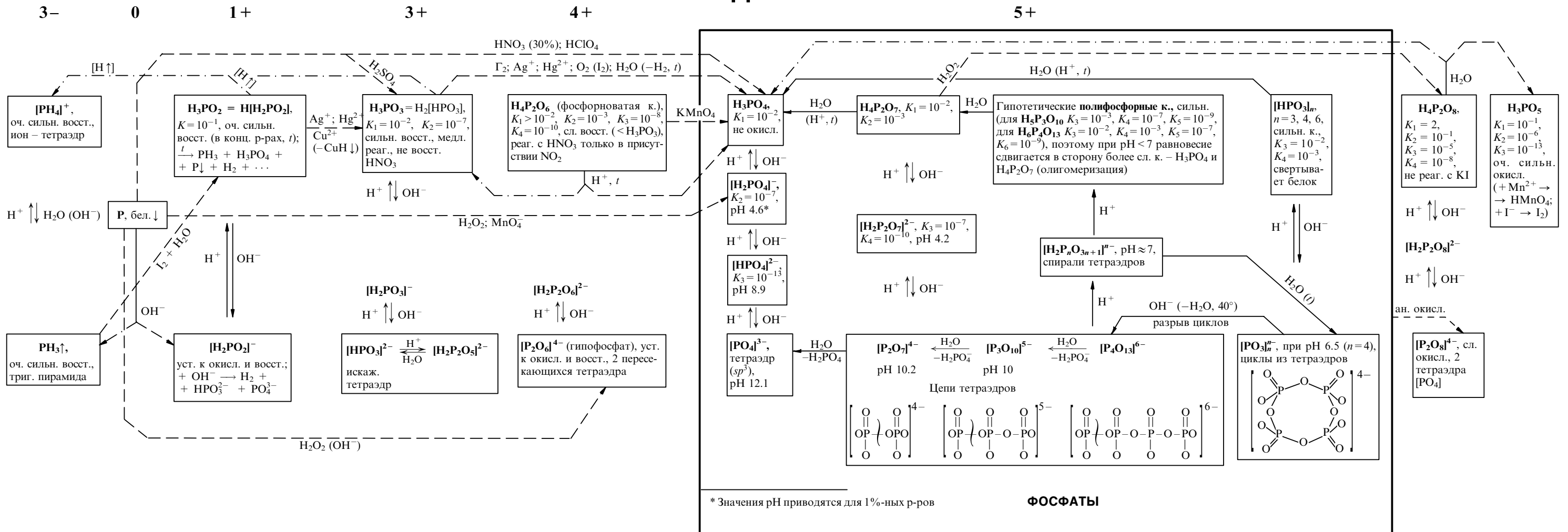
Во всех анионах P—S 1.99–2.12, P—P 2.28

**Оксосульфиды**  
3.5+ 4+ 5+  
P<sub>4</sub>O<sub>4</sub>S<sub>3</sub>; P<sub>4</sub>O<sub>7</sub>S<sup>360</sup>; P<sub>4</sub>O<sub>4</sub>S<sub>6</sub>  
P<sub>4</sub>O<sub>6</sub>S<sub>4</sub>,  
т. пл. 102, т. к. 295  
P<sub>4</sub>O<sub>7</sub>S<sub>3</sub>

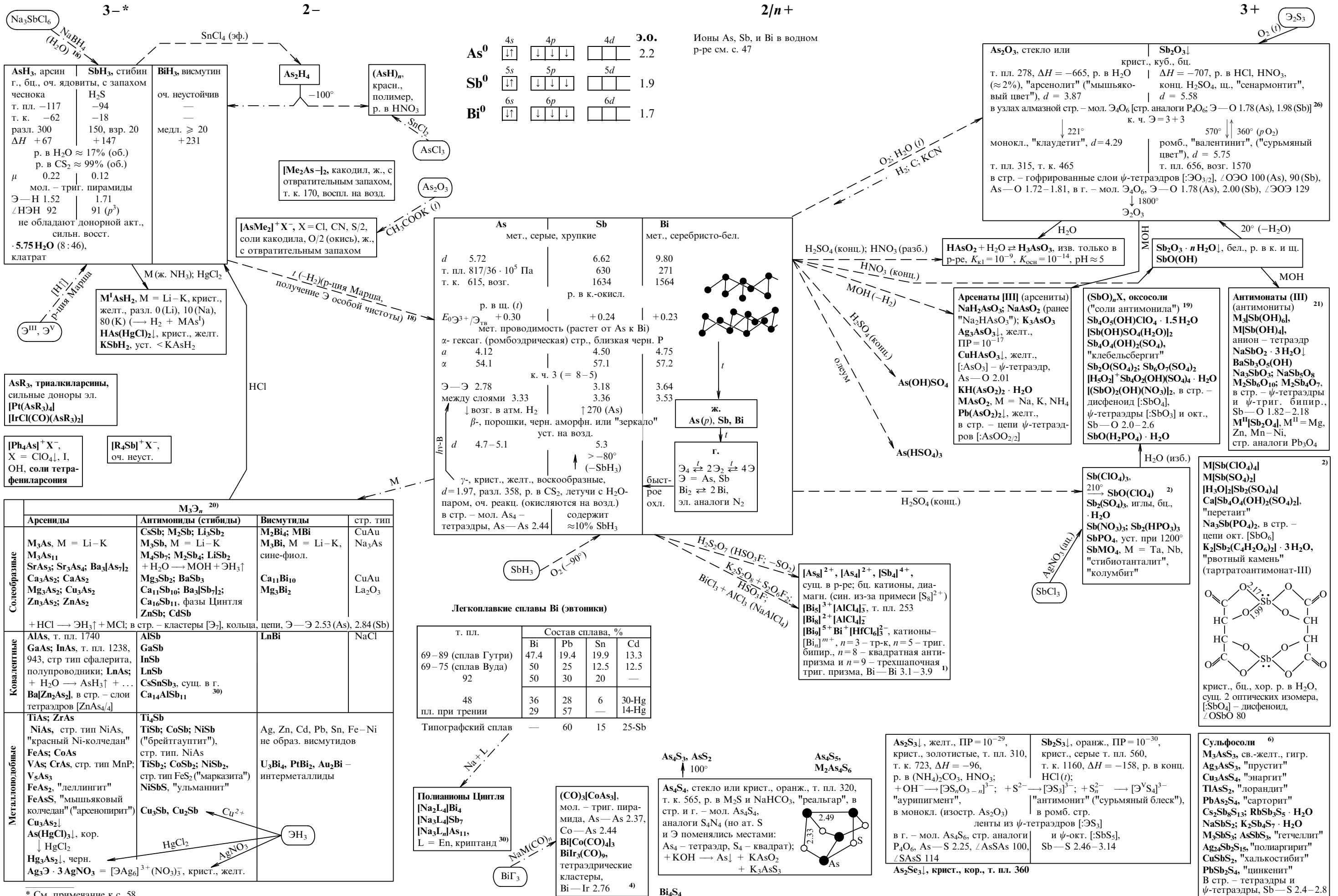


PS(NH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>, крист., бц.,  
медл. гидрол. (SPN)<sub>n</sub>

## ИОНЫ ФОСФОРА В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



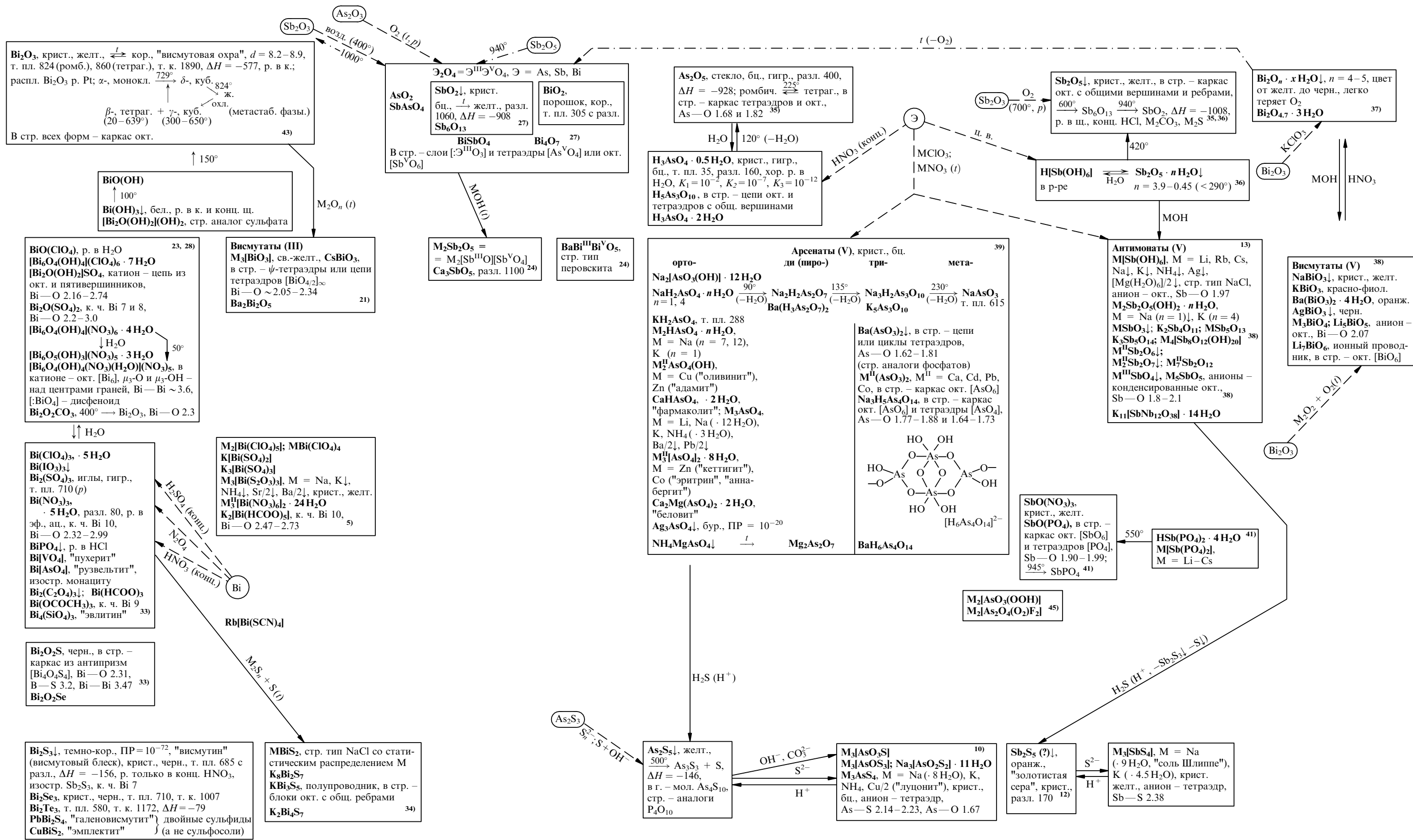
# МЫШЬЯК, СУРЬМА, ВИСМУТ





"4 +"

5 +

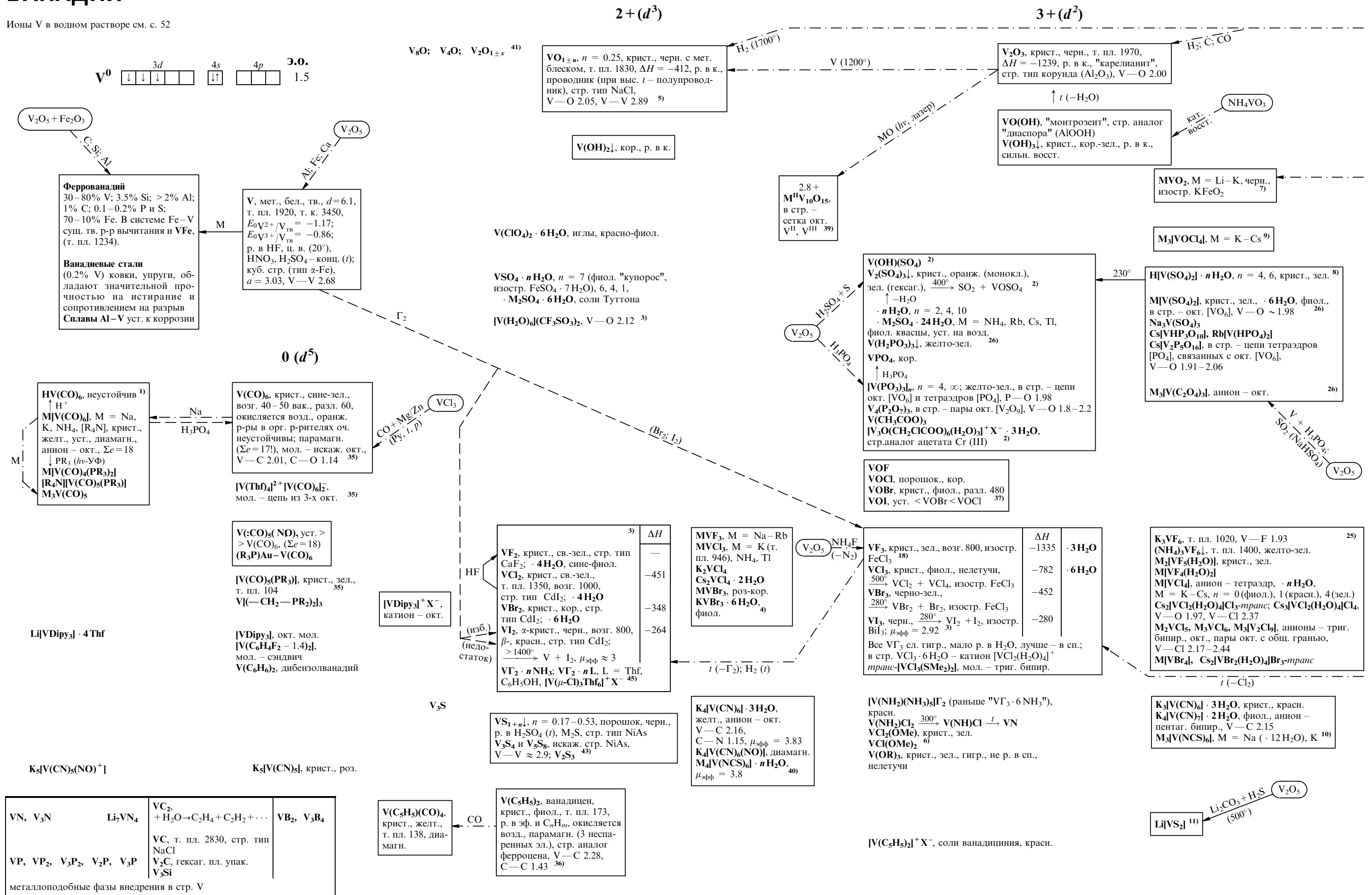






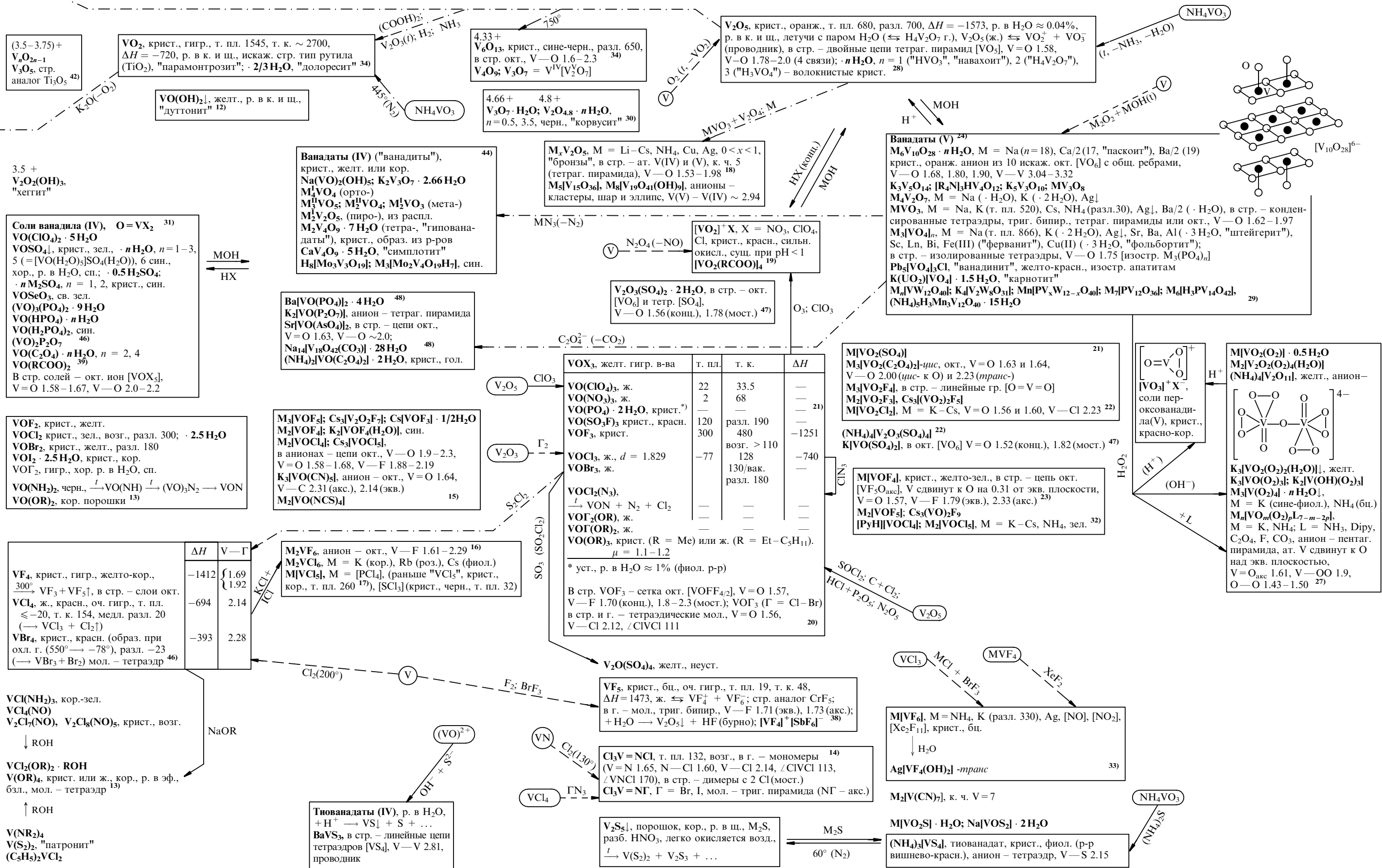
# ВАНАДИЙ

Ионы V в водном растворе см. с. 52

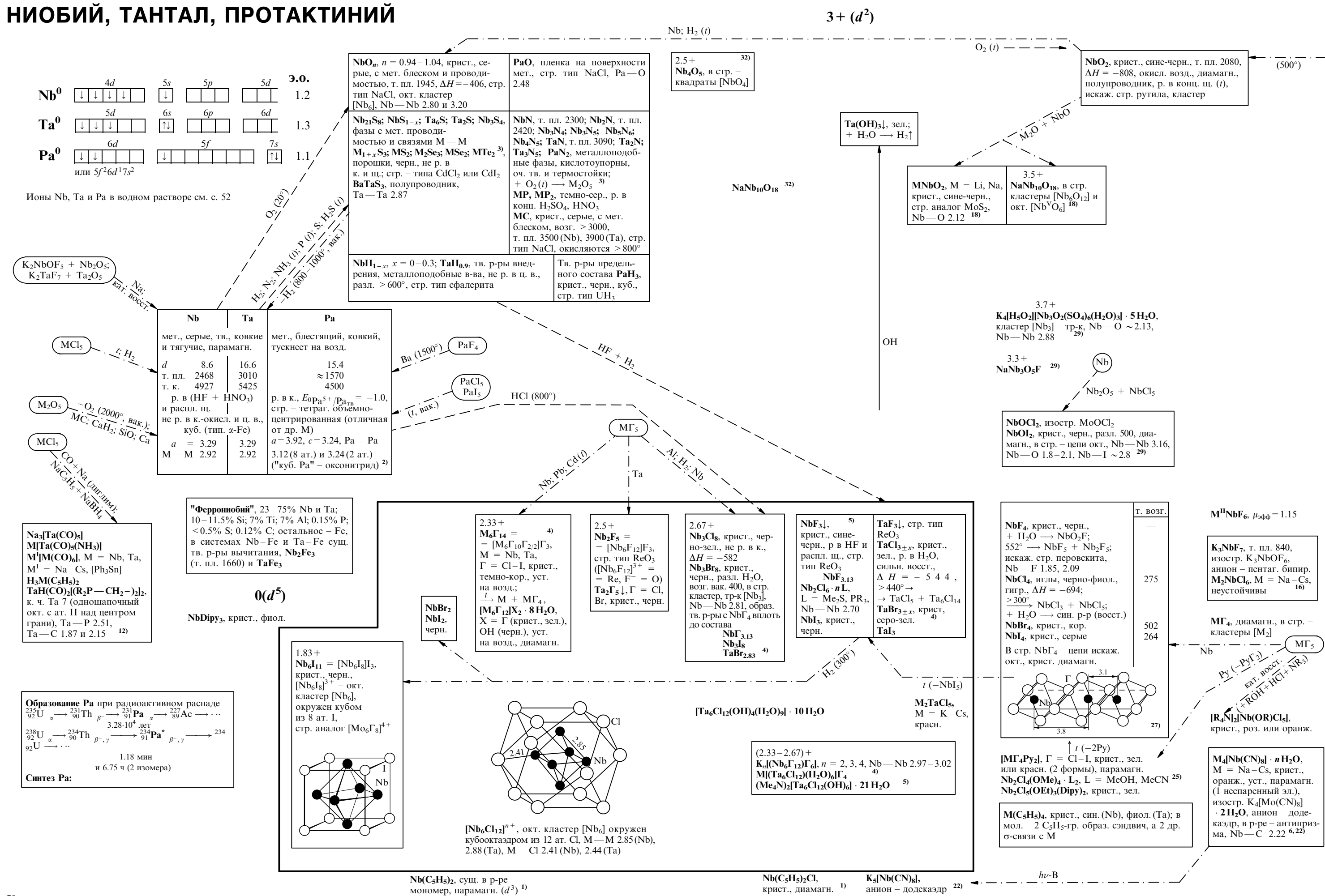


4+ (d<sup>1</sup>)

5+ (d<sup>0</sup>)

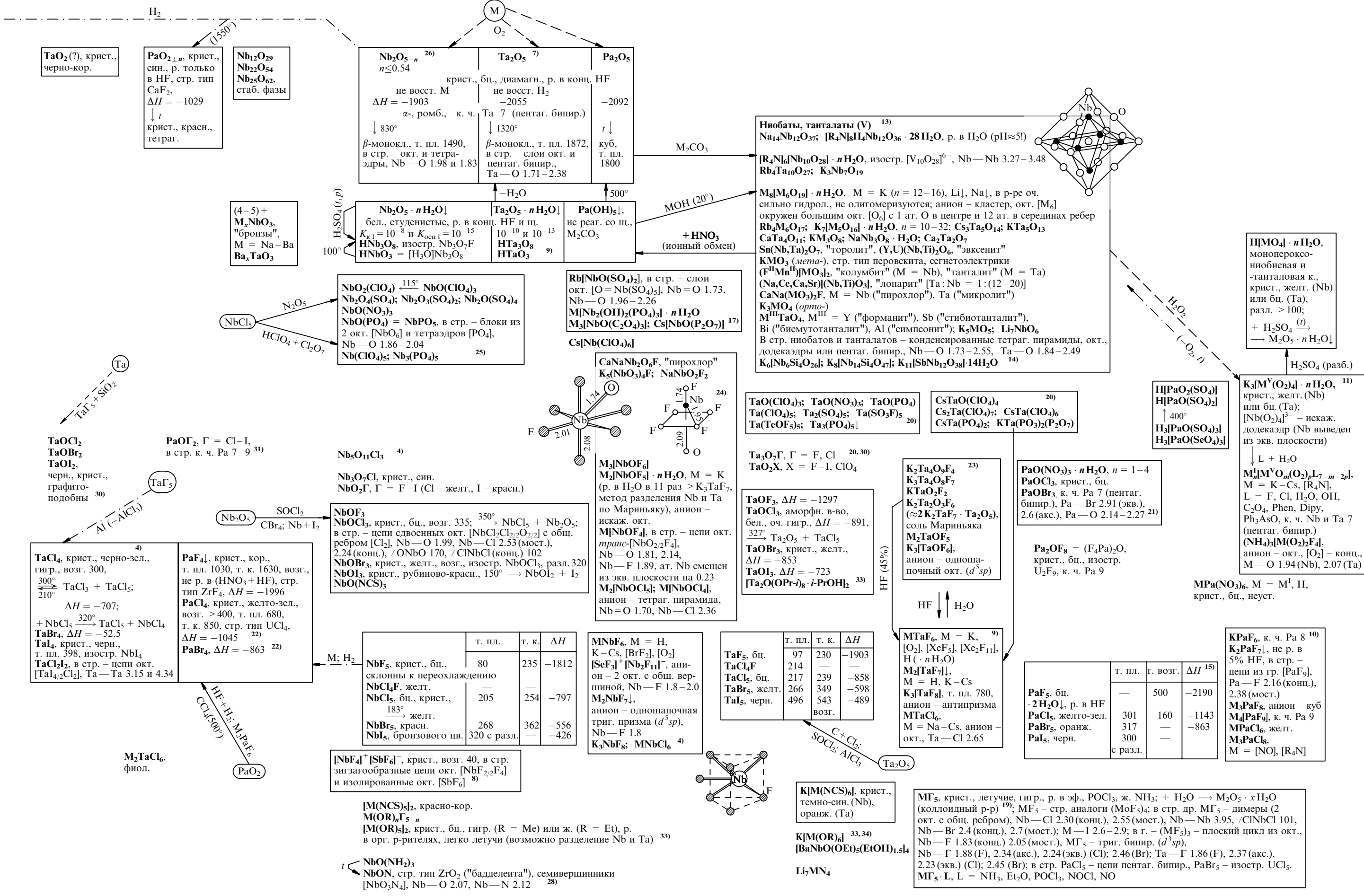


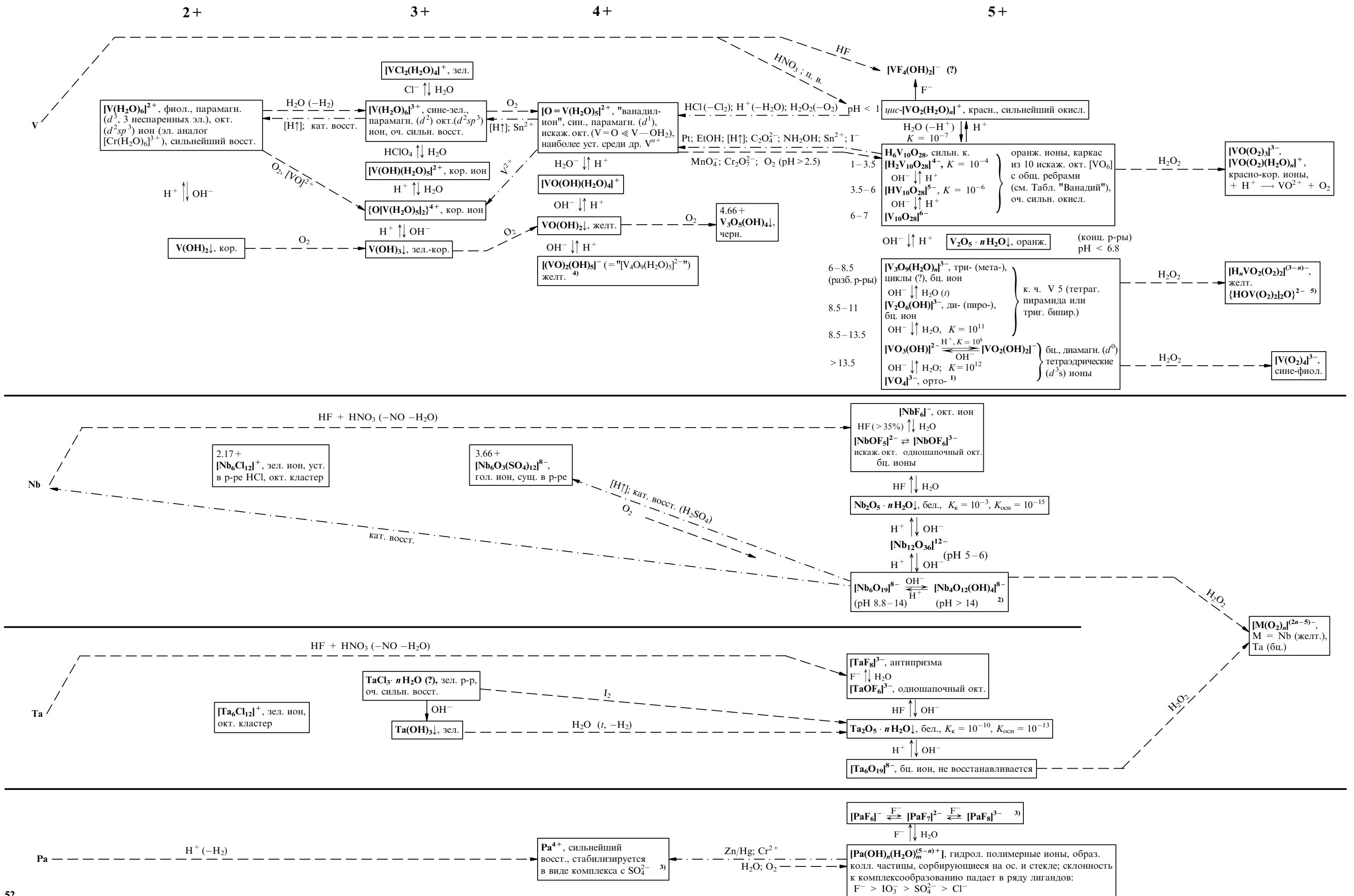
# НИОБИЙ, ТАНТАЛ, ПРОТАКТИНИЙ



4 + (d<sup>1</sup>)

5 + (d<sup>0</sup>)



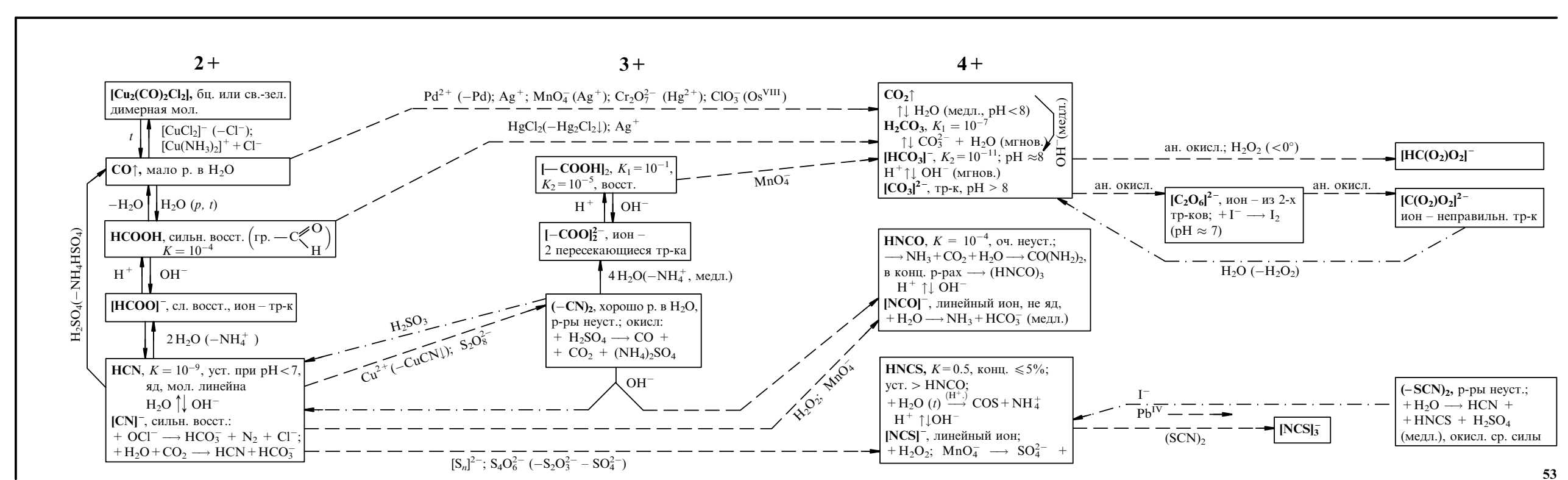
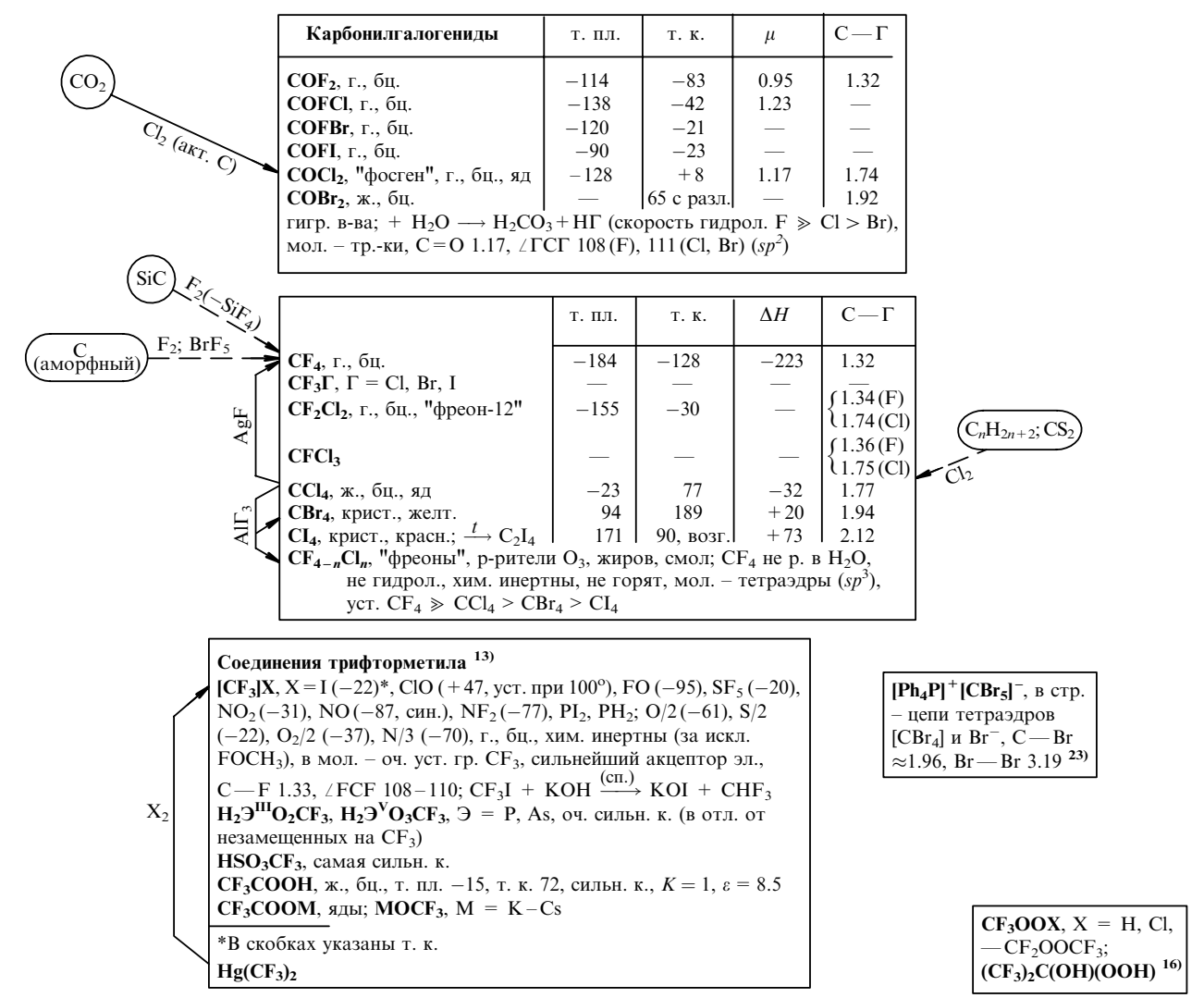
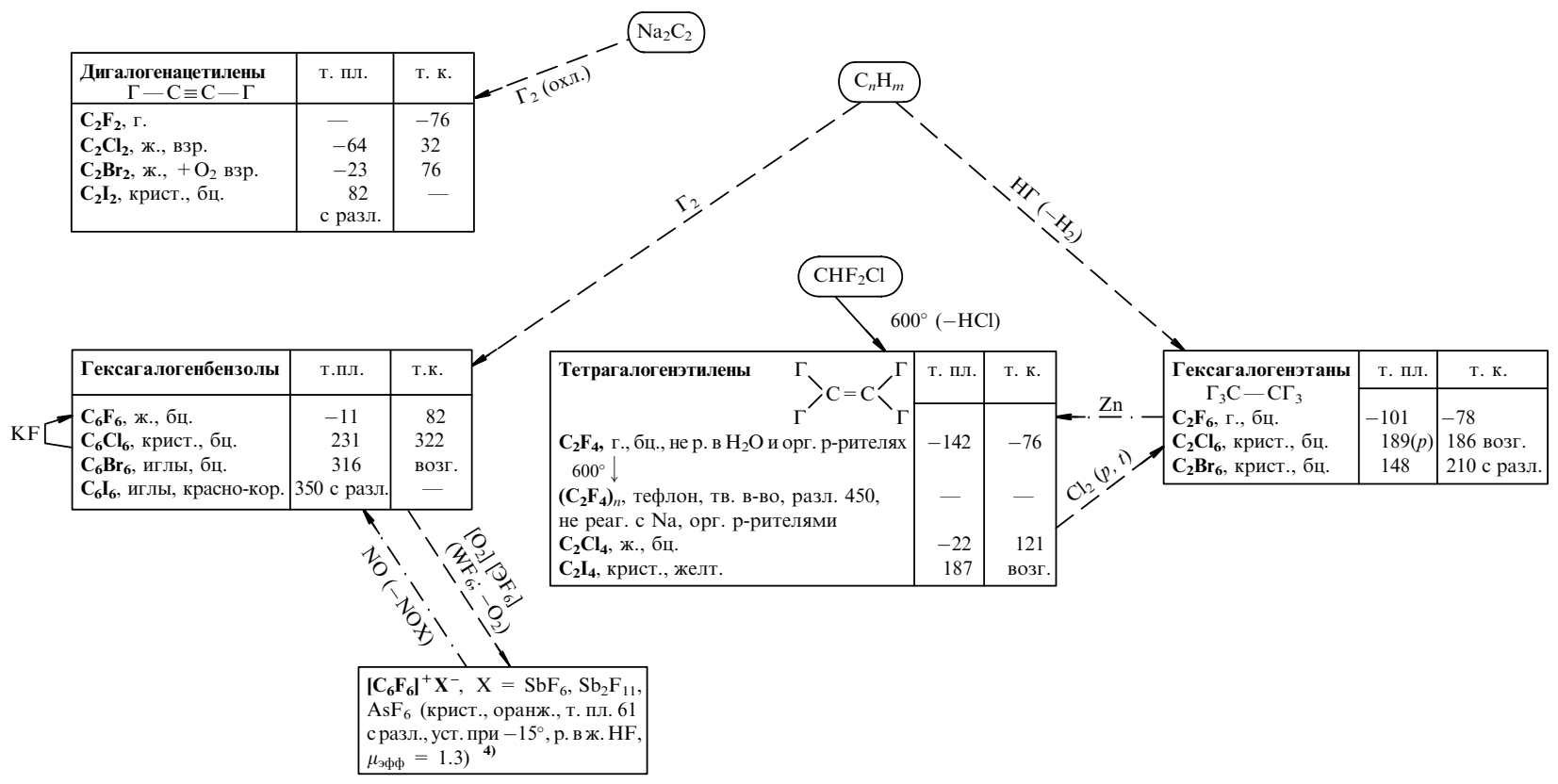




1+

2/n+

4+

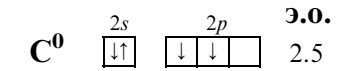


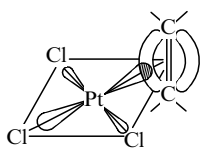
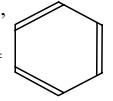
# УГЛЕРОД

(2 + 2/n) -

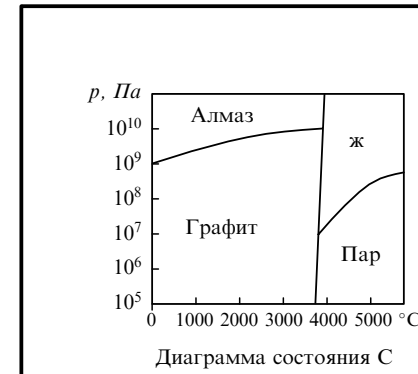
2 -

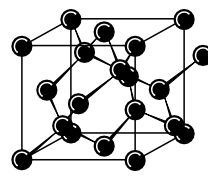
1 -

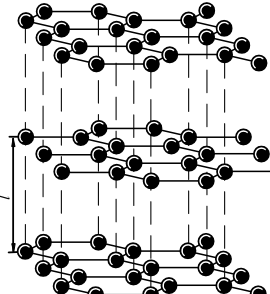


Углеводороды (гомологические ряды)			
$C_nH_{2n+2}$ алканы, C—C 1.54	$C_nH_{2n}$ алкены, C—C 1.35	$C_nH_{2n-2}$ алкины, C—C 1.21	$C_nH_{2n-6}$ ароматические соединения, C—C 1.40
$CH_4$ , метан, г., бц., т. пл. -184, т. к. -161, $\Delta H = -75$ $C_2H_6$ , этан, г., бц., т. пл. -183, т. к. -89, $\Delta H = 84.8$ , хим. инертны, мол. - тетраэдр и 2 тетраэдра с общ. вершиной ( $sp^3$ ), C—H 1.09, C—C 1.54	$CH_2=CH_2$ , этилен, г., т. пл. -169, т. к. -104, $\Delta H = +55$ , $\angle HCC = \angle HCH = 120 (sp^2)$ , C—H 1.09, C—C 1.40-1.47 	$CH\equiv CH$ , ацетилен, г., т. пл. -81.8 (р), т. возг. -83.6, $\Delta H = +227$ , тв. и ж. взр., $\angle HCC = 180 (sp)$ , C—H 1.06, C—C 1.32	$C_6H_6$ , бензол, ж., т. пл. 5.5, т. к. 80, $\Delta H = +49$ , $\angle CCC = \angle HCC = 120 (sp^2)$ , C—H 1.08, C—C 1.35-1.43 
	$K[PtCl_3(C_2H_4)]$	$Co_2(CO)_6(RC\equiv CR)$ $[Pt(PR_3)_2(PhC\equiv C)]_2$	$Cr(C_6H_6)_2$ , $AgClO_4 \cdot C_6H_6$

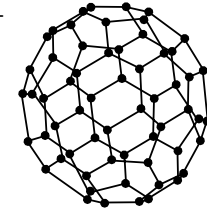
**π-комплексы**  
Кратные связи - доноры π-эл.; дативные связи образ. за счет оттягивания эл. с заполненных d-орбиталей M на π\*-орбитали L; M = Ag, Hg (II), Co, Pt, Pd (II) и т. д.



**Алмаз**, крист., окт. или куб., бц., т. пл. > 4000 ( $125 \cdot 10^2$  Па),  $d = 3.51$ , тв. 10, хрупок, диэлектрик, хим. инертен, куб. стр.,  $a = 3.56$ , гранцентрированный куб с 4 ат. в центрах 4-х из 8 малых кубов, к. ч. 4, тетраэдр ( $sp^3$ ), C—C 1.54  


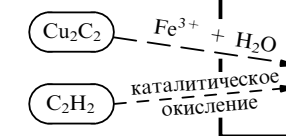
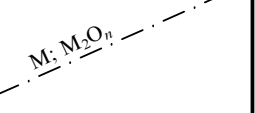
**Графит**, крист., черн.,  $d = 2.22$ , тв. 1-5, возг. 3700, двухслойная гексаг. стр.,  $a = 2.46$ ,  $c = 6.69$ , C—C 1.41, к. ч. 3,  $\angle CCC = 120 (sp^2)$ . Межслоевые C—C 3.34 (l), электропроводность вдоль слоя обусловлена делокализацией π-связей. В минерале сущ. ромбоэдрический графит с трехслойной стр.  


**Аморфный углерод** (сажа, древесный и животный уголь), мелкокрист. формы графита с дефектами в стр.,  $d = 1.8-2.1$ , хим. наиболее акт., адсорбент ж. и г.

**Фуллерены**,  $C_n$ ,  $n = 60$  ("бакминстерфуллерен"), 70, ..., темные порошки, возг. > 400, р. в бзл., сферические мол.  $C_{60}$ , мол. типа "футбольного мяча", состоит из 12 пяти- и 20 шестичленных циклов, C—C 1.45 и 1.39, разл. > 1000, полупроводник  $M_nC_{60}$ , M = K ( $n = 3$ , сверхпроводник), Rb ( $n = 3, 4, 6$ )  
 $C_{60}M(PR_3)_2$ , M = Pd, Pt,  $n = 1-6$  (π-комплексы)  
 $C_{60} \cdot 2L$ , L =  $Fe(C_5H_5)_2$ ,  $P_4$  (с переносом заряда)  
 $C_{60}OsO_4Py_2$ ,  $n = 1, 2$ ;  $C_{60}Br_{24}$ , разл. 700<sup>1)</sup>  


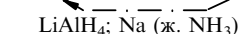
**Тубулены**,  $C_{\infty}$ , полимерные цилиндры из графитовых сеток<sup>3)</sup>  
 $C_{\infty}$ , линейные цепи (карбин, поликумулен-?)  
пар,  $C_2$  при 3100°, C—C 1.31

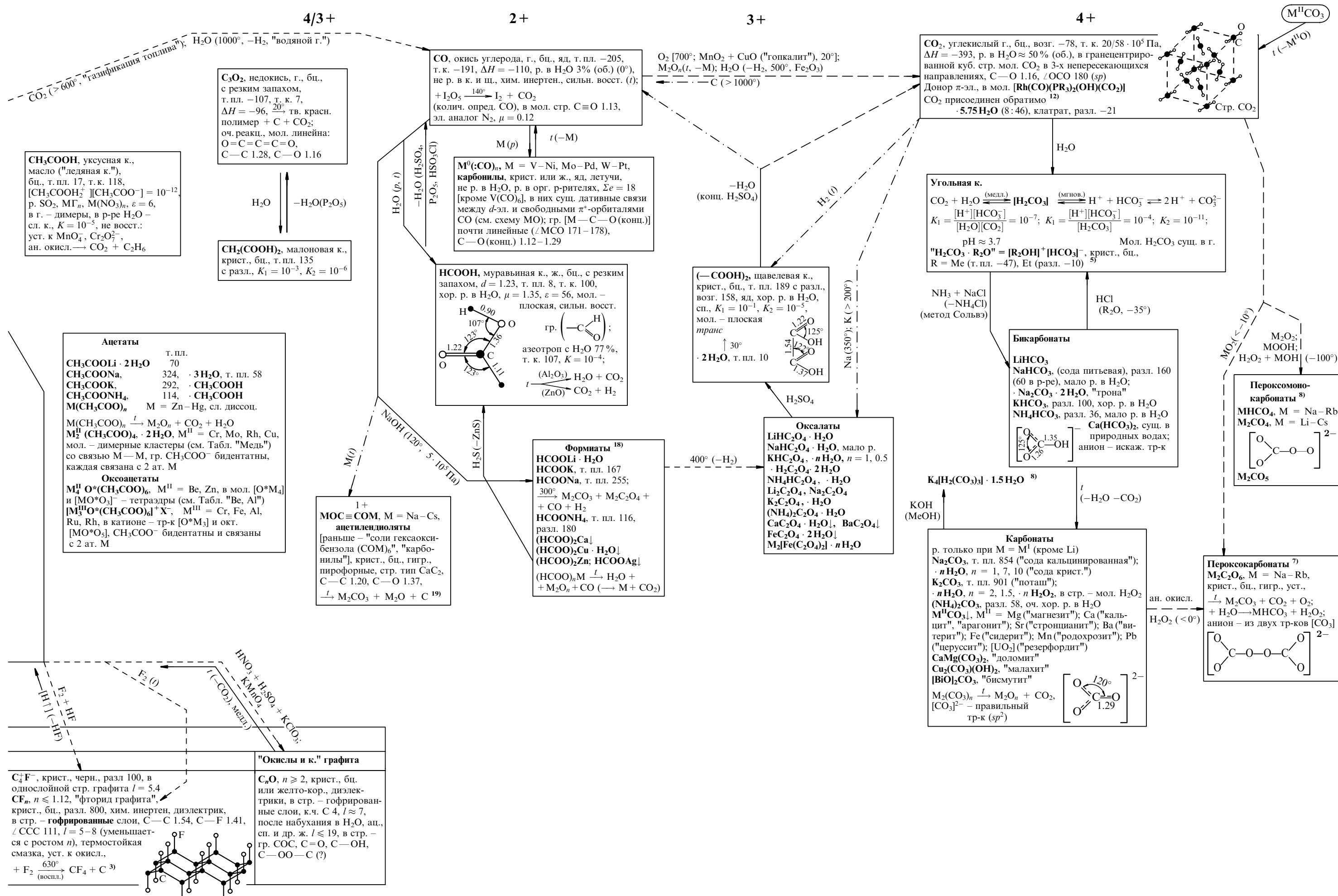
Солеобразные (стехиометрического состава)			Карбиды	
Метаниды и производные этана	Производные этилена	Ацетилены	Ковалентные	Металлоподобные (нестехиометрического состава)
т. пл.	т. пл.	т. пл.	т. пл.	т. пл.
$Be_2C$ 2150 $Al_4C_3$ > 2800 крист., бел., в стр. - изолированные анионы $[C]^{4-}$ ( $Be_2C$ - стр. тип <i>анти</i> -CaF <sub>2</sub> ); $+ H_2O \xrightarrow{t} CH_4 \uparrow$	$ThC_2$ 2655, желт. $VC_2$ — $UC_2$ 2350 $+ H_2O \rightarrow C_2H_4 + H_2 + CH_4 + C_nH_m$ , в искаж. стр. CaC <sub>2</sub> -ионы $[C=C]^{4-}$ , C—C 1.34 (ср. $C_2H_4$ !) $+ H_2O \xrightarrow{t} CH_4 \uparrow$	$NaHC_2$ — $Na_2C_2$ — стр. NaCl $BeC_2$ — $MgC_2$ — } стр. тип алмазу $CaC_2$ 2300 } $BaC_2$ > 1780 } CaC <sub>2</sub> $ZnC_2$ — $MC_3 = M_2[C_2]_3$ , M = Al, Se, крист., бц., $+ H_2O \rightarrow C_2H_2 + \dots$ стр. тип NaCl $HgC_2 \downarrow$ , образ. из р-ра в $H_2O$ ; взр. в сухом состоянии. В стр. ацетиленов (тип CsCl) - ионы $[C \equiv C]^{2-}$ , C—C 1.19-1.24 (ср. $C_2H_2$ !) $LnC_2$ , желт., т. пл. $\approx 2300$ ; $+ H_2O \rightarrow C_2H_2 + H_2 + \dots$ ; стр. тип CaC <sub>2</sub> , C—C 1.28, проводники $M_2C_3 = M_4[C_2]_3$ , M = Ln, U; $+ H_2O \rightarrow C_2H_2$ (50-70%) + $C_2H_4 + CH_4 + H_2$ ; C—C 1.24-1.32	$SiC$ , "карборунд", крист., бц. (темп. из-за примесей), разл. > 2200, стр. близка алмазу $V_4C = V_{12}[C_3]$ , крист., черн., т. пл. 2450, т. к. > 3500, в стр. типа NaCl-икосаэдры $[B_{12}]$ и линейные гр. $[C_3]$ , оч. тв., хим. инертны, жаростойки. Тв. сплавов в системе V—C—S > тв. SiC и $V_4C$	$Cr_3C_2$ 1900 $Cr_7C_3$ 1680 $Mn_7C_3$ — $Cr_{23}C_6$ ( $\approx "Cr_4C"$ ) 1520 $Mn_{23}C_6$ — $CrC$ — оч. тв., кислотоупорны, уст. к окисл. < 1000° $Fe_3C$ , "цементит" 1650 $Mn_3C$ 1520 $Co_3C$ } метастаб. — $Ni_3C$ } фазы — $Cr_3C_6$ } крист., сер. или черн. $(Fe, Cr)_3C$ , $(Fe, Mo)_3C$ , оч. тв., придают тв. сталям; $+ H^+ \rightarrow H_2 + CH_4 + C_nH_m$ $MC_{1-x}$ т. пл. $TiC$ 3250 $ZrC$ 3735 $HfC$ 3890 } стр. тип NaCl $VC$ 2830 } $NbC$ 3500 } $TaC$ 3900 } $WC$ 2660 } $MoC$ — $Hf_2C$ т. пл. $V_2C$ — гексаг. $Nb_2C$ — пл. $Ta_2C$ — упак. $W_2C$ 2700 $Mo_2C$ 2690 Соединения с мет. связью, проводники, оч. тв. (9-10), но хрупки, жаропрочны (т. пл. $M \ll MC$ ), кислотоупорны, р. только в ( $HF + HNO_3$ ) (l) и (распл. щ. + $O_2$ ): $\rightarrow Na_2WO_4$ и т. д. Средство к С (среди легирующих элементов) возрастает в ряду: Fe < Mn < Cr < W < Mo < Ta < V < Zr < Ti < Nb



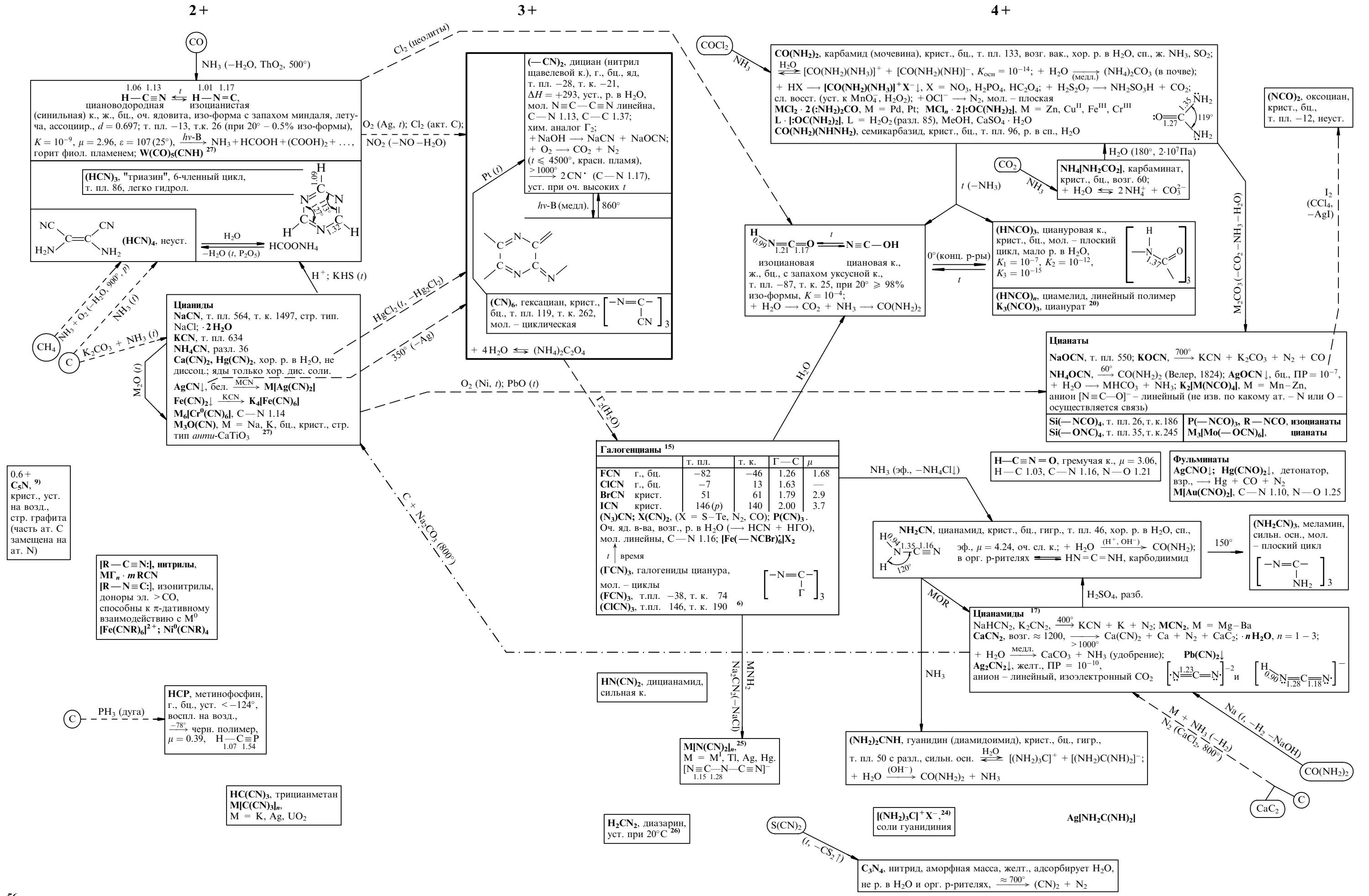
## Соединения графита (l - расстояние между слоями)

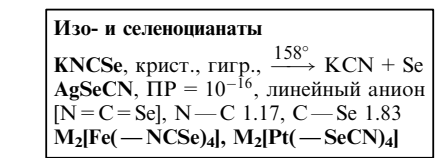
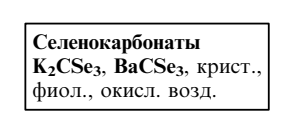
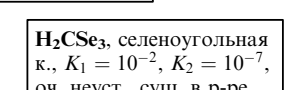
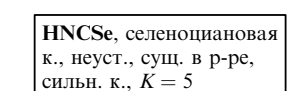
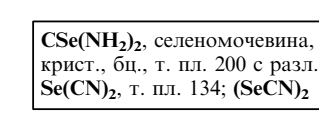
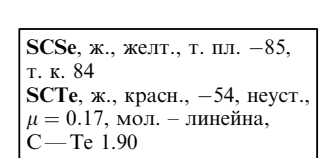
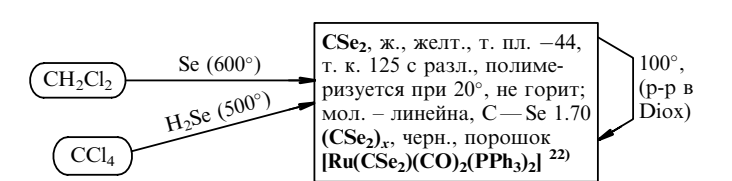
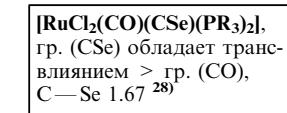
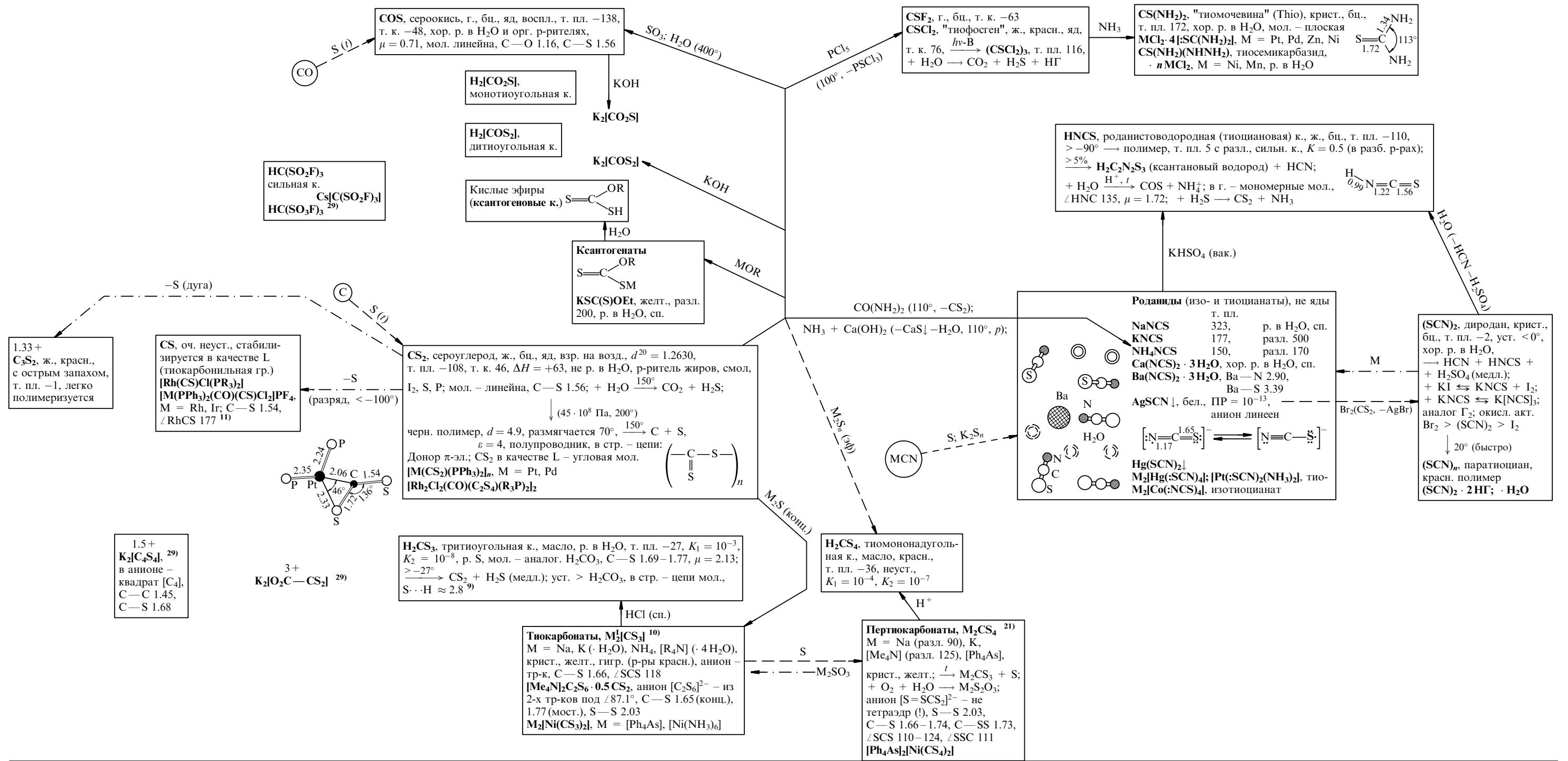
"Графитиды" металлов, $MC_n$ , $n \leq 60$ <sup>14)</sup>	Соединения включения <sup>2)</sup>	Графитовые соли <sup>2)</sup>
$LiC_6$ , $BaC_6$ <sup>14)</sup> $M_{1-x}C_8$ , M = K—Cs, крист., медно-красн., воспл. на возд., проводимость > графита; $+ H_2O \rightarrow H_2 + MOH +$ графит. В однослойной стр. графита $l = 3.7$ (Li), 5.4 (K), 5.6 (Rb), 5.9 (Cs), ат. M не на середине l; к. ч. M 12 (гексаг. призма) $MC_{16}$ , M = K—Cs; $K_6C_{60}$ , диэлектрики <sup>1)</sup> $M^0C_n$ , M = Mo, W, Mn—Ni, $l = 5.6-5.9$	$C_n \cdot L$ , L = $AlF_3$ , $SbF_5$ , $AsF_5$ , $GaBr_3$ , $FeCl_3$ , $LnCl_3$ , $CrCl_3$ , $FeS_2$ , $MoO_3$ , $XeF_6$ , $XeF_4$ , $KrF_2$ $C_{21}CrCl_3$ , $l = 12.80$ $C_{22-29}CrCl_3$ , $l = 16.57$ $C_{6,3}(Au_2Cl_6)$ , $l = 6.80$ $C_{33}AlBr_3$ , $l = 20.10$ $C_{8,5}IF_5$ ; $C_{38}UBr_5$ ; $C_{13}UF_6$ проводимость > графита	$C_n^+ \Gamma^- \cdot MC_m$ , $\Gamma = Cl, Br$ , M = Be, Al, Ga, Fe, Hg, Pt, Au, W, U; $l = 9-13$ <sup>2)</sup> $C_n^+ X^-$ , X = $NO_3$ , $ClO_4$ , $HF_2$ , $SO_3F$ , $AsF_6$ , крист., син., $l \approx 8$ $\uparrow$ HX $C_{24}^+ [HSO_4]^- \cdot 2H_2SO_4$ , крист., гол., $l \approx 8$ $C_8^+ Br^-$ , в стр. графита ( $l = 7.05$ ) - анионы $[Br_2]^-$ , Br—Br 2.1-2.2, проводимость > графита





# АЗОТНЫЕ И ФОСФОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ УГЛЕРОДА





# КРЕМНИЙ

4- \*

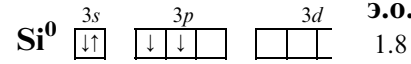
2-

1-

1+

2+

3+



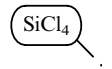
**Силаны Si<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>**  
г. или ж., бц., яды, с характерным запахом, воспл. на возд., уст. падает в гомолог. ряду, р. в орг. р-рителях, не р. в H<sub>2</sub>O, гидрол. при pH > 7, стр. аналоги C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, Si—H 1.48, Si—Si 2.32; ΔH SiH<sub>4</sub> = +33; сильн. восст., + Γ<sub>2</sub> → Si<sub>n</sub>H<sub>2n+2-x</sub>Γ<sub>x</sub> (взр.)

4- SiH <sub>4</sub> моно-	3- Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ди-	2.67- Si <sub>3</sub> H <sub>8</sub> три-	2.5- Si <sub>4</sub> H <sub>10</sub> тетра-	2.25- Si <sub>8</sub> H <sub>18</sub> октасилан
d 0.68 (-185°)	0.68 (-25°)	0.743 (0°)	0.825 (0°)	
т. пл. -185	-132	-117	-84	
т. к. -112	-14	+53	+107	

**(SiH<sub>2</sub>)<sub>n</sub>, полисилан**, крист., кор., воспл. на возд., разл. 380

**Si<sub>5</sub>H<sub>10</sub>, Si<sub>6</sub>H<sub>12</sub>**, ж., бц., воспл. на возд., стр. аналоги циклопентана и -гексана, Si—Si 2.34, Si—H 1.48, ∠SiSiSi 110 °)

**(SiH)<sub>n</sub>, силин**, желт., аморфн. в-во



**Si**, монокрист., серые или порошок бур. ("аморфный Si"), d = 2.3, т. пл. 1415, т. к. ~3250, кислотоупорен, р. в щ., E<sub>0</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Si<sub>IV</sub> = -1.86, полупроводник (<150°) (d и электропроводность возрастают при т. пл.), стр. тип алмаза, a = 5.42, Si—Si 2.35.

**Si высокой чистоты**, порошок бел.; + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>↑

↓ 2 · 10<sup>10</sup> Па

**Si мет.**, стр. аналог "бел." Sn, d = 2.55, Si—Si 2.30 и 2.39 в искаж. тетраэдре **Si-гексаг.**, a = 4.04, c = 6.60, стр. тип вюртцита 4)

**(SiO)<sub>n</sub>**, порошок, кор., уст. в г. >1000°, ΔH = 769, медл. окисляется; → Si + SiO<sub>2</sub> (при медл. возг.); + H<sub>2</sub>O + MOH → M<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>

**(SiOOH)<sub>n</sub>**, кремнешавелевая к., порошок, бел., взр. при трении, + NaOH → H<sub>2</sub> + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>

**[SiH<sub>3</sub>]X**, производные радикала "силила", бц., гигр. в-ва, воспл. на возд., X = Γ, SH, CN, NCS, N<sub>3</sub>, Me, PH<sub>2</sub>, O/2, S/2, Se/2, CN<sub>2</sub>/2, N/3, CH/3, P/3, As/3, Sb/3, тетраэдрические мол.

<b>K[SiH<sub>3</sub>]</b> , крист., бц., стр. тип NaCl, разл. 200	<b>(SiH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>O</b> , дисилоксан ↑ H <sub>2</sub> O	т. пл. -144	т. к. -15	d 0.88 (-80°)	Si—H 1.49	Si—Γ —
	<b>SiH<sub>3</sub>F</b>	—	-88	—	1.46	1.59
	<b>SiH<sub>3</sub>Cl</b>	-118	-30	1.15 (-113°)	1.48	2.05
	<b>SiH<sub>3</sub>Br</b>	-94	+2	1.53 (0°)	1.48	2.21
	<b>SiH<sub>3</sub>I</b>	-57	45	2.03 (15°)	1.48	2.44
	<b>[SiH<sub>3</sub>][PH<sub>2</sub>]</b>	—	13	—	—	—
	<b>(SiH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>N</b>	-106	52	—	—	—

SiH<sub>3</sub>Γ  $\xrightarrow{20^\circ}$  SiH<sub>2</sub>Γ<sub>2</sub> + SiH<sub>4</sub>; ∠HSiH 110, ∠HSiΓ 108, ∠SiOSi 144, ∠SiNSi 120 (ср. ∠MeOMe 112, ∠MeNMe 108 в MeO<sub>2</sub> и Me<sub>3</sub>N)

**(Si<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>)<sub>2</sub>O, силоксаны**, г. или ж., бц., быстро разл. щ., медл. -H<sub>2</sub>O, стр. аналоги простых эфиров

**(H<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>6</sub>)<sub>n</sub> силоксены**, крист., бц., г. или ж., бц., быстро разл. щ., медл. -H<sub>2</sub>O, стр. аналоги простых эфиров

сильн. восст.; + O<sub>2</sub> → люминесцирует, разл. H<sub>2</sub>O (t); + Br<sub>2</sub> → H<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>3</sub>Br<sub>3</sub>; + HBr → H<sub>5</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>3</sub>Br (стр. аналог цеолитов); + I<sub>2</sub> → H<sub>3</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>3</sub>I

	т. пл.	т. к.	d
<b>SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub></b>	-122	-78	—
<b>SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>	-122	8	1.42 (-122°)
<b>SiH<sub>2</sub>Br<sub>2</sub></b>	-70	66	2.17 (0°)
<b>SiH<sub>2</sub>I<sub>2</sub></b>	-1	150	2.73 (20°)

г. или ж., бц., мол. - тетраэдр, Si—H 1.47, Si—Γ 1.56 (F), 2.02 (Cl), ∠HSiH 112 (F), 114 (Cl), ∠ΓSiΓ 108 (F), 110 (Cl)

	т. пл.	т. к.	ΔH	Si—H	Si—Γ
<b>SiHF<sub>3</sub></b> , г., бц.	-110	-80	-1184	1.45	1.56
<b>SiHCl<sub>3</sub></b> , ж., бц., силикохлороформ	-126	33	-519	1.46	2.02
<b>SiHBr<sub>3</sub></b> , ж., бц.	-60	112	-327	1.49	2.16
<b>SiHI<sub>3</sub></b> , ж., красн.	+8	220	—	—	—

мол. - тетраэдр, ∠HSiF 111, ∠FSiF 108

**Силициды**

	<b>Солеобразные</b> , воспл. на возд., сильн. восст.					
	<b>M<sub>2</sub>Si</b> , M = Mg, Ca,	<b>MSi</b> , M = Ca—Ba,	<b>MSi</b> , M = Na—Cs,	<b>MSi<sub>2</sub></b> , M = Ca—Ba,		
Положение ат. Si	изолированные ат., стр. тип анти-CaF <sub>2</sub>	гофрированные слои Si <sub>∞</sub>	тетраэдры [Si <sub>4</sub> ] <sup>4-</sup> (см. Табл. "Щел. металлы")	слои Si <sub>∞</sub>		
<b>Металлоподобные</b> , кислотоупорны, р. в щ., термостойки (но т.пл. ниже, чем M), не оч. тв. (в отличие от боридов и карбидов), парамагн.; <b>MSi<sub>2</sub></b> , M = La, Cr, Mn, Fe, — полупроводники						
	<b>V<sub>2</sub>Si</b>	<b>FeSi<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub></b>	<b>Mn<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub></b>	<b>MSi<sub>2</sub></b> , M = Cr, Mo, Ti	<b>ThSi<sub>2</sub></b>	<b>MSi</b> , M = Ti, Zr, Mn, Fe
Положение ат. Si	изолирован. ат. Si	гр. [Si <sub>2</sub> ]	цепи Si <sub>∞</sub>	слои Si <sub>∞</sub>	трехмерная сетка Si <sub>∞</sub>	

"Ферросилиций" содержит 9–15, 43–50 или 72–95 % Si (низко-, средне-, высококремнистый)

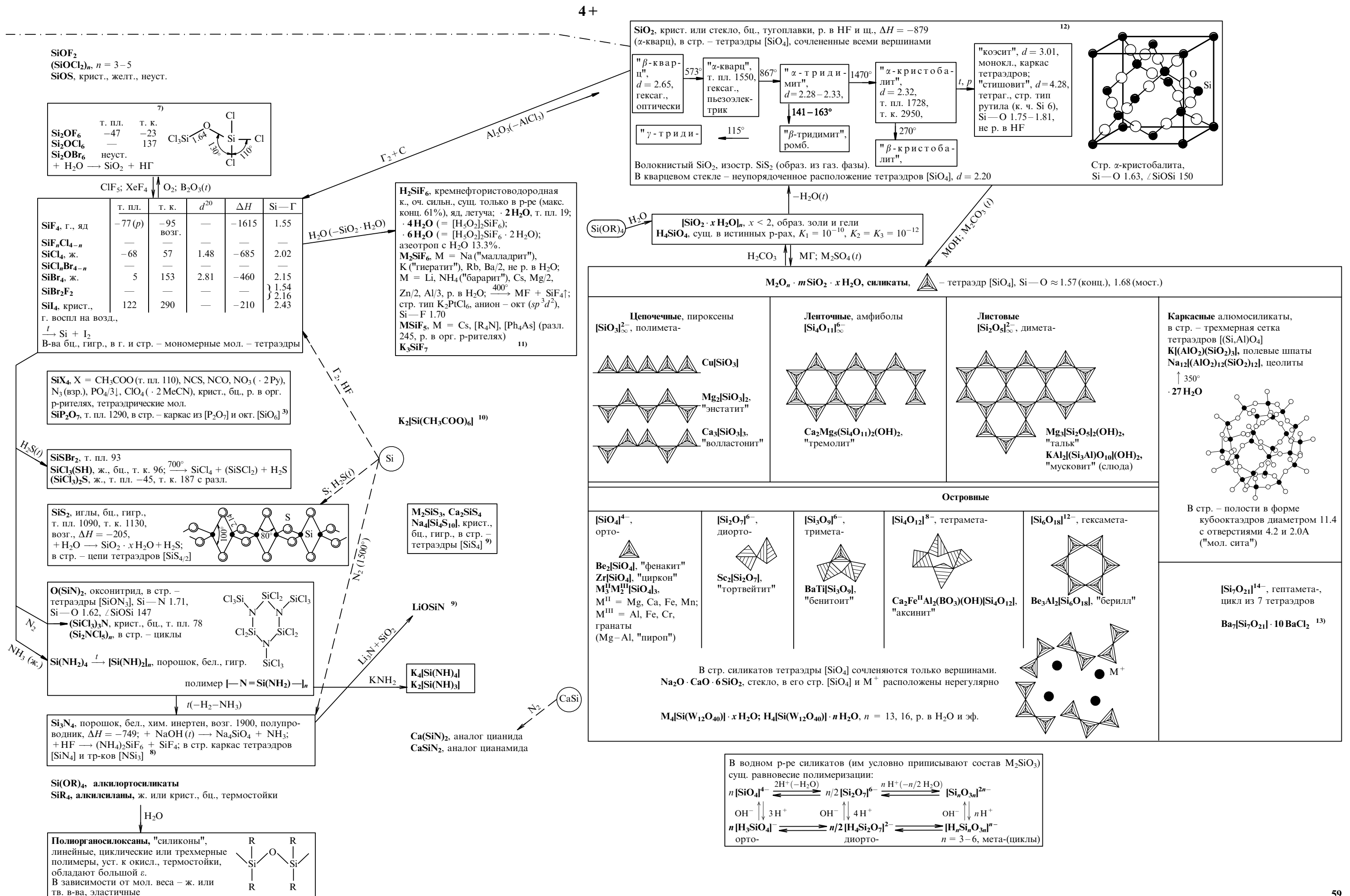
\* Несмотря на то, что значение Э.О. Si и ряда других неметаллических элементов — Ge (1.8), Sb (1.9), В и As (2.0), P и Te (2.1) меньше или равны Э.О. водорода (2.1), ст. их окисл. в гидридах принимаются за отрицательную величину. В пользу такого рассмотрения свидетельствует, в частности, их синтез при гидролизе соответствующих M<sub>n</sub>Э<sub>m</sub>. Этот подход позволяет рассматривать ЭН<sub>n</sub> перечисленных элементов в одном ряду с гидридами С, N, S и др. типичных неметаллов.

**SiC**, карборунд, крист., бц., разл. 2830, стр. тип алмаза, полупроводник (<1000°), оч. тв., р. только в (HF + HNO<sub>3</sub>); + NaOH + O<sub>2</sub>  $\xrightarrow{t}$  Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>; + H<sub>2</sub>O  $\xrightarrow{1300^\circ}$  SiO<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>; + Cl<sub>2</sub>  $\xrightarrow{>600^\circ}$  SiCl<sub>4</sub> + C

**Si<sub>2</sub>P**, крист., син. ↓ 600° (-Si)  
**SiP**, иглы, желто-кор.  
**SiAs**; **SiAs<sub>2</sub>**

**(SiS)<sub>n</sub>**, иглы, желт.  
**Ca(SiN)<sub>2</sub>**, аналог цианида

**Si<sub>2</sub>(NH)<sub>3</sub>** ↓ 500°  
**SiN**, бел., аморфн. в-во



# ГЕРМАНИЙ, ОЛОВО, СВИНЕЦ

4- \*

$\text{Ge}_n\text{H}_{2n+2}$ , германы г., бц.	т. пл.	т. к.	$\text{SnH}_4$ , станнан, г., яд. т. пл. -146, т. к. -52, разл. 20, (150° - быстро, к-р Sn), $\Delta H = +163$ , мол. - тетраэдр, Sn—H 1.70	$\text{PbH}_4$ , плумбан, г., бц., разл. при оч. низких $t$ ; $\Delta H = +251$
$\text{GeH}_4$ разл. 220, $\Delta H = +92$	-166	-88	$\text{Sn}_2\text{H}_6$	
$\text{Ge}_2\text{H}_6$	-109	31		
$\text{Ge}_3\text{H}_8$	-106	111		
$\text{Ge}_4\text{H}_{10}$	—	177		
$\text{Ge}_5\text{H}_{12}$ $\text{Ge}_6\text{H}_{20}$	— —	234		

$+\text{HCl} \rightarrow \text{GeH}_n\text{Cl}_{4-n}$ ;  
 $+\text{HI} \rightarrow \text{GeI}_2 + \text{H}_2$ ; стр.  
аналоги  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ , Ge—H 1.53,  
Ge—Ge 2.41<sup>18)</sup>

**Полигерманы,**  
тв. в-ва  
 $(\text{GeH}_2)_n$ ;  $(\text{GeH})_n$   
1) желт., оч. реакц.  
2) бел., уст. только в  
р-рах ж.  $\text{NH}_3$

	4s	4p	4d	Э.о.
$\text{Ge}^0$	$\uparrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow$		2.0
$\text{Sn}^0$	$\uparrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow$		1.8
$\text{Pb}^0$	$\uparrow\downarrow$	$\downarrow\downarrow$		1.5

$\text{SiH}_4$ ;  
( $\text{SiH}_3$ )<sub>3</sub>P;  
 $\text{I}_2(-\text{HI})$

**[GeH<sub>3</sub>]X, соединения "гермила"**  
 $\text{GeH}_3\text{F}$   
 $\text{GeH}_3\text{Cl}$ , ж., бц., т. пл. -52,  
т. к. 28,  $\mu = 2.13$   
 $\text{GeH}_3\text{Br}$   
 $\text{GeH}_3\text{I}$   
Мол. - тетраэдр,  $\angle \text{HGeH}$  111,  
Ge—H 1.52, Ge—Г 1.73 (F),  
2.15 (Cl), 2.31 (Br), в стр. - цепи  
Ge—Г...Ge  
 $\text{H}_3\text{GeSiH}_3$ , т. пл. -120, т. к. +7  
 $\text{GeH}_3\text{PH}_2$   
 $(\text{GeH}_3)_3\text{P}$

$\text{NaMH}_3$ , M = Ge, Sn,  
натрийгерманил, -станнил,  
крист., бц.,  
( $\text{NH}_3$  ж.)  $\text{Na}^+ + [\text{GeH}_3]^-$ ;  
уст. Ge  $\gg$  Sn,  
 $> -33^\circ \rightarrow \text{NaGe} + 3\text{H}_2$

$\text{SnH}_3\text{Br}$ , мол. - тетраэдр,  
Sn—H 1.76, Sn—Br 2.47

$\text{Ge}_2\text{H}_5\text{I}$ , дигермилоид,  
разл.  $\approx 0$

**Германиды**<sup>8)</sup>  
 $\text{MGe}$ , M = Na—Cs,  
крист., темные, в стр.  
тетраэдры  $[\text{Ge}_4]$ ,  
Ge—Ge 2.58,  
 $\approx 400^\circ \rightarrow \text{Na} + \text{Ge}$   
 $\text{MGe}_4$ , M = K—Cs

**Полианионные соли**  
Цинтля<sup>19)</sup>  
 $\text{M}_4\text{Ge}_{17} = \text{M}_4[\text{Ge}_4]_2[\text{Ge}_9]$   
 $\text{Na}_n[\text{E}_9]$ , E = Ge, Sn,  
 $n = 2, 3, 4$ ;  
 $\text{Na}_2[\text{Sn}_4]$ ;  $\text{Na}_2[\text{Pb}_5]$ ;  $\text{NaPb}_3$ <sup>8)</sup>  
 $\text{Na}_3[\text{PbSn}_3]$ ,  $\text{Na}[\text{GaSn}_5]$   
 $\text{Na}_8[\text{SnSb}_4]$ , в стр. - искаж.  
кубы  $[\text{SnSb}_4\text{Na}_4]$   
 $\text{Sr}[\text{Sn}_3\text{Sb}_4]$ , анион -  
30-членный цикл;  
 $[\text{M}_4]$  - тетраэдр,  $[\text{M}_9]$  -  
триг. трехшапочные  
призмы  
 $-\text{L} \uparrow \downarrow \text{L}$  ( $\text{NH}_3$ , Еп, криптанды)  
 $[\text{Na}_4\text{E}_5][\text{Ge}_9]$   
 $[\text{Na}_4\text{E}_7][\text{Sn}_9]$   
 $[\text{Na}(\text{NH}_3)_4][\text{Pb}_9]$   
 $[\text{KCrypt}_3][\text{Sn}_9]$

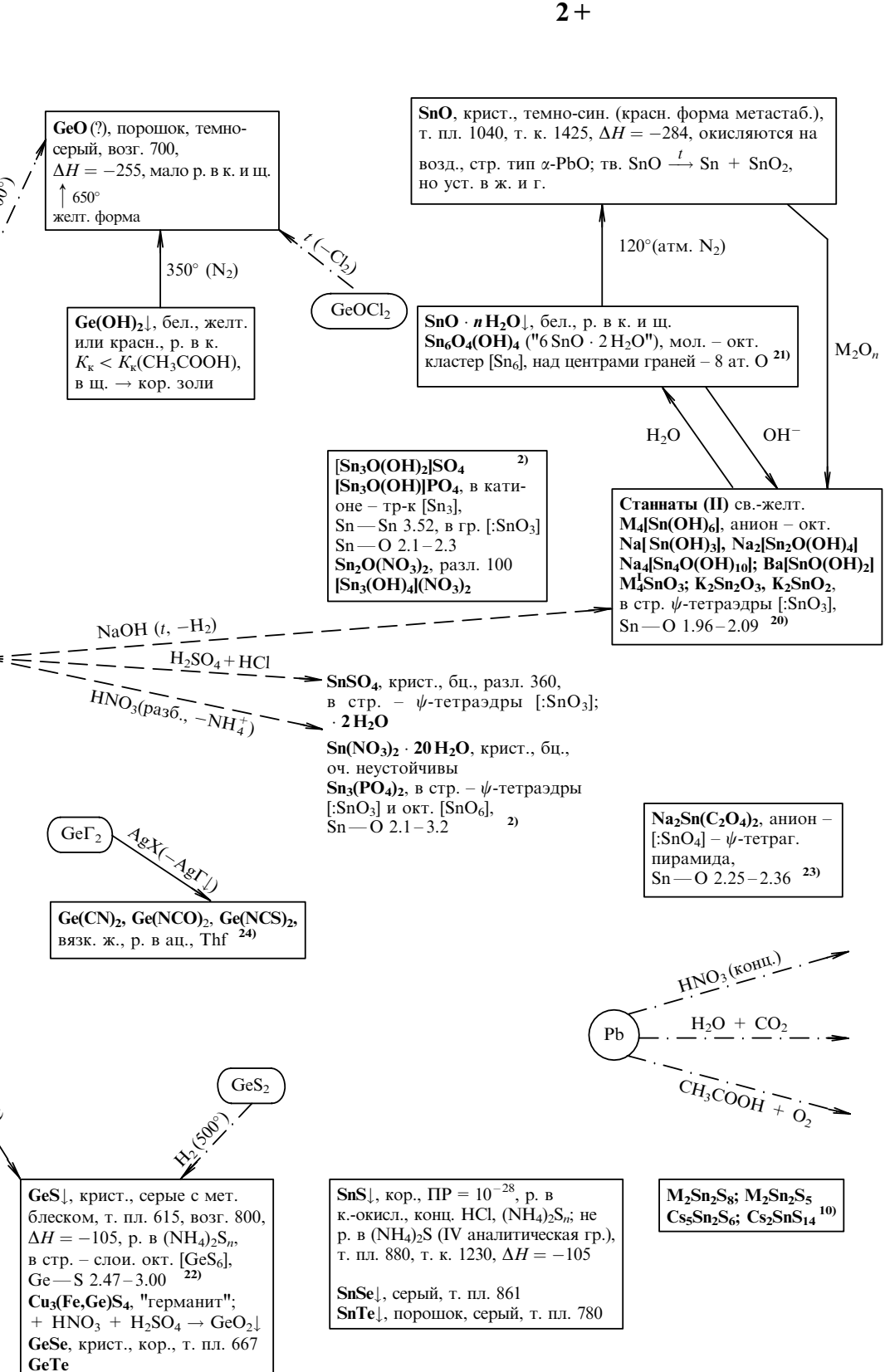
Ge	Sn	Pb
мет., серый, оч. тв., хрупкий, > 550° пластичен, полупроводник, прозрачен для ИК-лучей.	$\alpha$ -, "серое", $d = 5.75$ , стр. тип алмаза, $a = 6.49$ , Sn—Sn 2.81, полупроводник > 13.2° $\beta$ -, "белое", мет. ковкий	мет., мягкий, синевато-бел., не пропускает $\gamma$ - и рентгенов- ское излучение
$d$ 5.32 т. пл. 937 т. к. 2850 р. в ( $\text{H}_2\text{O} + \text{щ.}$ ), $\text{HNO}_3$ (медл.), $\text{H}_2\text{SO}_4$ и ц. в $E_0\text{M}^{2+}/\text{M}_{\text{тв}} \approx 0$ куб. алмазная стр.	$d$ 7.31 — — р. в конц. к. и щ.	$d$ 11.3 327 1751 р. в $\text{HNO}_3$ (разб.), $\text{H}_2\text{SO}_4$ (> 80%) и ( $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{O}_2$ ) -0.126
$a = 5.66$ , Ge—Ge 2.45 $125^\circ \uparrow \downarrow 12 \cdot 10^9$ Па стр. тип бел. Sn, $d = 8.47$ ; $a = 4.88$ , $c = 2.58$	-0.136 тетраг. (искаж. алмаз- ная) стр., $a = 5.82$ , $c = 3.17$ , Sn—Sn 3.17 и 3.02 $\downarrow 161^\circ$ $\gamma$ -, ромб., мет., хрупкий, $d = 6.6$ , т. пл. 232, т. к. 2620	куб. пл. упак., $a = 4.94$ , Pb—Pb 3.50

**Сплавы**  
Бронзы, Cu + Sn  
Баббиты (для подшипников), Pb + Sb + Cu  
Типографские, 5–30% Sn, 10–20% Sb,  
50–80% Pb  
Мягкий припой, 30–70% Sn, остальное – Pb,  
т. пл. 181 (65% Sn)

$\text{Ge}[\text{Fe}(\text{CO})_4]_4$ ,  
в мол. - тетраэдр  
 $[\text{GeFe}_4]$ ,  
Ge—Fe 2.40,  
Fe—Fe 2.82

$\{\text{HSn}[\text{Mn}(\text{CO})_5]_2\}_2$ ,  
кластер, Sn—Sn 2.89,  
 $[\text{SnHMn}_2\text{Sn}]$  - искаж.  
тетраэдр, Sn—Mn 2.73<sup>1)</sup>

$\text{GeH}_2\text{Cl}_2$   
 $\text{GeH}_2\text{Br}_2$ , мол. - тетраэдр,  
Ge—H 1.52–1.56, Ge—Г 2.13 (Cl), 2.27 (Br)



\* См. примечание к с. 58





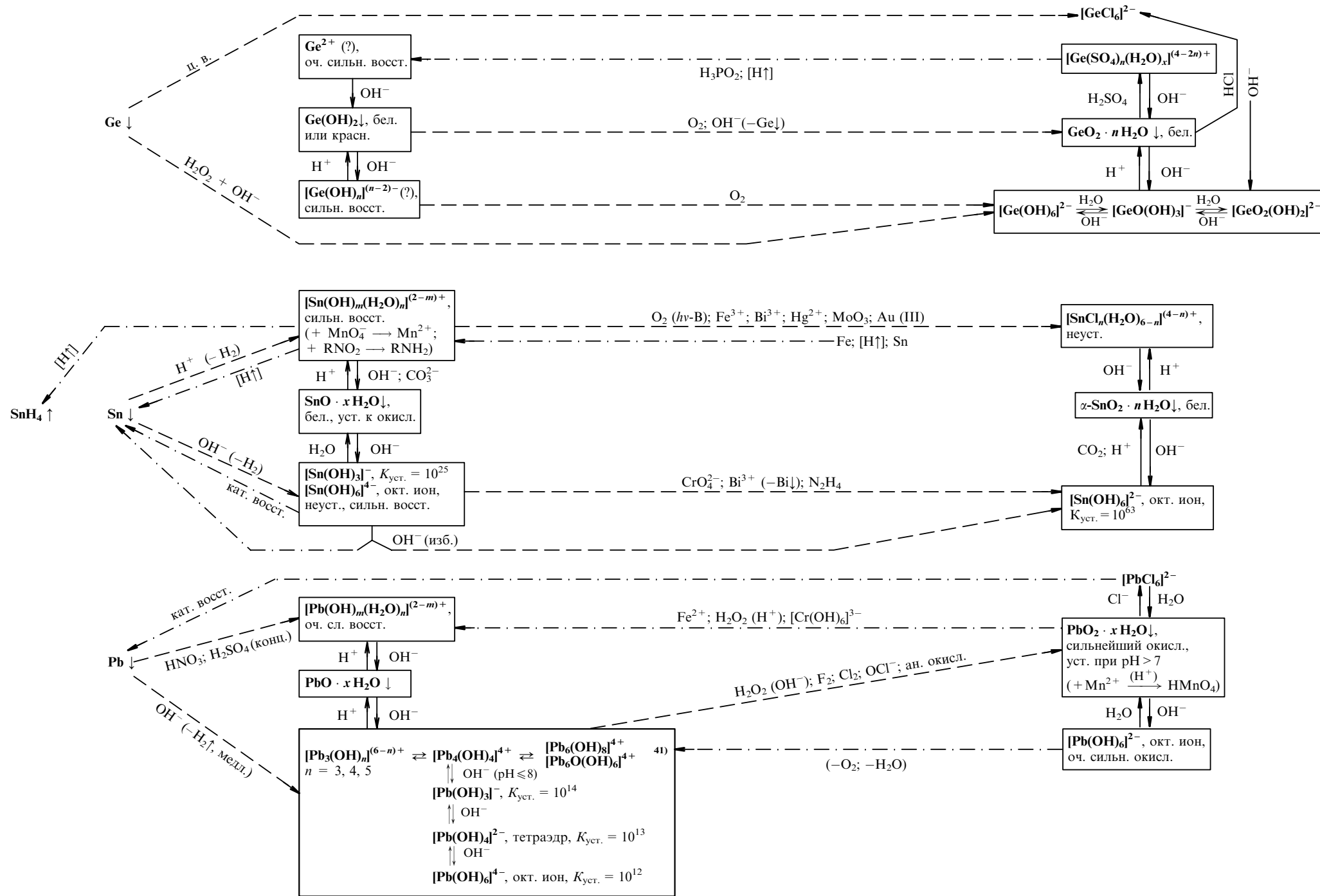


4-

0

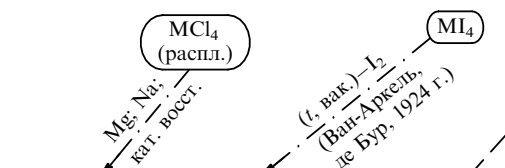
2+

4+



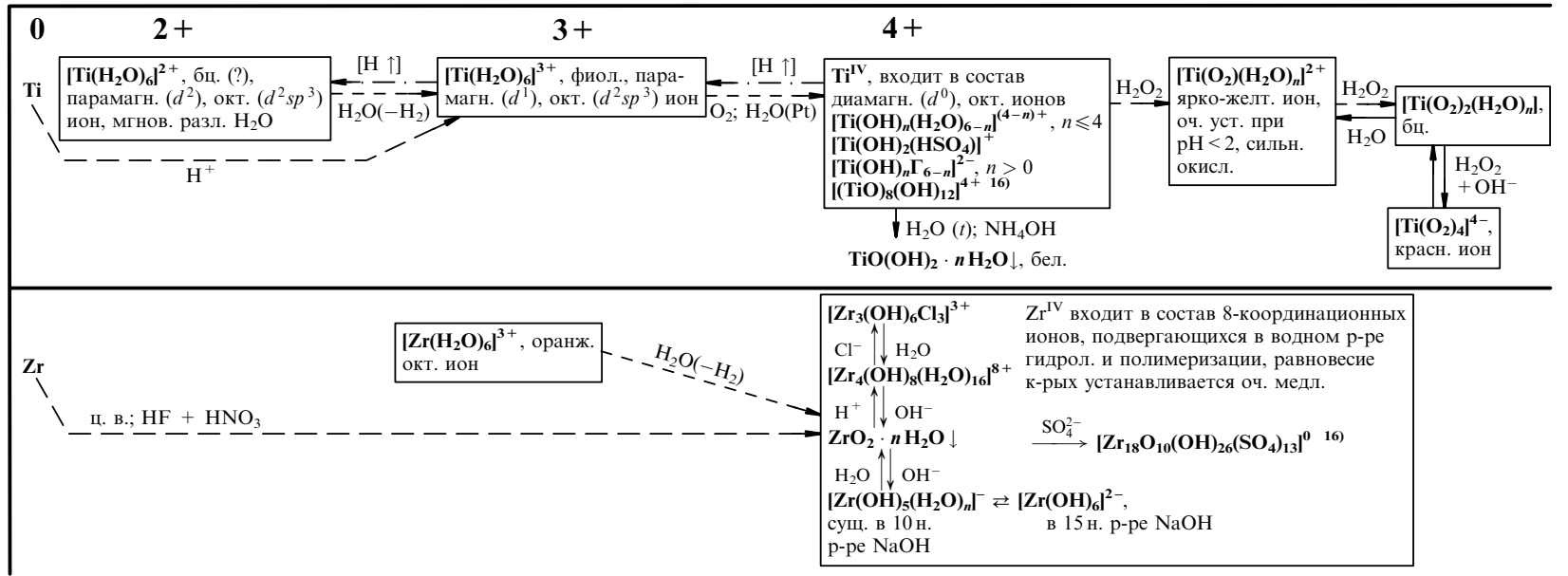
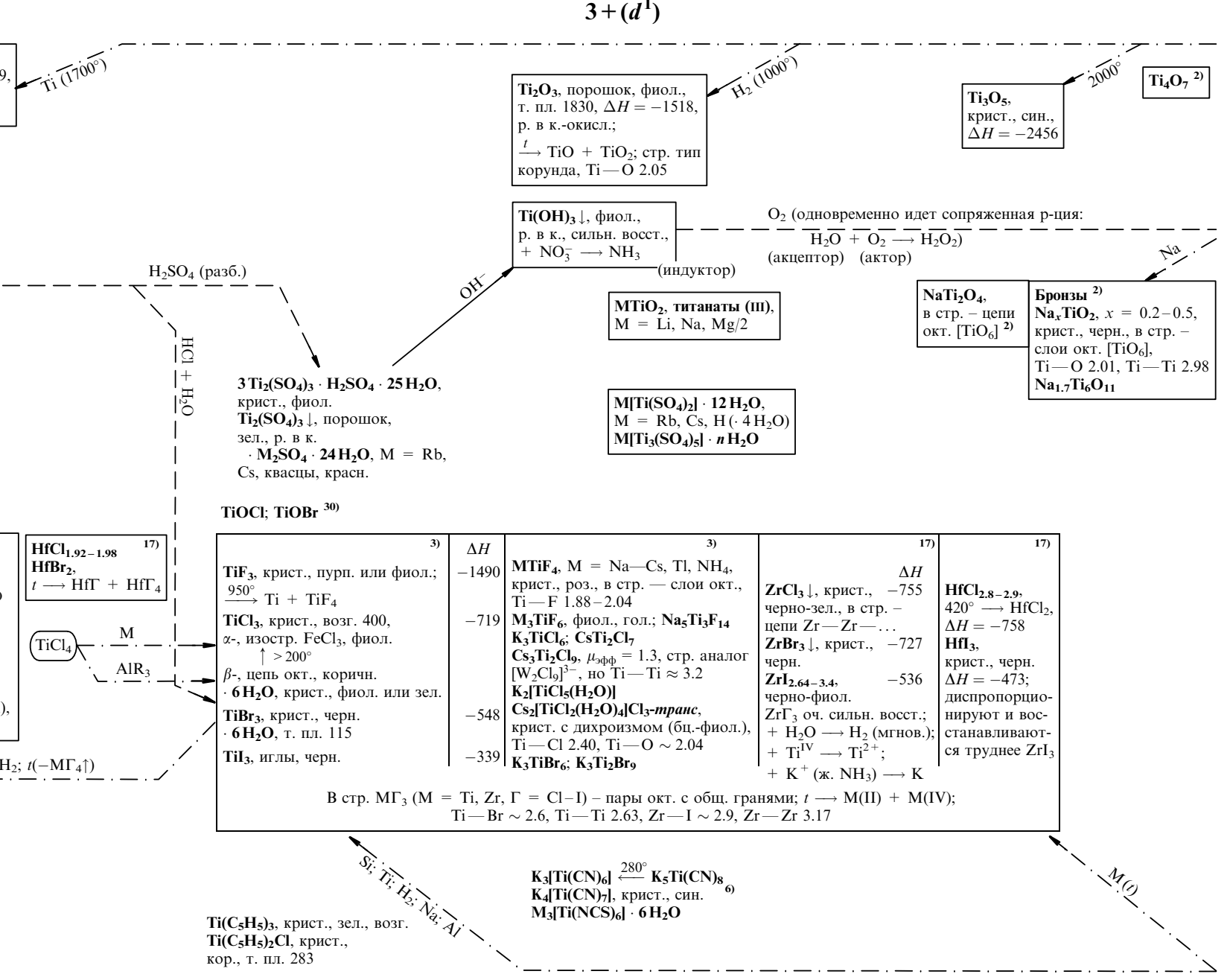
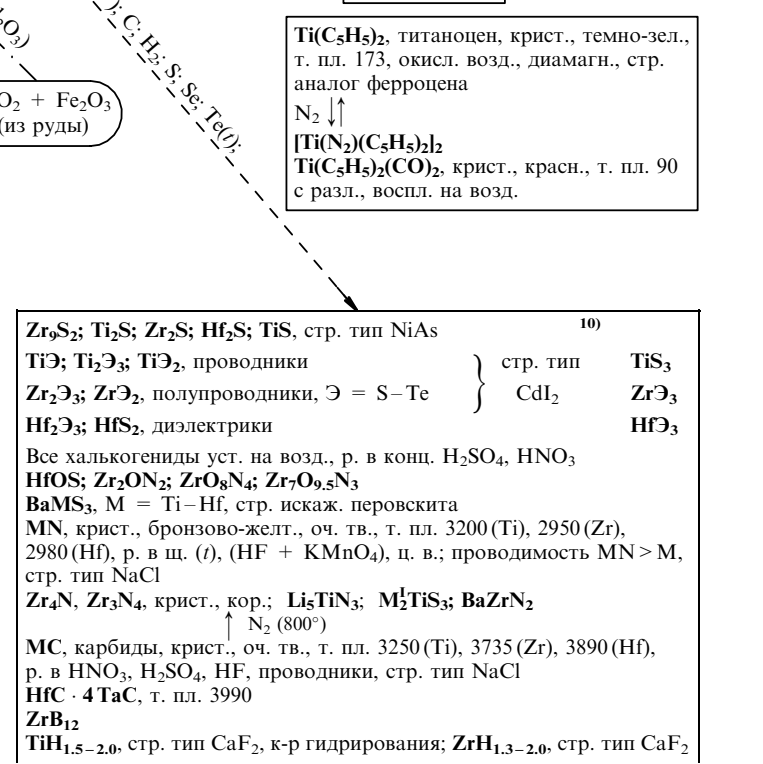
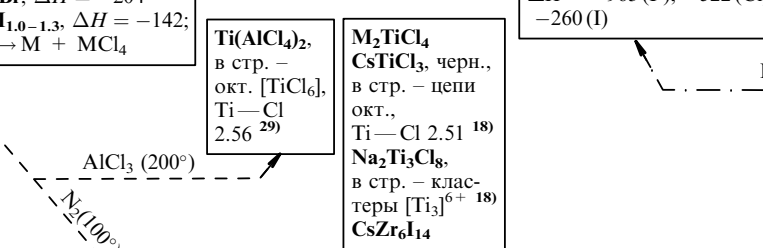
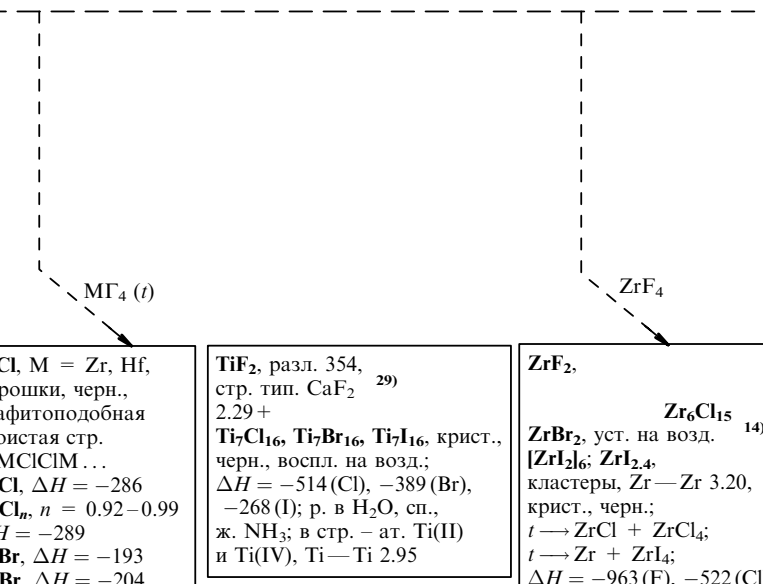
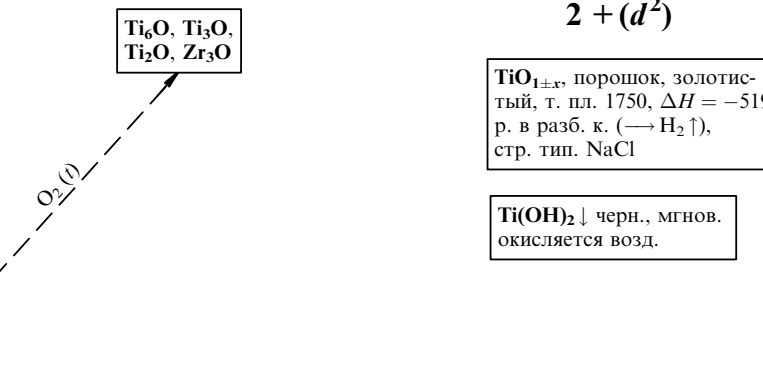
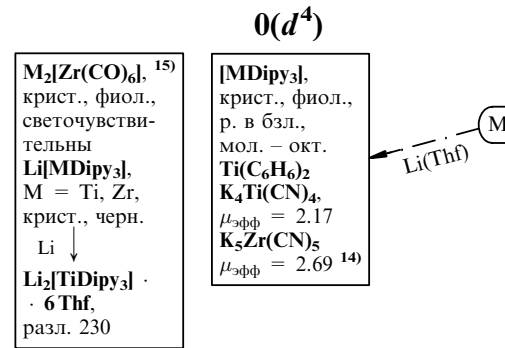
# ТИТАН, ЦИРКОНИЙ, ГАФНИЙ

<b>Ti<sup>0</sup></b>	3d	4s	4p	<b>Э.о.</b>
↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑			1.5
<b>Zr<sup>0</sup></b>	4d	5s	5p	1.4
↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑			
<b>Hf<sup>0</sup></b>	5d	6s	6p	1.3
↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑			



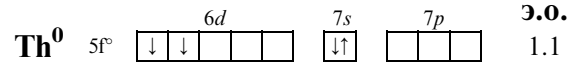
Ti	Zr	Hf
мет., серебристо-бел., ковки (хрупки в присутствии следов O, N, C, H), уст. на возд.		
d	4.5	6.5
т. пл.	1668	1855
т. к.	3260	~4340
$E_0Ti^{2+}/Ti_{тв} = -1.63$	$E_0M^{4+}/M_{тв} = -1.43$	-1.57
$E_0Ti^{3+}/Ti_{тв} = -1.21$		
р. в HF, HCl, конц. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> и щ.; пассивируется HNO <sub>3</sub>		
α-, гексаг. пл. упак.		
a	2.95	3.22
c	4.68	5.13
↓	882°	862°
β-, куб. (стр. тип. α-Fe)		
a	3.32	3.61
		3.54

**Ферросплавы**, тв., вязки., уст. к коррозии "Ферротитан", 15–25 или 40–50% Ti, 3–6% Si, 5–8% Al, 3% Cu, ≈ 0.1% C, S, P; в системе Fe–Ti суц. тв. р-р вычитания Ti<sub>2</sub>Fe, TiFe, TiFe<sub>2</sub> и TiFe<sub>3</sub> "Ферроцирконий", раскислитель в сталях; в системе Fe–Zr суц. тв. р-р и Zr<sub>2</sub>Fe<sub>3</sub> (т. пл. 1640)

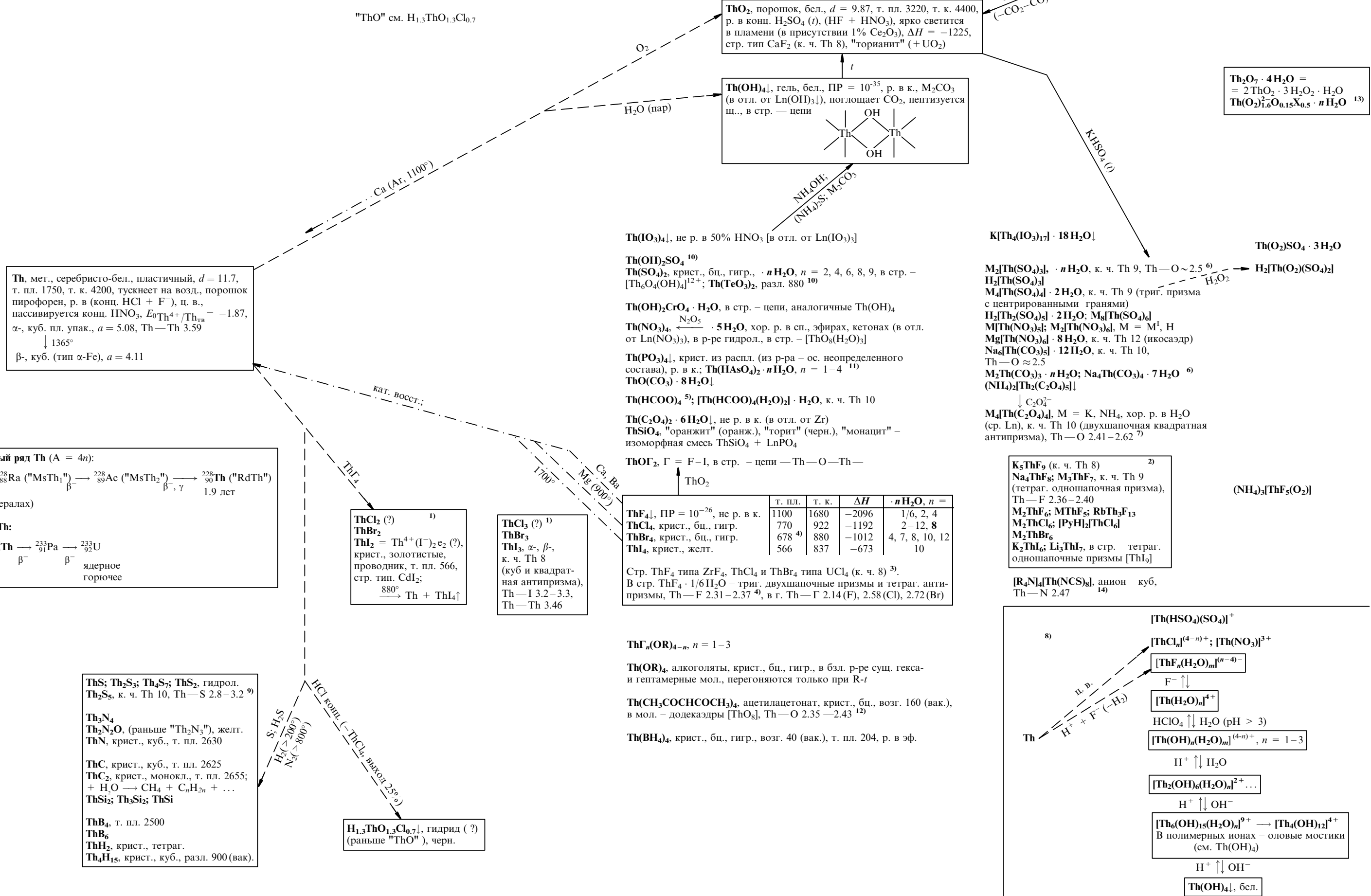




# ТОРИЙ



"ThO" см.  $\text{H}_{1.3}\text{ThO}_{1.3}\text{Cl}_{0.7}$



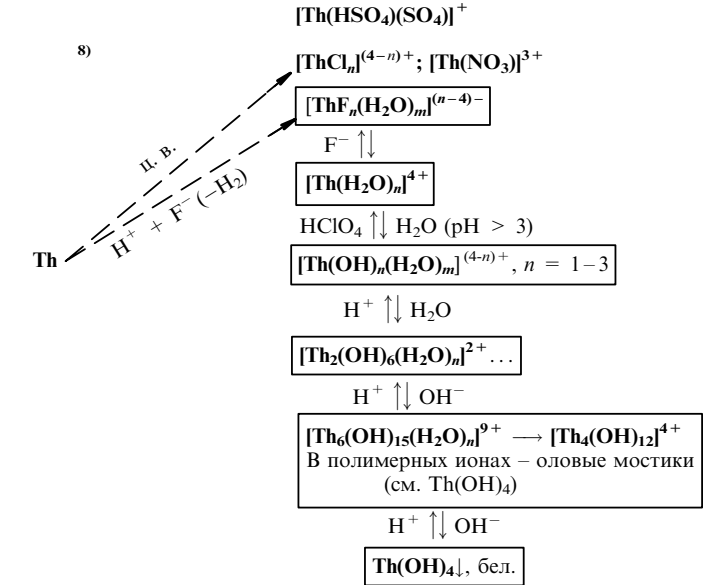
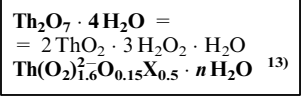
**Th**, мет., серебристо-бел., пластичный,  $d = 11.7$ , т. пл. 1750, т. к. 4200, тускнеет на возд., порошок пирофорен, р. в (конц.  $\text{HCl} + \text{F}^-$ ), ц. в., пассивируется конц.  $\text{HNO}_3$ ,  $E_0\text{Th}^{4+}/\text{Th}_{\text{ТВ}} = -1.87$ ,  $\alpha$ -, куб. пл. упак.,  $a = 5.08$ , Th—Th 3.59  
 $\downarrow 1365^\circ$   
 $\beta$ -, куб. (тип  $\alpha$ -Fe),  $a = 4.11$

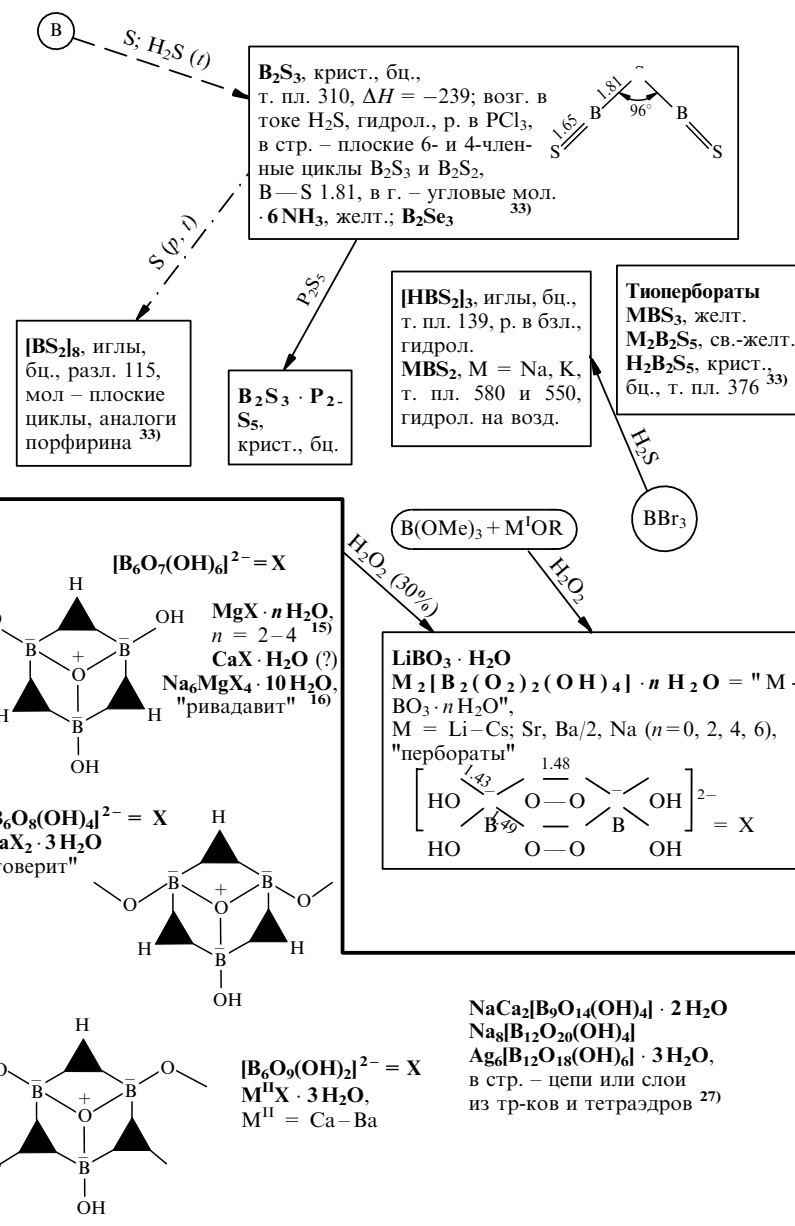
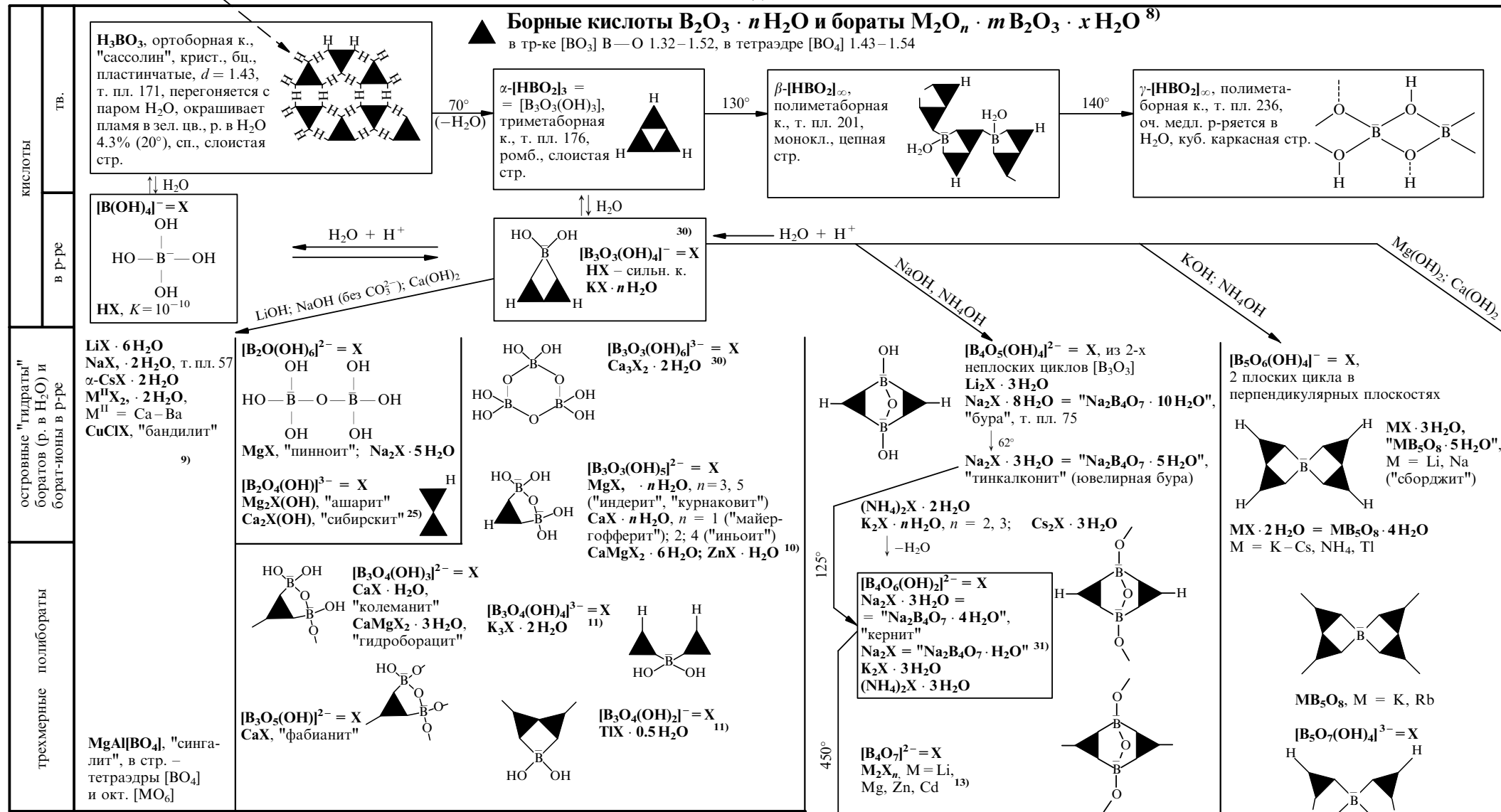
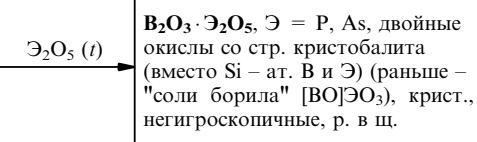
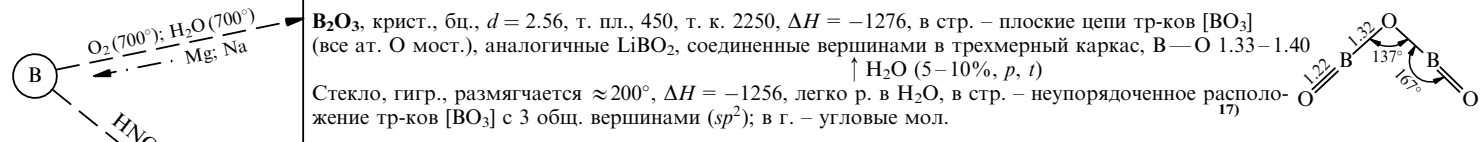
**Радиоактивный ряд Th (A = 4n):**  
 $^{232}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} ^{228}_{88}\text{Ra} \xrightarrow{\beta^-} ^{228}_{89}\text{Ac} \xrightarrow{\beta^-} ^{228}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\gamma} \dots$   
 1.39·10<sup>10</sup> лет (100% в минералах)  
**Применение Th:**  
 $^{232}_{90}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} ^{228}_{91}\text{Pa} \xrightarrow{\beta^-} ^{228}_{92}\text{U}$   
 ядерное горючее

**ThS; Th<sub>2</sub>S<sub>3</sub>; Th<sub>4</sub>S<sub>7</sub>; ThS<sub>2</sub>**, гидрол.  
**Th<sub>2</sub>S<sub>5</sub>**, к. ч. Th 10, Th—S 2.8–3.2<sup>9)</sup>  
**Th<sub>3</sub>N<sub>4</sub>**  
**Th<sub>2</sub>N<sub>2</sub>O**, (раньше "Th<sub>2</sub>N<sub>3</sub>"), желт.  
**ThN**, крист., куб., т. пл. 2630  
**ThC**, крист., куб., т. пл. 2625  
**ThC<sub>2</sub>**, крист., монокл., т. пл. 2655;  
 $+ \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{C}_n\text{H}_{2n} + \dots$   
**ThSi<sub>2</sub>; Th<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>; ThSi**  
**ThB<sub>4</sub>**, т. пл. 2500  
**ThB<sub>6</sub>**  
**ThH<sub>2</sub>**, крист., тетраг.  
**Th<sub>4</sub>H<sub>15</sub>**, крист., куб., разл. 900 (вак.)

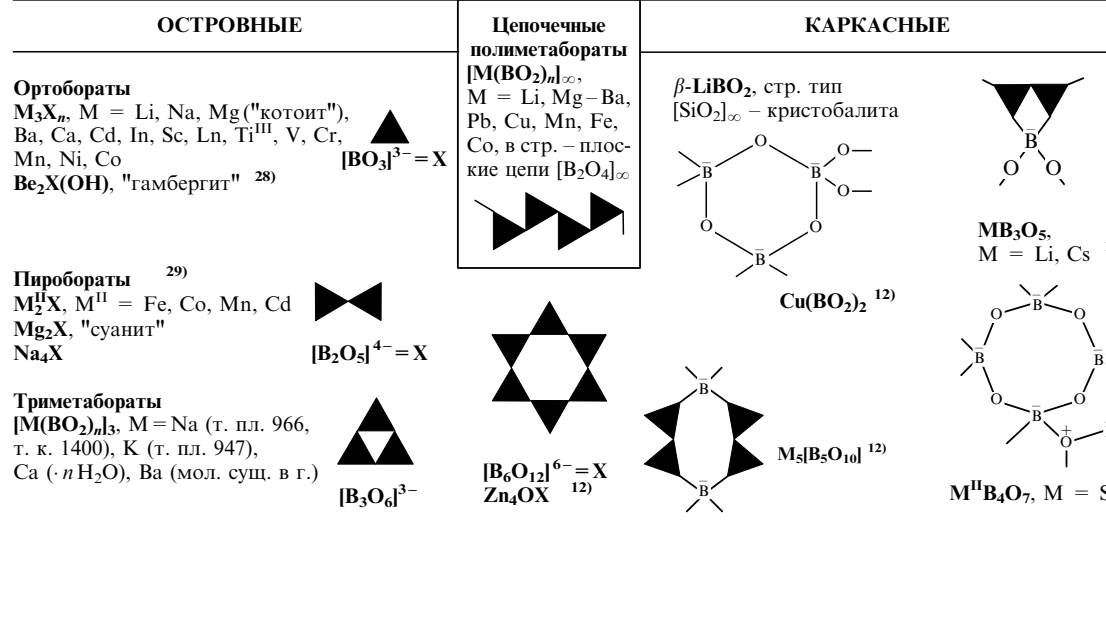
	т. пл.	т. к.	$\Delta H$	$-n\text{H}_2\text{O}$ , n =
<b>ThF<sub>4</sub></b> , ПР = 10 <sup>-26</sup> , не р. в к.	1100	1680	-2096	1/6, 2, 4
<b>ThCl<sub>4</sub></b> , крист., бц., гигр.	770	922	-1192	2–12, 8
<b>ThBr<sub>4</sub></b> , крист., бц., гигр.	678 <sup>4)</sup>	880	-1012	4, 7, 8, 10, 12
<b>ThI<sub>4</sub></b> , крист., желт.	566	837	-673	10

Стр. ThF<sub>4</sub> типа ZrF<sub>4</sub>, ThCl<sub>4</sub> и ThBr<sub>4</sub> типа UCl<sub>4</sub> (к. ч. 8)<sup>3)</sup>.  
 В стр. ThF<sub>4</sub> · 1/6 H<sub>2</sub>O – триг. двухшапочные призмы и тетраг. антипризмы, Th—F 2.31–2.37<sup>4)</sup>, в г. Th—Γ 2.14 (F), 2.58 (Cl), 2.72 (Br)





**БЕЗВОДНЫЕ БОРАТЫ**



**Равновесие полимеризации борат-ионов**  
при  $pH < 7$   
 $3n[B(OH)_4] \xrightleftharpoons{H^+} n[B_3O_3(OH)_4]^{2-} + 5H_2O \xrightleftharpoons{H^+} n[B_3O_3(OH)_5]^{2-}$ <sup>20)</sup>  
 $K = 10^{-10}$   
при  $pH \geq 7$  суц. подвижное равновесие всех форм островных полианионов (содержащих 1, 2 или 3 шестичленных цикла  $[B_3O_3]$  из тр-ков  $[BO_3]$  и тетраэдров  $[BO_4]$ ):  
 $[B_6O_7(OH)_6]^{2-} \rightleftharpoons [B_5O_6(OH)_4]^{2-} \rightleftharpoons [B_4O_5(OH)_3]^{2-} \rightleftharpoons [B_3O_3(OH)_3]^{2-} \rightleftharpoons [B(OH)_4]^-$   
Состав боратов, кристаллизующихся из р-ров, зависит в основном от природы катиона: Li-Cs образ. моно-, тетра- и пентабораты, Mg и Ca – три- и гексабораты (см. табл.). Наиболее легко кристаллизуются бораты, наименее р. по сравнению с др. тв. фазами данной системы: " $LiBO_2 \cdot 8 H_2O$ ", " $Na_2B_4O_7 \cdot 10 H_2O$ ", " $KB_3O_8 \cdot 4 H_2O$ ", " $Mg[B_3O_3(OH)_3] \cdot 5 H_2O$  ("индерит") и т. д.

**Растворимость щелочных боратов при 25°**  
(в пересчете на %  $B_2O_3$ )

	Моно-	Тетра-	Пентаборат
Li	6.9	15.0	15.0
Na	10.60	2.02	11.60
K	18.80	7.86	2.63
NH <sub>4</sub>	—	≈ 7	≈ 7
Cs	7.3	≈ 13	1.31

**BH<sub>3</sub> [L]**

L	т. пл.	т. к.	+H <sub>2</sub> O
Me <sub>2</sub> O	разл. -80	—	
Me <sub>2</sub> S	-83	38	
MeCN	—	—	
SiH <sub>3</sub> CN	—	—	SiH <sub>4</sub> + (BH <sub>2</sub> CN) <sub>x</sub> ↓
CO	-137	-64	CO + H <sub>2</sub> + H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
NH <sub>3</sub> , неустойчив → [H <sub>3</sub> NBH <sub>2</sub> NH <sub>3</sub> ] <sup>+</sup> (BH <sub>4</sub> ) <sup>-</sup>			
NMe <sub>3</sub> , "боразан"	94	171	
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	61 с разл.	—	
PH <sub>3</sub>	—	—	
PMe <sub>3</sub>	103	—	
PF <sub>3</sub>	-116	-62	
P(NH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub>	—	—	
AsMe <sub>3</sub>	74	разл. 120	
P(NMe <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> ↓	—	—	не р. в к., перегоняется с паром H <sub>2</sub> O

Мол. – тетраэдры, B—H 1.19–1.21, ∠HVBH 114, B—L 1.54 (C), 1.56 (N), 1.84 (P)

**Бораны**, г., ж. или крист., бц., с отвратительным запахом, разделяют перегонкой, разл. H<sub>2</sub>O (→ H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>), не реаг. с конц. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, акт. падает в гомологических рядах; ΔH сгорания очень велики (-485 B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, ракетное топливо). Мол. построены из тр-ков [B<sub>3</sub>], [B<sub>2</sub>H], [BH<sub>2</sub>] с мост. ат. В (к. ч. 4) и Н (к. ч. 2), В—В 1.68–1.95, В—Н 1.10–1.36 (конц., мост.); электронодефицитные мол. с многоцентровыми связями.

Гомологические ряды:	3- B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> диборан, г.	1.8- B <sub>5</sub> H <sub>9</sub> пентаборан-9, ж.	1.67- B <sub>6</sub> H <sub>10</sub> гексаборан-10, ж.	1.5- B <sub>8</sub> H <sub>12</sub> октаборан-12, г.	1.4- B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> декаборан-14, крист.	1.25- B <sub>16</sub> H <sub>20</sub> крист.	1.22- B <sub>18</sub> H <sub>22</sub> крист.
B <sub>n</sub> H <sub>n+4</sub>	т. пл. -165 т. к. -92 разл. >25 ΔH +35 μ 0 отношение к возд. 0 отношение к H <sub>2</sub> O воспл.	-46 60 150 (медл.) +114 3.37 (ж.) воспл.	-62 108 25 (медл.) +84 — уст.	-20 — -20 — — ?	100 213 250 -39 3.62 (бзл.) оч. уст.	99 — — — — —	180 (норм.) 129 (изо) — — — —
B <sub>n</sub> H <sub>n+6</sub>	2.5- B <sub>4</sub> H <sub>10</sub> тетраборан, г.	2.2- B <sub>5</sub> H <sub>11</sub> пентаборан-11, ж.	2.0- B <sub>6</sub> H <sub>12</sub> гексаборан-12, ж.	1.7- B <sub>9</sub> H <sub>15</sub> эннеборан-15, ж.	1.6- B <sub>10</sub> H <sub>16</sub> декаборан-16, крист.	1.3- B <sub>20</sub> H <sub>26</sub> 2,2'-би(нидо)-декаборанил	0.8- B <sub>20</sub> H <sub>16</sub> икосаборан-16, крист., бц., гигр., т. пл. 197, уст. на возд., р. в орг. р-рителях; + H <sub>2</sub> O ⇌ H[B <sub>20</sub> H <sub>16</sub> (OH) <sub>2</sub> ]; мол. – из 2-х B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> с 2 общ. гранями
	т. пл. -120 т. к. 18 (с разл.) разл. 25 ΔH +68 μ 0.56 (бзл.) отношение к возд. уст. отношение к H <sub>2</sub> O медл. гидрол.	-122 63 25 (MГHOB → B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> ) +92 — воспл.	-82 80–90 25 — уст.	3 75 — уст.	— — — уст.	мол. – 2 корзины [B <sub>10</sub> H <sub>14</sub> ] со связью B—B <sup>34</sup>	

**B<sub>n</sub>C<sub>2</sub>H<sub>n+2</sub>, карбораны<sup>1)</sup>** (изоэлектронны боранам) B<sub>3</sub>H<sub>3</sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, (Σe = 22 = Σe B<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), т. пл. -126, т. к. -4

**B<sub>10</sub>H<sub>10</sub>C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, "карборан"** (барен) (Σe = 50 = Σe [B<sub>12</sub>H<sub>12</sub>]<sup>2-</sup>), крист., бц., р. в орг. р-рителях, не р. в к., ш. и окисл. Ат. Н легко замещаются (ароматические системы), мол. – икосаэдр [B<sub>10</sub>C<sub>2</sub>], B—B 1.7–1.8

Изомеры:  
орто- (С, С-1.2), т. пл. 320, μ = 4.53, C—C 1.64  
↓ 475°  
мета (нео)- (С, С-1.3), т. пл. 263, μ = 2.85, уст. > орто-, B—B = B—C 1.78  
↓ 615°  
пара (изо)- (С, С-1.4), т. пл. 261, μ = 0

LiH; NaH [+ V(OMe)<sub>3</sub>]  
BF<sub>3</sub> (эф.)

B<sub>4</sub>H<sub>8</sub>CO, ж., бц., т. пл. -110, т. к. 60  
MOH(-H<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)  
B<sub>10</sub>H<sub>8</sub>(CO)<sub>2</sub> B<sub>12</sub>H<sub>10</sub>(CO)<sub>2</sub>

**B<sub>4</sub>C**, карбид, крист., черн., оч. тв., d = 2.5, т. пл. 2450, т. к. > 3500, ΔH = -71, хим. инертен < 1000°, стр. тип NaCl (икосаэдр [B<sub>12</sub>] = Na<sup>+</sup>, линейные гр. [C=C=C]=Cl<sup>-</sup>) ↑ 1200°(-C)

**BC<sub>3</sub>**, пленки с мет. блеском, стр. аналог графита, B—C 1.55  
B<sub>13</sub>C<sub>2</sub>, B<sub>2</sub>Si, B<sub>4</sub>Si<sup>26)</sup>

**Борогидриды**

Соединение	т. разл.	Свойства
LiBH <sub>4</sub>	278	крист., бц., нелетучи, р. в H <sub>2</sub> O (медл. → H <sub>2</sub> ↑, Li ≫ Na > K), ТГФ, ж. NH <sub>3</sub> , сильн. воспт.; стр. тип NaCl, [BH <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> – тетраэдр, B—H 1.26
NaBH <sub>4</sub>	400	
KBH <sub>4</sub>	500	
Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	280	
Ca(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	320	
MBH <sub>4</sub> · n H <sub>2</sub> O	—	
CuBH <sub>4</sub>	-12	неустойчивы, не р. в орг. р-рителях, гидрол.
Zn(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , бц.	85	
Cd(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> , бц.	25	
Be(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> } бц.	возг. 91	летучи, р. в эф., C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> , мгнов. гидрол., в стр. – мол. с мост. ат. Н
Al(BH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> }	т. пл. -65, т. к. 45	
Sn(BH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> , желт.	разл. -65	
Ti(BH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> , зел.	разл. 25	
Zr(BH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> } бц.	т. пл. 29, т. к. 128	
Hf(BH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> }	т. пл. 29, т. к. 118	
U(BH <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> , зел.	разл. 70	

3- Na[B<sub>2</sub>H<sub>7</sub>], анион [H<sub>3</sub>B · · H · · BH<sub>3</sub>]

2.3- Na[B<sub>3</sub>H<sub>8</sub>], р. в эф., уст. к H<sub>2</sub>O > NaBH<sub>4</sub>

2- M<sub>2</sub>[B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>], M = Na, Cs<sup>24)</sup>

1.4- M[B<sub>5</sub>H<sub>8</sub>], M = Li–K

1.33- M[B<sub>6</sub>H<sub>9</sub>], M = Li–K

1.2- M[B<sub>9</sub>H<sub>12</sub>], M = [R<sub>4</sub>N] неуст.

1.1- M[B<sub>11</sub>H<sub>13</sub>], анион уст. при pH ≫ 7

0.9- M[B<sub>9</sub>H<sub>9</sub>], M = Rb, Cs

0.8- M<sub>2</sub>[B<sub>10</sub>H<sub>10</sub>], M = Na, Cs (разл. 600), [R<sub>4</sub>N], Cu<sup>I</sup>, Ag↓, уст. к к. и, ш.; + MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> → [B(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup> (H<sub>3</sub>O)<sub>2</sub>[B<sub>10</sub>H<sub>10</sub>], оч. сильн. к., анион – двухшапочная антипризма

0.75- M<sub>2</sub>[B<sub>8</sub>H<sub>8</sub>], M = [Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]

0.67- M<sub>2</sub>[B<sub>6</sub>H<sub>6</sub>], M = Na, K, [R<sub>4</sub>N], Ag, анион – окт.

0.7- K<sub>4</sub>[B<sub>20</sub>H<sub>18</sub>] · 2 H<sub>2</sub>O; + H<sub>2</sub>O → B<sub>18</sub>H<sub>22</sub>

M[B<sub>9</sub>H<sub>14</sub>], M = Cs, [R<sub>4</sub>N], [R<sub>4</sub>P]

M[B<sub>10</sub>H<sub>15</sub>]

M[B<sub>10</sub>H<sub>13</sub>], M<sub>2</sub>[B<sub>10</sub>H<sub>14</sub>], M = K–Cs, уст. к гидрол., мол. – корзина

M[B<sub>11</sub>H<sub>14</sub>]

M<sub>2</sub>[B<sub>12</sub>H<sub>12</sub>], M = Cs (уст. 800°), Ag↓, не разл. к., ш. (t) и окисл. H<sub>2</sub>[B<sub>12</sub>H<sub>12</sub>] · n H<sub>2</sub>O, оч. сильн. к., анион – искаж. икосаэдр<sup>24)</sup>

Na<sub>2</sub>[B<sub>20</sub>H<sub>18</sub>], анион из 2 гр. [B<sub>10</sub>H<sub>10</sub>]

M<sub>3</sub>[B<sub>20</sub>H<sub>19</sub>]<sup>21)</sup>

Состав	M <sub>4</sub> B, M <sub>3</sub> B, M <sub>2</sub> B	M <sub>3</sub> B <sub>2</sub>
М	Mn, V, Cr	Cr, Mo, W, Nb, Ta, Mn, Fe, Co, Ni, Be
Положение ат. В	Изолированные ат. В	гр. [B <sub>2</sub> ]

Бориды переходных мет. нестехиометрического состава (особенно MB<sub>2</sub>), оч. тв., жаропрочны (т. пл. TiB<sub>2</sub> на 1000° > Ti), кислотоупорны, (TaB<sub>2</sub> не р. в ц. в.); связь В—М – мет. (проводимость ZrB<sub>2</sub> в 10 раз > Zr), "ферробор" (1.2% В, 3–5% Al, 3–4% Si, 0.1% С, 0.02% S, ≈ 80% Fe) – раскислитель при плавке легированных сталей

\* См. примечание к с. 58.  
Ст. окисления ат. В. в анионных комплексах боранов вычислена в предположении образования их по реакции nM<sup>+</sup>H<sup>-</sup> + B<sub>x</sub><sup>x-</sup>H<sub>y</sub><sup>-</sup>

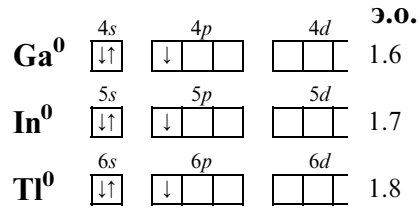






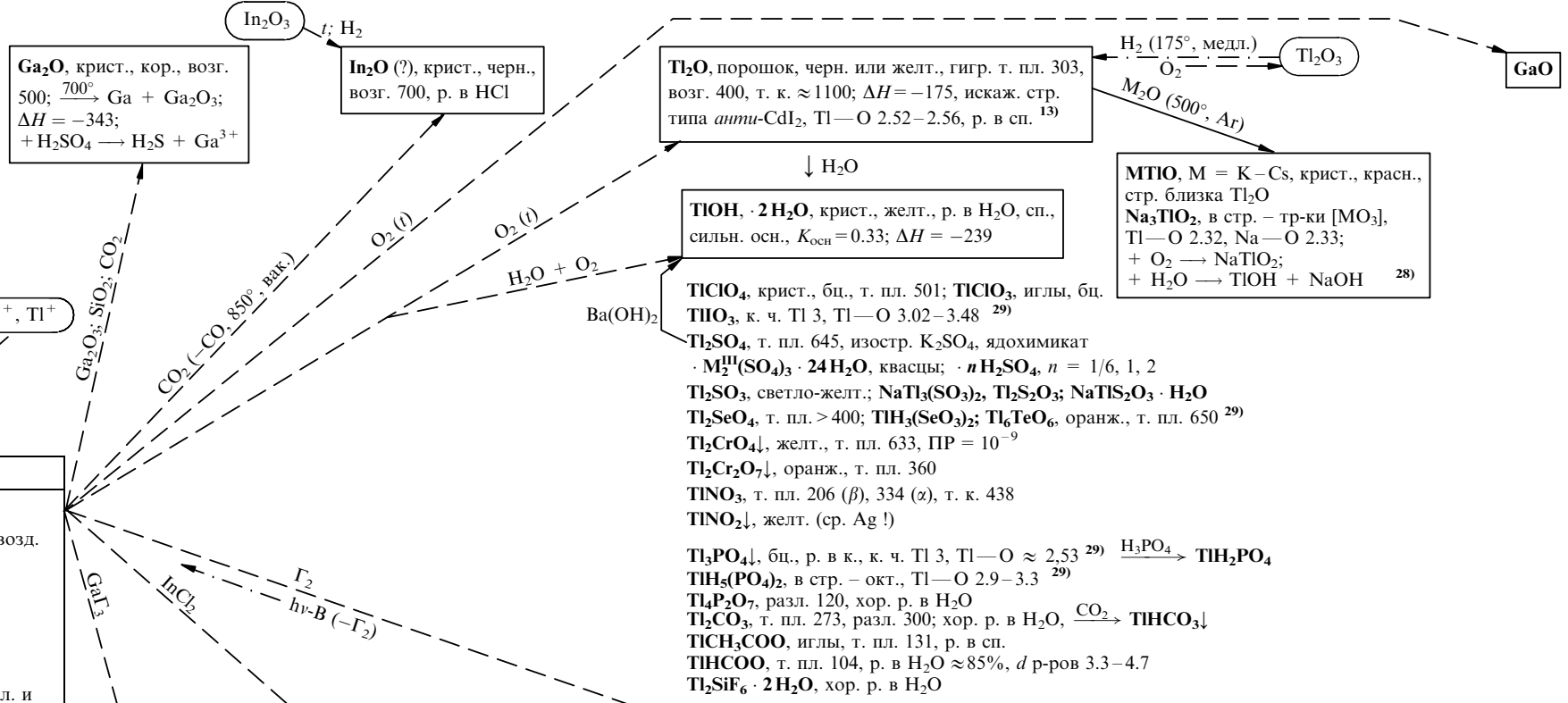


# ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ, ТАЛЛИЙ



Ga	In	Tl
мет., серебристо-бел., оч. мягкие		
уст. на возд.		окисляется возд.
<i>d</i> 5.9	7.3	11.9
<i>d<sub>ж</sub></i> 6.1 (!)	—	—
т. пл. 29.8	157	304
(перехл. до -40°)		
т. к. 2403	2024	1475
р. в к., NH <sub>4</sub> OH, щ., плохо р. в HNO <sub>3</sub>	р. в к.	р. в к.-окисл. и (H <sub>2</sub> O + O <sub>2</sub> )
$E_{0M^{3+}/M_{тв}} = -0.56$	-0.34	$E_{0Tl^+/Tl_{тв}} = -0.34$
α-, графитоподобная ромб. стр., <i>a</i> = 4.52, <i>b</i> = 7.65, <i>c</i> = 4.51, в стр. и распл. — мол. Ga <sub>2</sub> , Ga—Ga 2.48		α-, гексаг. пл. упак. <i>a</i> = 3.45, <i>c</i> = 5.51
		β-, куб. пл. упак. <i>a</i> = 3.87, Tl—Tl 3.35
		γ-, куб. (тип α-Fe), <i>a</i> = 4.85, т. пл. 650 (9 · 10 <sup>8</sup> Па)
β-, гранецентрированная тетраг. стр. (тип γ-Mn)		
<i>a</i> = 2.81, <i>c</i> = 4.45, <i>d</i> = 6.6; к. ч. 4 + 8, Ga—Ga 2.81 и 2.99,	<i>a</i> = 4.60, <i>c</i> = 4.94, In—In 3.24 и 3.37	
γ-, куб., <i>a</i> = 5.95, <i>d</i> = 6.59, к. ч. 8, Ga—Ga 2.78 <sup>4)</sup>		

2+ и "2+" 1 +



	т. пл.	т. к.	ΔH	In—Γ (г.)
<b>InCl</b> , α-, крист., желт., куб. ↓ 135°	225	653	-186	2.40
β-, красн., ромб.				
<b>InBr</b> , крист., оранжев., ромб.	285	662	-175	2.54
<b>InI</b> , крист., красно-кор.	360	743	-117	2.86

В стр. InCl — куб. типа NaCl — тетраэдры [In<sub>4</sub>], In—In 3.61, ромб. InCl, InBr и InI изостр. желт. Tl, In—Γ 2.87–3.91 (Cl), 3.01–3.85 (Br)

	ПР	т. пл.	т. к.	ΔH	Tl—Γ	
					(г.)	(тв.)
<b>TlF</b> , крист., бц., оч. хор. р.		327	840	-310	2.08	2.25–3.90
<b>TlCl</b> ↓, бел.	10 <sup>-4</sup>	431	818	-205	2.48	3.32
<b>TlBr</b> ↓, св.-желт.	10 <sup>-6</sup>	461	816	-171	2.62	3.44
<b>TlI</b> ↓, желт. ↓ 168°	10 <sup>-8</sup>	442	825	-125	2.81	3.64

"Тl<sub>3</sub>" = Tl · I<sub>2</sub>, крист., черн., изостр. RbI<sub>3</sub>; в р-ре Tl<sup>+</sup> + I<sub>3</sub><sup>-</sup> ⇌ Tl<sup>3+</sup> + 3I<sup>-</sup>. TlΓ (Γ = Cl—I), р. в конц. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>; стр. TlF — ромб., искаж. типа NaCl; TlCl, TlBr и TlI (красн.) — типа CsCl; TlI (желт.) — ромб., слоистая стр. (к. ч. Tl и I 7), в г. — TlΓ и Tl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>

1.4+ **In<sub>5</sub>Br<sub>7</sub>** = In<sup>I</sup>[In<sup>II</sup>Br<sub>6</sub>]Br, анион — кластер, In—In ~ 2.70, In—Br 2.56–3.67  
 1.5+ **In<sub>2</sub>Γ<sub>3</sub>** = In<sup>I</sup>[In<sup>II</sup>Γ<sub>6</sub>]  
**In<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>**, т. пл. 323, т. к. 641  
**In<sub>2</sub>Br<sub>3</sub>**, т. пл. 232, в анионе In—In 2.70, In—Br ~ 2.52  
 1.75+ **In<sub>4</sub>Cl<sub>7</sub>**, т. пл. 260, т. к. 710  
**In<sub>4</sub>Br<sub>7</sub>**, т. пл. 201  
 1.8+ **In<sub>5</sub>Cl<sub>9</sub>** = In<sup>I</sup>[In<sup>II</sup>Cl<sub>6</sub>] <sup>31)</sup>

**Ga<sub>4</sub>Γ<sub>6</sub>** = Ga<sup>I</sup>[Ga<sup>II</sup>Γ<sub>6</sub>]  
 Γ = Br, I, анион — кластер, Ga—Ga 2.39 <sup>9)</sup>

**Низкоплавкие сплавы:**  
 82% Ga + 12% Sn + 6% Zn, т. пл. 17;  
 24% In + 76% Ga, т. пл. 16

**Кислотоупорные сплавы:**  
 70% Pb + 20% Sn + 10% Tl, не р. в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub>

**M[Co(CO)<sub>4</sub>]<sub>3</sub>**, M = In, Tl, в мол. — тр-к [MCO<sub>3</sub>], M—Co 2.59 (In), 3.55 (Tl) <sup>3)</sup>

**M<sub>23</sub>[Tl<sub>5</sub>]<sub>2</sub><sup>7-</sup>[Tl<sub>6</sub>]<sup>9-</sup>**, крист., диамагн., анионы — кластеры — триг. бипир. и трехшапочная призма, Tl—Tl 3.13–3.44  
**Na<sub>23</sub>K<sub>9</sub>Tl<sub>15.3</sub>**, содержит анионы [Tl<sub>3</sub>]<sup>7-</sup>, [Tl<sub>4</sub>]<sup>8-</sup>, [Tl<sub>5</sub>]<sup>7-</sup>, [Tl]<sup>3-</sup> <sup>33)</sup>

**Ga[AlCl<sub>4</sub>]**, т. пл. 175 <sup>27)</sup>  
**HGaCl<sub>2</sub>**, крист., бц., т. пл. 29, р. в бзл., эф., димер;  $\xrightarrow{150^\circ}$  H<sub>2</sub> + Ga<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>

**Ga<sub>2</sub>S**, крист., черн., разл. H<sub>2</sub>O;  $\xrightarrow{1000^\circ}$  Ga + Ga<sub>2</sub>S<sub>2</sub>  
**Ga<sub>4</sub>S<sub>5</sub>**, разл. 1200  
**Ga<sub>2</sub>S<sub>2</sub>**, крист., желт., т. пл. 970, в стр. — гр. [Ga—Ga]<sup>4+</sup>, Ga—Ga 2.53  
**Ga<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>**, кор., т. пл. 960  
**Ga<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>**, черн., т. пл. 824

**(InH)<sub>n</sub>**, разл. 340, не р. в орг. р-рителях; + H<sub>2</sub>O → In + In(OH)<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>↑

**InC<sub>5</sub>H<sub>5</sub>**, в стр. — цепи "сэндвичей", к. ч. In 10, In—цикл 3.19, в г. — мономер — "полусэндвич", In—цикл 2.41

**[Tl<sub>6</sub>I<sub>6</sub>] · M<sub>2</sub><sup>+</sup> [I<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>**, M = Ag, Au, Tl, Pb/2, в каналах каркаса [Tl<sub>6</sub>I<sub>6</sub>] — гантели [M<sub>2</sub>]<sup>2+</sup> <sup>30)</sup>  
**CsTlBr<sub>2</sub>**; **Cs<sub>2</sub>TlBr<sub>3</sub>**; **TlAlCl<sub>4</sub>**, т. пл. 308  
**TlCN**; **TlSCN**, т. пл. 234

**Tl<sub>2</sub>S**], сине-черн., т. пл. 448, возг. > 360, т. к. 1367,  $\Delta H = -42$ ; + O<sub>2</sub> → Tl<sub>2</sub>O + Tl<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, р. в к., стр. *антиму*-CdI<sub>2</sub>  
**Tl<sub>2</sub>Se**, крист., серые, т. пл. 398,  $\Delta H = -58$   
**TlCu<sub>3</sub>S<sub>2</sub>**, "халькоталлит"; **TlFeS<sub>2</sub>**, "рагинит"  
**Tl<sub>2</sub>Te**, **TlAsS<sub>2</sub>**, "лорандит"

**Tl<sub>3</sub>N**, крист., черн.; + H<sub>2</sub>O → взр.  
**TlN<sub>3</sub>**, крист., желт., т. пл. 334, взр. > 400;  $\Delta H = -234$   
**(TlH)<sub>n</sub>**, порошок, кор., разл. 270, не р. в орг. р-рителях, гидрол. медл.  
**Tl[ЭН<sub>4</sub>]**, Э = B, Al

**TlOR**, крист. (R = Me, Pr...) или масло (R = Et), бц., в стр. и р-ре — тетрамеры, [Tl<sub>4</sub>O<sub>4</sub>] — куб., к. ч. Tl 3 (пирамида), к. ч. O 4 (тетраэдр) <sup>14)</sup>



**TlC<sub>5</sub>H<sub>5</sub>**, крист., бц., изостр. InC<sub>5</sub>H<sub>5</sub>

**Ga<sub>2</sub>Cl<sub>4</sub>**, крист., бц., т. пл. 176, т. к. 535;  $\xrightarrow{200^\circ}$  Ga + GaCl<sub>3</sub>; распл. электропроводен, легко переохлаждается; р. в бзл. (димер); μ = 8.9; + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + GaI + **GaCl(OH) · 0.5H<sub>2</sub>O↓**, оранжев.  
**Ga<sub>2</sub>Br<sub>4</sub>**, крист., бц., т. пл. 153 (α), 165 (β)  
**Ga<sub>2</sub>I<sub>4</sub>**, крист., желт., т. пл. 211  
**Ga<sub>2</sub>Γ<sub>4</sub>** = Ga<sup>I</sup>[Ga<sup>II</sup>Γ<sub>4</sub>], анион — тетраэдр; у Ga<sup>I</sup> — трехшапочная триг. призма, Ga<sup>III</sup>—Br 2.32, Ga<sup>I</sup>—Br 3.18–4.28  
**· 2NMe<sub>3</sub>**, Ga—Ga 2.42 <sup>9)</sup>

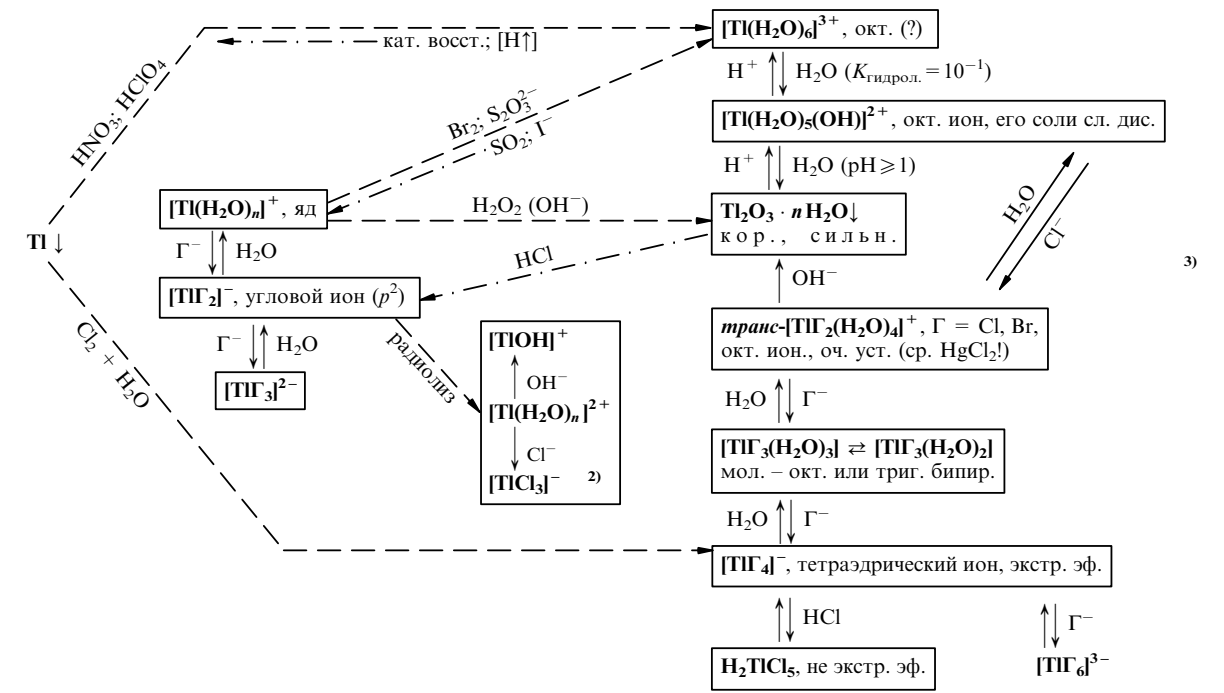
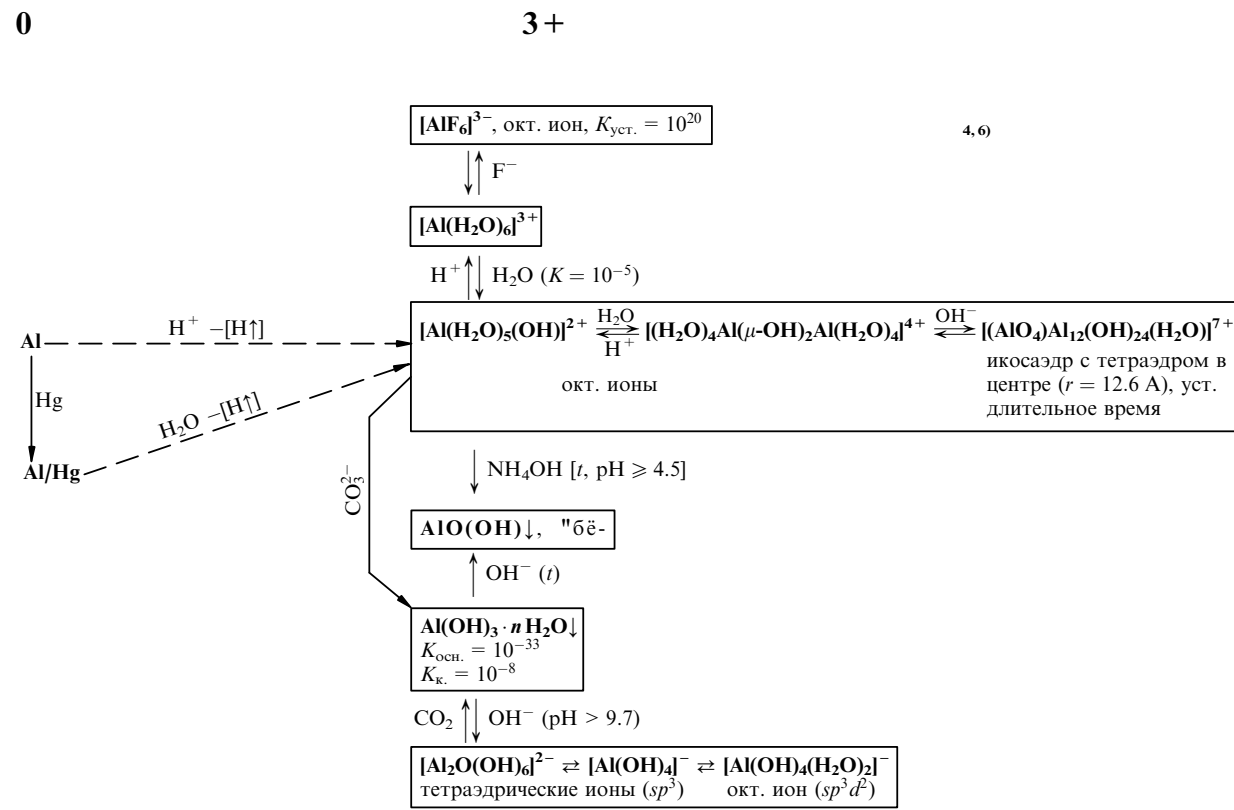
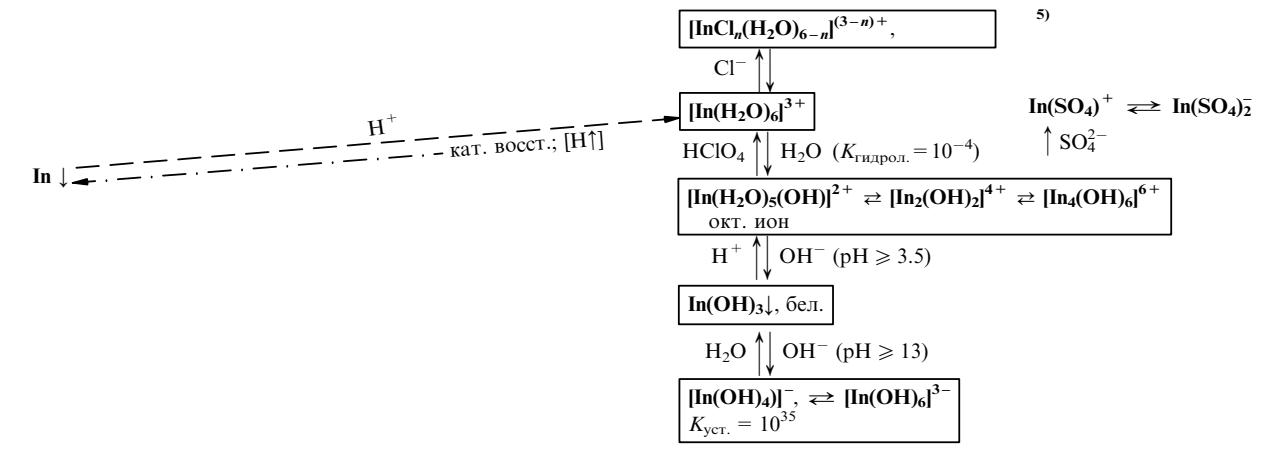
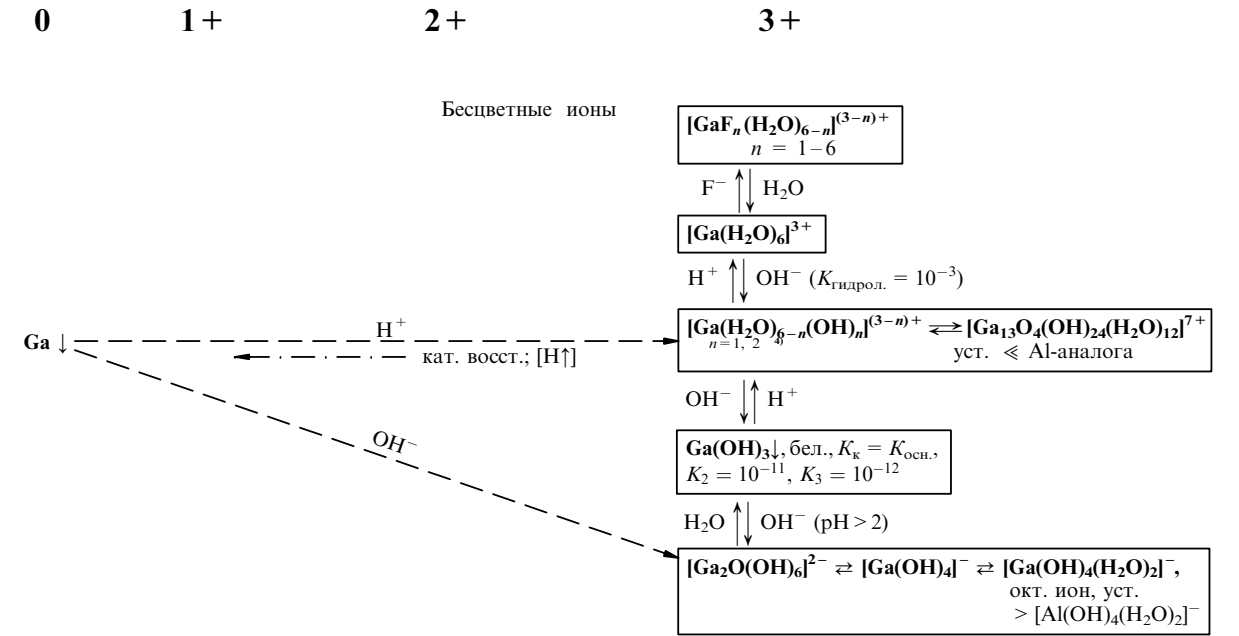
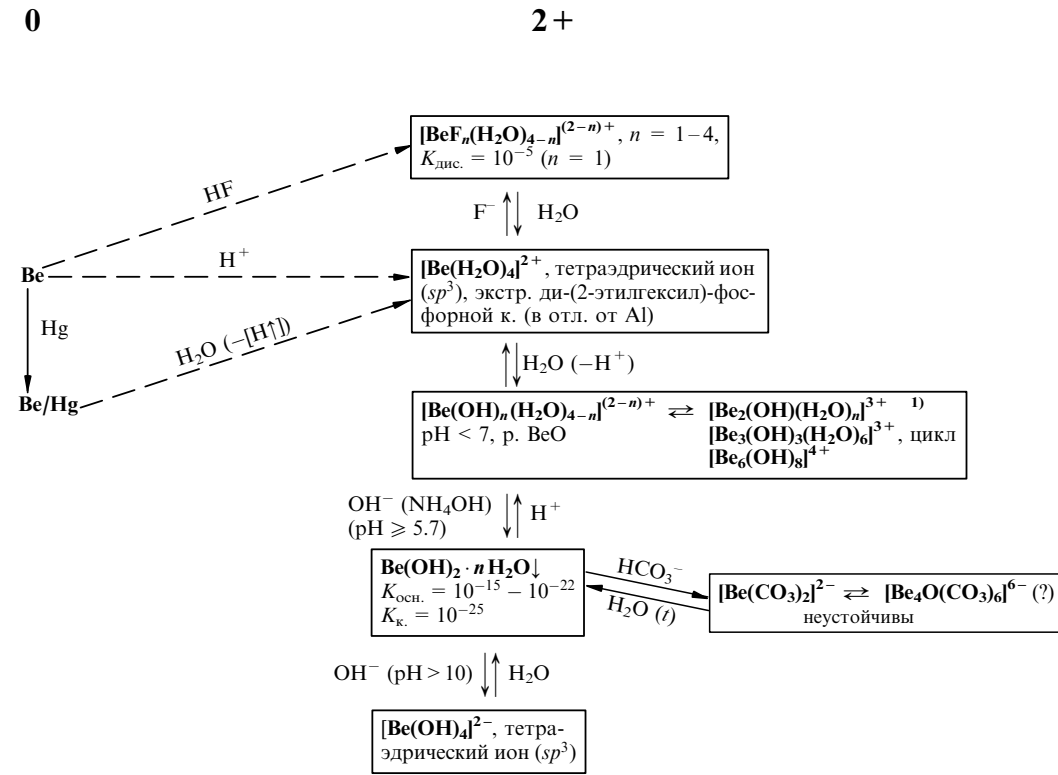
**InΓ<sub>2</sub>** = In<sup>I</sup>[In<sup>II</sup>Γ<sub>4</sub>], диамагн.; + H<sub>2</sub>O → In + InΓ<sub>3</sub>  
**InF<sub>2</sub>**, крист., бц., неуст.  
**InCl<sub>2</sub>**, бц., т. пл. 240, т. к. 655,  $\Delta H = -402$   
**InBr<sub>2</sub>**, т. пл. 198 (распл. желт.), т. к. 638,  $\Delta H = -113$   
**InI<sub>2</sub>**, крист., кор., т. пл. 225, в стр. — анион тетраэдр, In—Γ 2.49 (Br), 2.71 (I), к. ч. In<sup>I</sup> 8 (додекаэдр), In—Br 3.44 <sup>31)</sup>

**[R<sub>4</sub>N]<sub>2</sub>[Ga<sub>2</sub>Γ<sub>6</sub>]**, Γ = Cl, Br, анион — кластер, Ga—Ga ≈ 2.4 <sup>9)</sup>

**InS**, крист. красн., т. пл. 692  
**In<sub>5</sub>S<sub>4</sub>**, **In<sub>6</sub>S<sub>7</sub>**, In—In 2.76–2.80  
**InSe**, т. пл. 660; **In<sub>4</sub>Se<sub>3</sub>** <sup>13)</sup>  
**InTe**, **In<sub>4</sub>Te<sub>3</sub>**

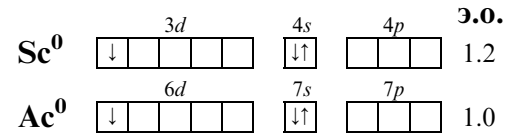


# ИОНЫ БЕРИЛЛИЯ, АЛЮМИНИЯ, ГАЛЛИЯ, ИНДИЯ И ТАЛЛИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



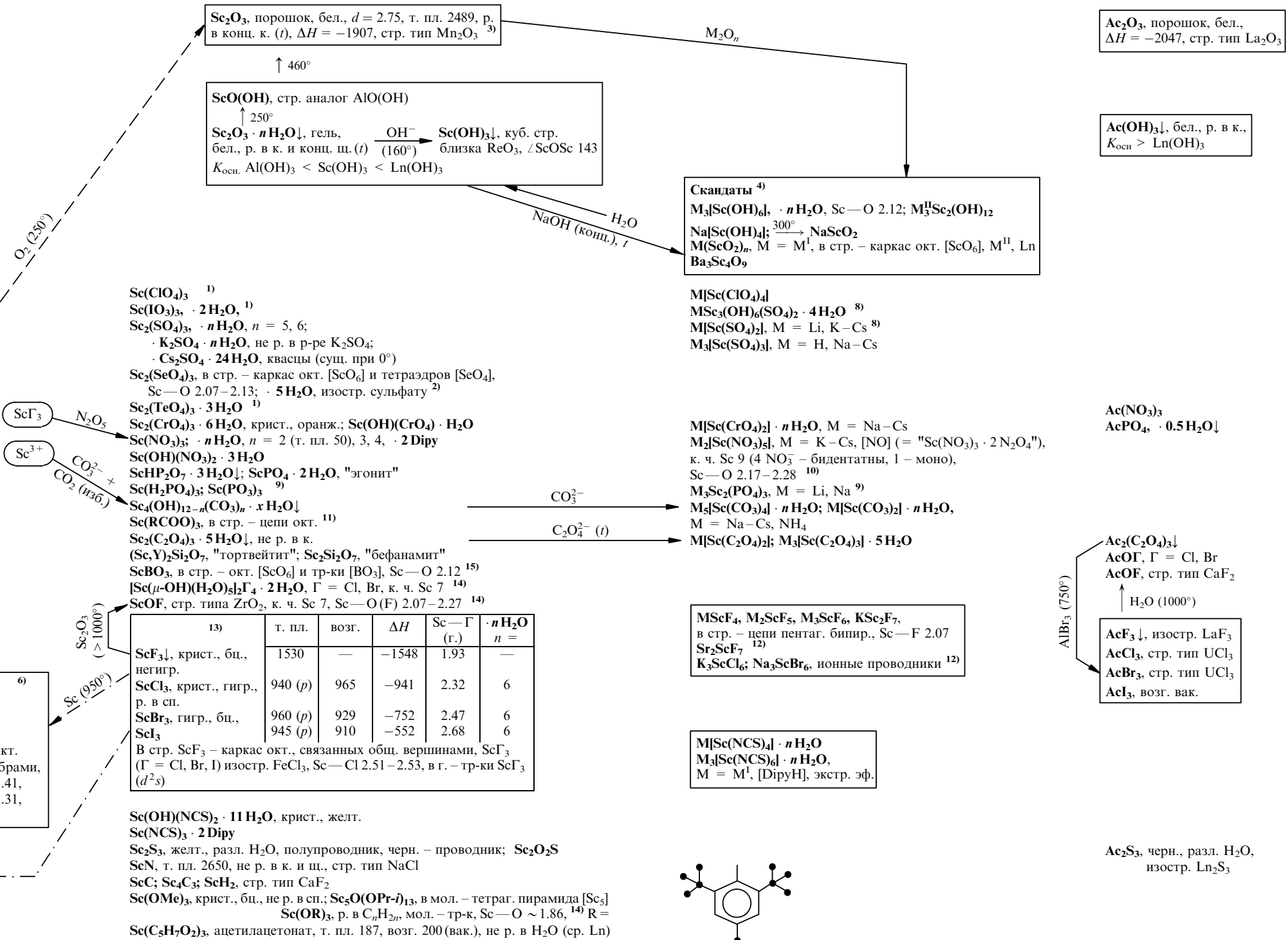
# СКАНДИЙ, АКТИНИЙ

3 + (d<sup>0</sup>)



Sc	Ac <sup>5)</sup>
мет., серебристо-бел., мягкие	светится в темноте
d 3.02	10.1
т. пл. 1541	1050
т. к. ~2850	3390
медл. реаг. с H <sub>2</sub> O, пассивируется (HF + HNO <sub>3</sub> )	р. в H <sub>2</sub> O, оч. реакц. (вследствие радиоактивности)
E <sub>0</sub> M <sup>3+</sup> /M <sub>ТВ</sub> = -2.08	-2.6
α-, гексаг. пл. упак., a = 3.31, c = 5.27	—
↓ 1335°	
β-, куб. пл. упак.	
a 4.53	5.31
M—M 3.26	3.76
(сущ. при 20°)	

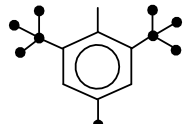
0(d<sup>3</sup>)



**ScCl<sub>3</sub>**, **Sc<sub>7</sub>Cl<sub>10</sub>**, **Sc<sub>5</sub>Cl<sub>8</sub>**, **Sc<sub>7</sub>Cl<sub>12</sub>**, в стр. – цепи окт. [Sc<sub>6</sub>] с общ. ребрами, Sc—Sc 3.15–3.41, Sc—Cl 2.44–3.31, μ<sub>эфф.</sub> = 1.04

13)	т. пл.	возг.	ΔH	Sc—Γ (r.)	· n H <sub>2</sub> O
ScF <sub>3</sub> ↓, крист., бц., негигр.	1530	—	-1548	1.93	—
ScCl <sub>3</sub> ↓, крист., гигр., р. в сп.	940 (p)	965	-941	2.32	6
ScBr <sub>3</sub> ↓, гигр., бц., р. в сп.	960 (p)	929	-752	2.47	6
ScI <sub>3</sub> ↓, крист., гигр., бц., р. в сп.	945 (p)	910	-552	2.68	6

В стр. ScF<sub>3</sub> – каркас окт., связанных общ. вершинами, ScΓ<sub>3</sub> (Γ = Cl, Br, I) изостр. FeCl<sub>3</sub>, Sc—Cl 2.51–2.53, в г. – тр-ки ScΓ<sub>3</sub> (d<sup>2</sup>s)



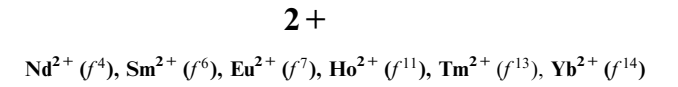
# ИТТРИЙ, ЛАНТАН И ЛАНТАНИДЫ (Ln)

Цериевая группа	Лантан	La <sup>0</sup>	4f	5d	6s	Э.о.
	Церий *	Ce <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.08
	Празеодим	Pr <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.07
	Неодим	Nd <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.07
	Прометий	Pm <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.07
	Самарий	Sm <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.07
	Европий	Eu <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.01

\*) или 4f<sup>1</sup>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup>  
 \*\*) или 4f<sup>8</sup>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup>

Иттриевая группа	Гадолиний	Gd <sup>0</sup>	4f	5d	6s	Э.о.
	Тербий **	Tb <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.10
	Диспрозий	Dy <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.10
	Гольмий	Ho <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.10
	Эрбий	Er <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.11
	Тулий	Tm <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.11
	Иттербий	Yb <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.06
Лютеций	Lu <sup>0</sup>	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↑	1.14	
Иттрий	Y <sup>0</sup>		4d	5s		1.11

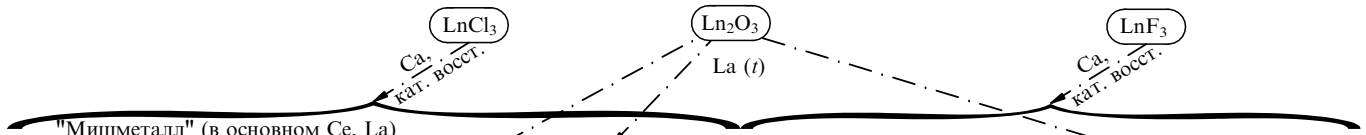
**Синтез Pm:**  
<sup>144</sup>Nd (<sup>γ</sup>D, n) <sup>145</sup>Pm  
 18 лет  
 (Пул, Квилл, 1938)  
<sup>235</sup>U (n) <sup>147</sup>Pm + Pu + ...  
 2.62 года  
 (Маринский, Гленденин, 1947 г.) осколковый элемент в реакторах (0.7 г на 1 кг Pu)



**Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** = Eu<sup>III</sup>Eu<sup>II</sup>O<sub>4</sub>  
 крист., красн., т. пл. 1700, перег. вак.;  
 + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>↑ (медл.), стр. тип NaCl.  
 ["SmO" = Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; "YbO" = Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; "LnO",  
 Ln = La-Sm, Yb, крист., золотистые, с мет. блеском, неуст. на возд., проводники, содержат Ln<sup>3+</sup> J<sup>8</sup>)

**Eu(OH)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O**, р. в H<sub>2</sub>O (ср. Sr-BaI), используется при разделении Ln: изостр. Sr(OH)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O и Ba(OH)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O

**Eu(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>**  
**LnSO<sub>4</sub>**, Ln = Sm (оранж.), Eu (бл., ПР = 10<sup>-10</sup>, изостр. BaSO<sub>4</sub>), Yb (желто-зел.); + H<sup>+</sup> → H<sub>2</sub> + ...  
**SmCO<sub>3</sub>**  
**KEu(CH<sub>3</sub>COO)<sub>3</sub>**, в стр. - ат. Eu с к. ч. 8 и 9  
**Eu<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; EuB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>; Eu<sub>3</sub>B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; EuB<sub>4</sub>O<sub>7</sub>**, стр. - аналоги боратов Sr  
**Ln<sub>4</sub>OCl<sub>6</sub>**, Ln = Sm, Yb, ат. O в центре тетраэдра [Ln<sub>4</sub>], к. ч. Ln 9+1, Ln-Ln ~ 3.8, Ln-O 2.26, Ln-Cl 2.8-3.5 <sup>22</sup>)  
**Er<sub>3</sub>OBr<sub>4</sub>**



La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
Мет., серебристо-бел., пластичные, тускнеют во влажном возд., разл. H <sub>2</sub> O (t); р. в к. (за исключением HF и H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ), парамагн.																
E <sub>0</sub> M <sup>3+</sup> /M <sub>тв</sub>	-2.38	-2.34	-2.35	-2.32	-2.29	-2.30	-1.99	-2.28	-2.31	-2.29	-2.32	-2.32	-2.22	-2.30	-2.37	
E <sub>0</sub> M <sup>2+</sup> /M <sub>тв</sub>	—	—	—	—	—	-2.67	-2.80	-2.64	-2.20	-2.32	-2.32	-2.3	-2.8	—	—	
р. в H <sub>2</sub> O (20°)	пирофорен					р. в ж. NH <sub>3</sub> (син. р-р)	ферромагн.		ферромагн.				р. в ж. NH <sub>3</sub>		горит > 1000°	
d	6.17	7.3	6.8	7.0	7.26	7.5	7.9	8.3	8.5	8.8	9.0	9.3	7.0	9.8	4.58	
т. пл.	920	804	935	1024	1180	1072	826	1312	1356	1407	1522	1545	821	1663	1528	
т. к.	3450	3450	3510	3080	~3000	1800	1440	3272	3073	2587	2707	2857	1211	3412	3322	
α-, гексаг. пл. упак.					α-, ромбоэдрическая					α-, гексаг. пл. упак.					α-, куб.	α-, гексаг. пл. упак.
a	3.77	3.68	3.67	3.66	3.65	a=9.00	3.63	3.60	3.59	3.57	3.56	3.54	5.48	3.51	3.65	
c	12.16	11.92	11.83	11.80	11.65	α=23° 13'	5.78	5.69	5.65	5.62	5.59	5.56		5.55	5.73	
γ-, куб. пл. упак.																
a	5.03	5.16	798°	862°	917°		1264°	1317°	1400°	1367°	798°	1480°				
						β-, куб. (тип α-Fe)										
a	4.26	4.12	4.13	4.13	4.07	4.58	4.06	4.02		3.96	3.94		4.44	3.90	4.11	



**Y<sub>2</sub>F<sub>3</sub>**, Γ = Cl, Br, изостр. ZrCl<sub>4</sub>, Y-Y 3.3-3.7, Y-Cl 2.7-2.8  
**Gd<sub>2</sub>Cl<sub>3</sub>**  
**Tb<sub>6</sub>Br<sub>7</sub>**  
**Ln<sub>7</sub>I<sub>12</sub>**, Ln = Tb, Er, Lu  
**Er<sub>7</sub>I<sub>10</sub>, Er<sub>4</sub>I<sub>5</sub>**  
 В стр. - цепи окт. кластеров [Ln<sub>6</sub>Γ<sub>12</sub>], Ln-Ln 3.3-3.8 <sup>23</sup>)

**LnF<sub>2</sub>**, Ln = La-Eu, Yb, крист., красн. (Eu - св.-желт.), стр. тип CaF<sub>2</sub>, Eu-F 2.51  
**LnFG**, Γ = Cl-I, изостр. PbFCl  
<sup>13)</sup> NdCl<sub>2</sub> темно-зел. 841  
 SmCl<sub>2</sub> кор. 859  
 EuCl<sub>2</sub> бц. 738  
 HoCl<sub>2</sub> желт. 527  
 TmCl<sub>2</sub> зел. 720  
 YbCl<sub>2</sub> желто-зел. 723  
 ΔH -707 -798 -833 - -712 -709  
 → Ln + LnCl<sub>3</sub>;  
 Стр. LnCl<sub>2</sub> типа PbCl<sub>2</sub>; **LnCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O**, изостр. SrCl<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O  
**LnBr<sub>2</sub>**, Ln = Sm, Eu (т. к. 2204, ΔH = -719), Tm, Dy, Yb, черн.  
**LnI<sub>2</sub>**, Ln = Nd, Sm, Eu, Tm, стр. тип CdI<sub>2</sub>; + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub> + ...; H<sub>2</sub>O, в стр. - слои из пар окт., Yb-I 3.13-3.24, Yb-O 2.39 <sup>44)</sup>  
**"LnI<sub>2</sub>" = Ln<sup>3+</sup>I<sub>2</sub>e<sup>-</sup>**, Ln = La, Ce, Pr, Gd, Dy, крист., с мет. проводимостью, в стр. PrI<sub>2</sub> - кластеры [Pr<sub>4</sub>] и [I<sub>4</sub>], Pr-Pr 3.87 <sup>2)</sup>

**Ln<sub>2</sub>Br<sub>5</sub>**, черн.  
**Pr<sub>2</sub>Γ<sub>5</sub>**, Γ = Br, I, к. ч. Pr 7 и 8 (одно- и двухшапочные триг. призмы), Pr-Pr 4.1-4.9, Pr-Br 2.9-3.4  
**Nd<sub>3</sub>Cl<sub>7</sub>**, стр. аналоги Nb<sub>6</sub>Γ<sub>14</sub>  
**Nd<sub>4</sub>Br<sub>9</sub>; Eu<sub>4</sub>Cl<sub>9</sub>**  
**Sm<sub>6</sub>Br<sub>13</sub>; Sm<sub>11</sub>Br<sub>24</sub>; Sm<sub>5</sub>Br<sub>11</sub>**, сверхструктура типа CaF<sub>2</sub> <sup>24)</sup>  
**Yb<sub>4</sub>F<sub>9</sub>**

**CsLnCl<sub>3</sub>**, Ln = Sm, Eu, Tm, Yb;  
 + H<sub>2</sub>O → H<sub>2</sub>↑ + ...,  
 стр. тип BaTiO<sub>3</sub>  
**MLn<sub>2</sub>Cl<sub>5</sub>**, в стр. - цепи одношапочных призм [LnCl<sub>7</sub>] или [LnCl<sub>8</sub>], Yb-Cl 2.74-3.13 <sup>22)</sup>

**Eu(C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>**  
**[Ln(OR)<sub>2</sub>]<sub>2</sub> · 2Thf**, Ln = Eu, Yb, R = C(Bu-t)<sub>3</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>-2,4,6-R', крист., красн., р. в бзл. <sup>43)</sup>

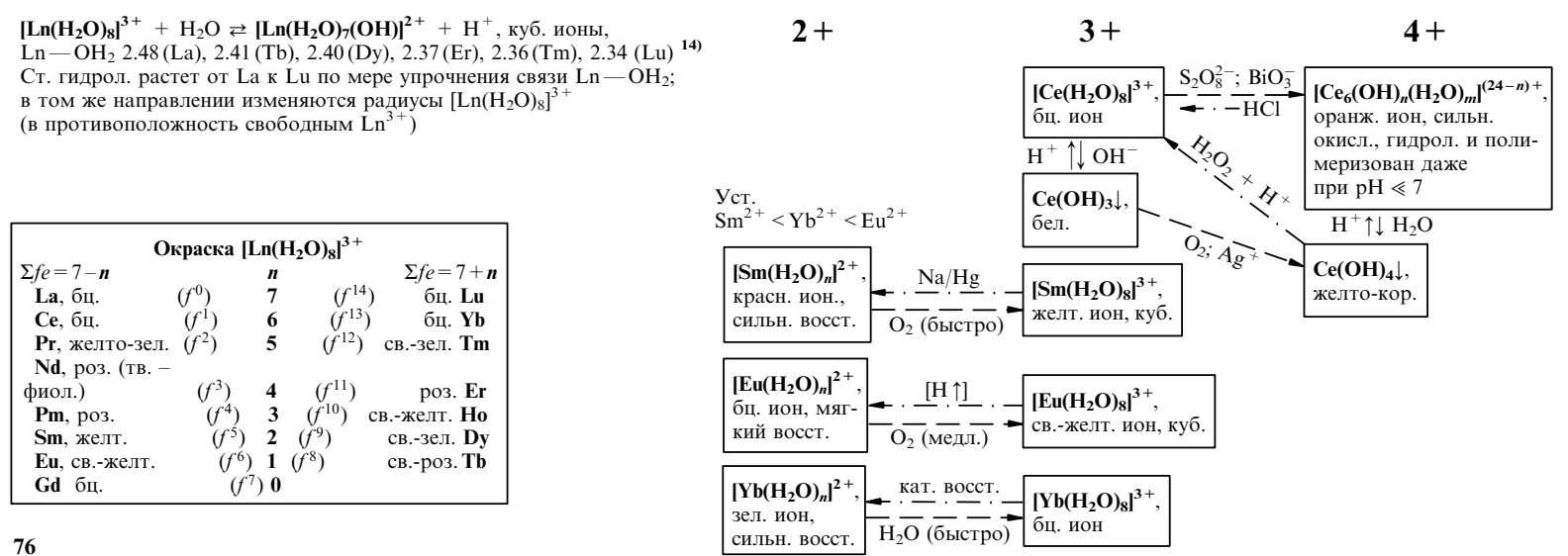
**LnS**, Ln = Sm, Eu, Yb, стр. тип NaCl  
**[LaS, CeS = Ln<sup>3+</sup>S<sup>2-</sup>e<sup>-</sup>**, желт., проводники)  
**Ln<sub>3</sub>S<sub>4</sub>(Ce,Sm); Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub>**, т. пл. ≈ 2000, стр. (Lu-Yb) типа корунда (к. ч. 6); (Dy-Tm) к. ч. 6 и 7; (La-Sm, Gd-Dy) к. ч. 7 и 8; Ce к. ч. 8 (додекаэдр)  
**Ln<sub>2</sub>S<sub>4</sub>; Ln<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S; La[S<sub>2</sub>]**  
**LnSe, LnTe**, полупроводники; **Ln<sub>3</sub>Se<sub>4</sub>** <sup>16)</sup>

**KEu(NH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub>Eu<sub>3</sub>(NH<sub>2</sub>)<sub>8</sub>** <sup>26)</sup>

**LnN, LnP**, крист., черн., разл. H<sub>2</sub>O, стр. тип NaCl, проводники <sup>26)</sup>  
**LnЭ**, Э = As, Sb, Bi, угт. к гидрол.

**LnC<sub>2</sub>**, крист., желт., т. пл. ≈ 2300, стр. тип CaC<sub>2</sub>, C-C 1.28, проводники; + H<sub>2</sub>O → C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> + ...  
**Ln<sub>2</sub>C<sub>3</sub>** (La-Ho); **Ln<sub>3</sub>C** (Sm-Lu)

**LnH<sub>ε3</sub>** (La-Pr), порошки, гигр., разл. 1000, самовоспл. на возд., куб. стр., к. ч. ≈ 11 (La-Nd), гексаг. стр., к. ч. Ln ≈ 6 (Sm, Gd-Lu)  
**LnH<sub>2</sub>**, металлоподобны, не реаг. с H<sub>2</sub>O, стр. тип CaF<sub>2</sub>





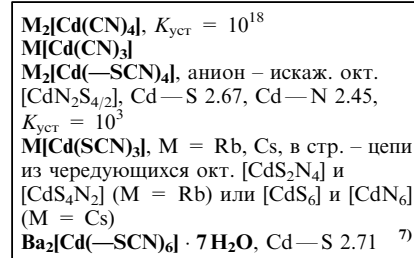
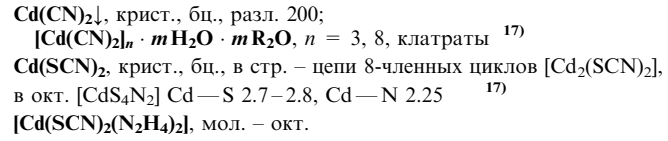
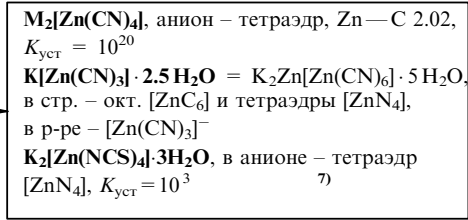
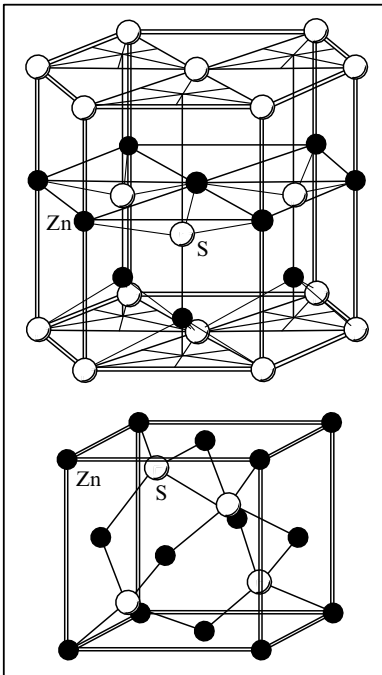
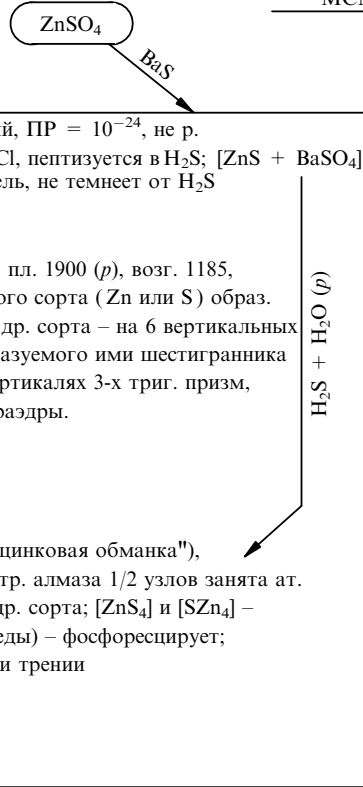




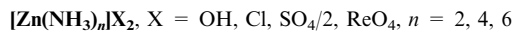
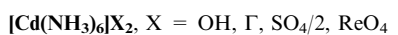
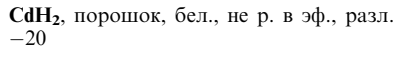
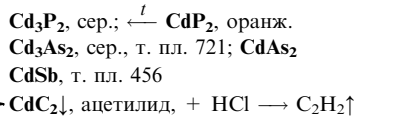
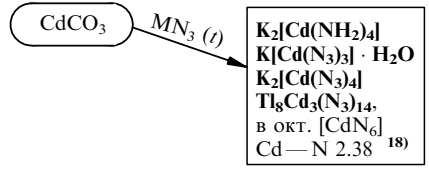
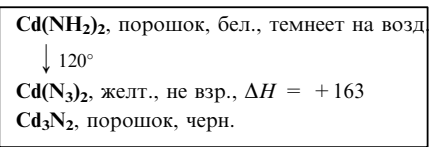
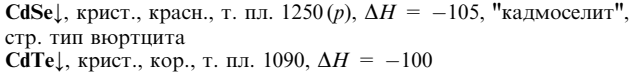
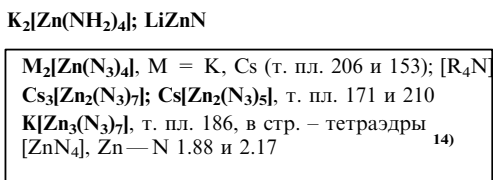
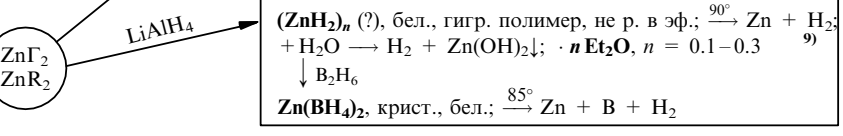
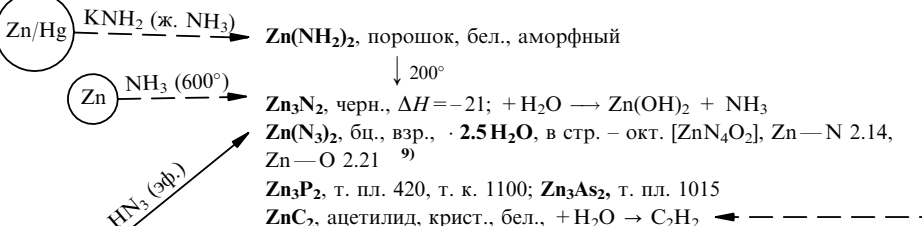
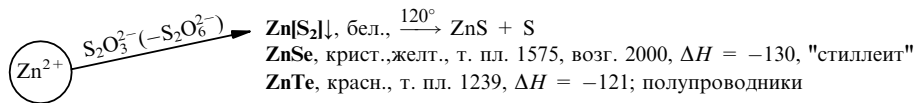
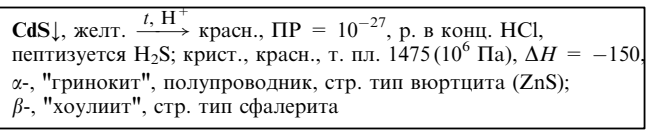
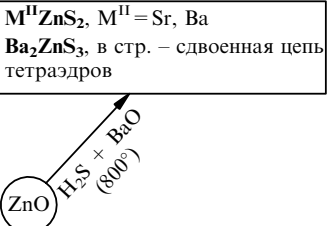




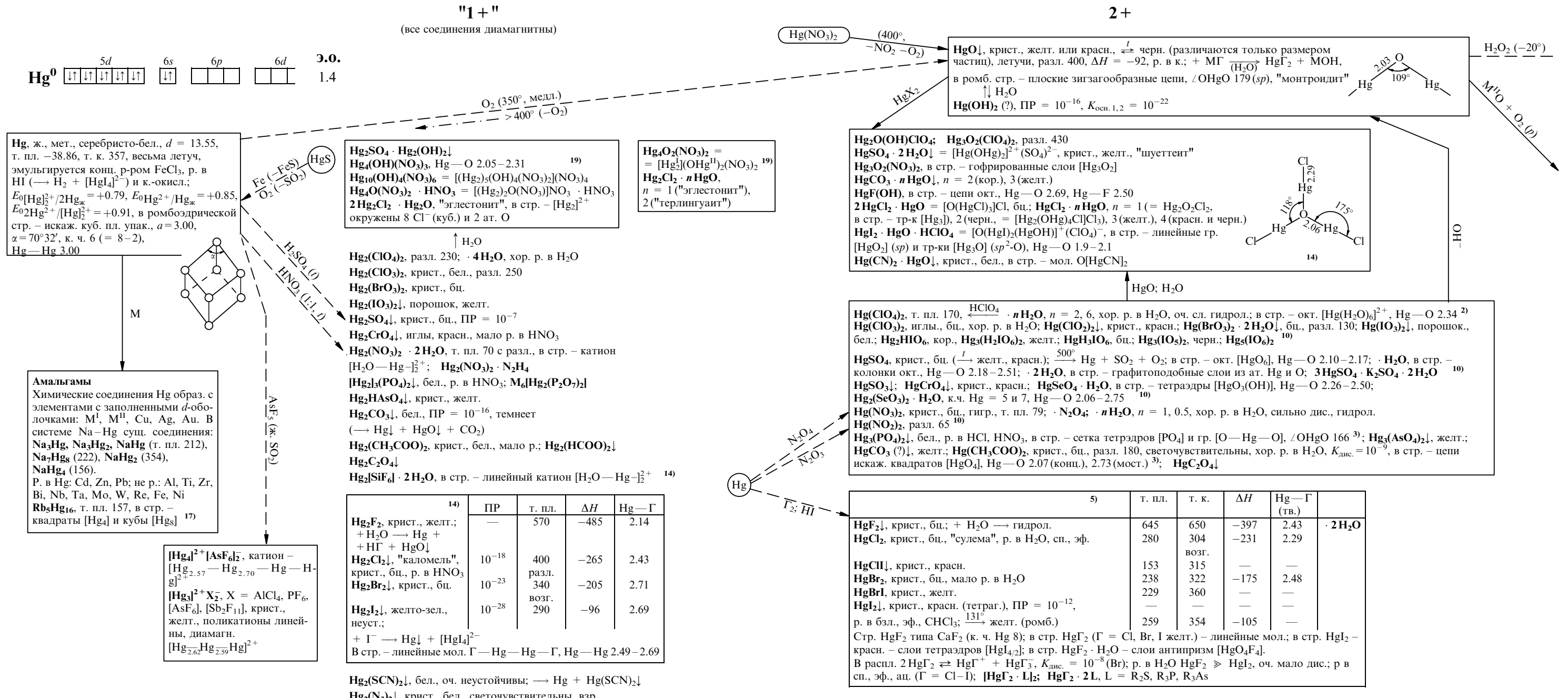
Zn(CN)<sub>2</sub>↓, бел., разл. 800  
 Zn(NCS)<sub>2</sub>, крист., бц., в стр. – слои тетраэдров [ZnN<sub>4</sub>] и [ZnS<sub>4</sub>]<sup>19)</sup>  
 [Zn(NCS)<sub>2</sub>(N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>2</sub>], мол. – окт.



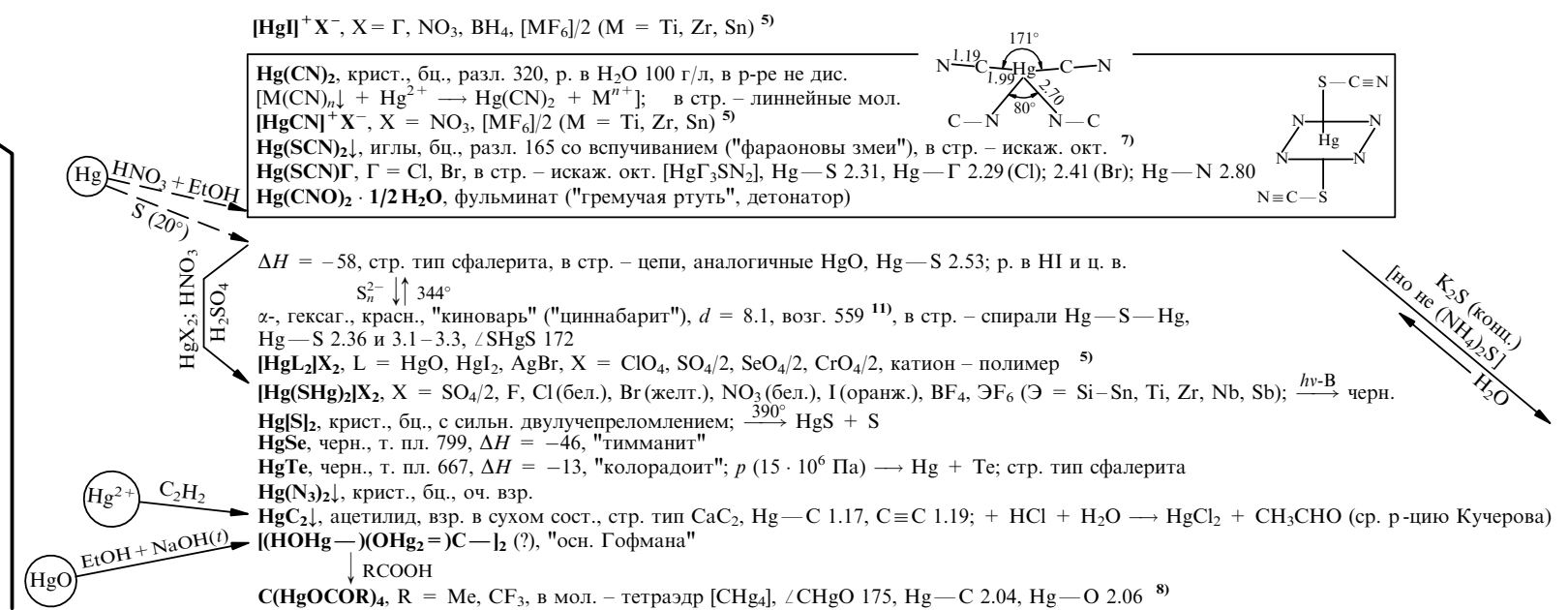
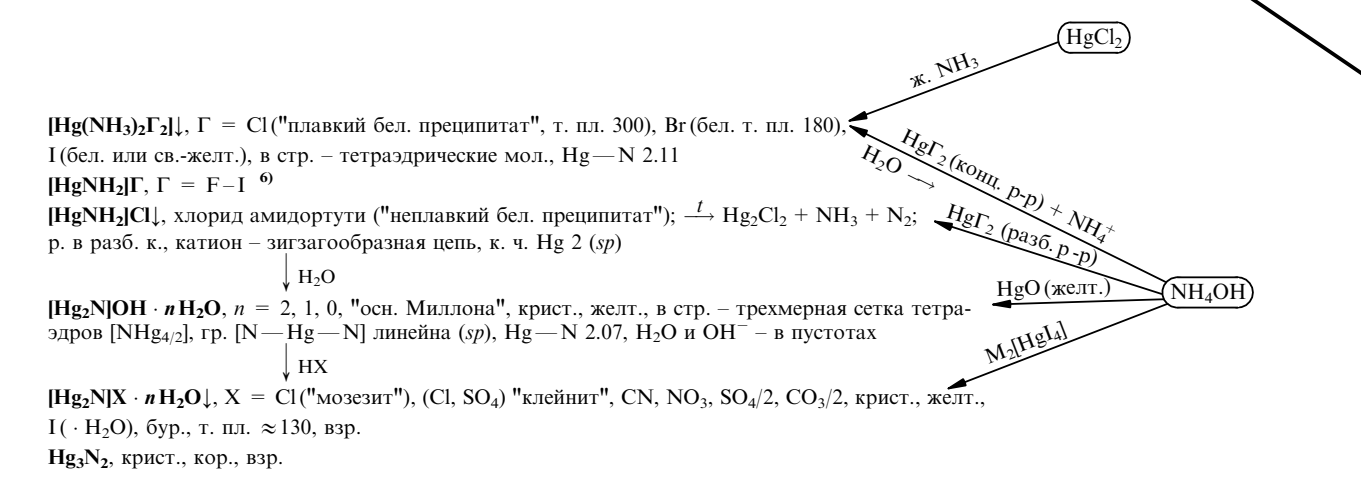
Na<sub>2</sub>ZnS<sub>2</sub>; Na<sub>6</sub>ZnS<sub>4</sub> – изостр. цинкатам, Zn – S 2.34 16)



# РТУТЬ



## АМИНО-, АМИДО-, И НИТРИДОКОМПЛЕКСЫ Hg(II)

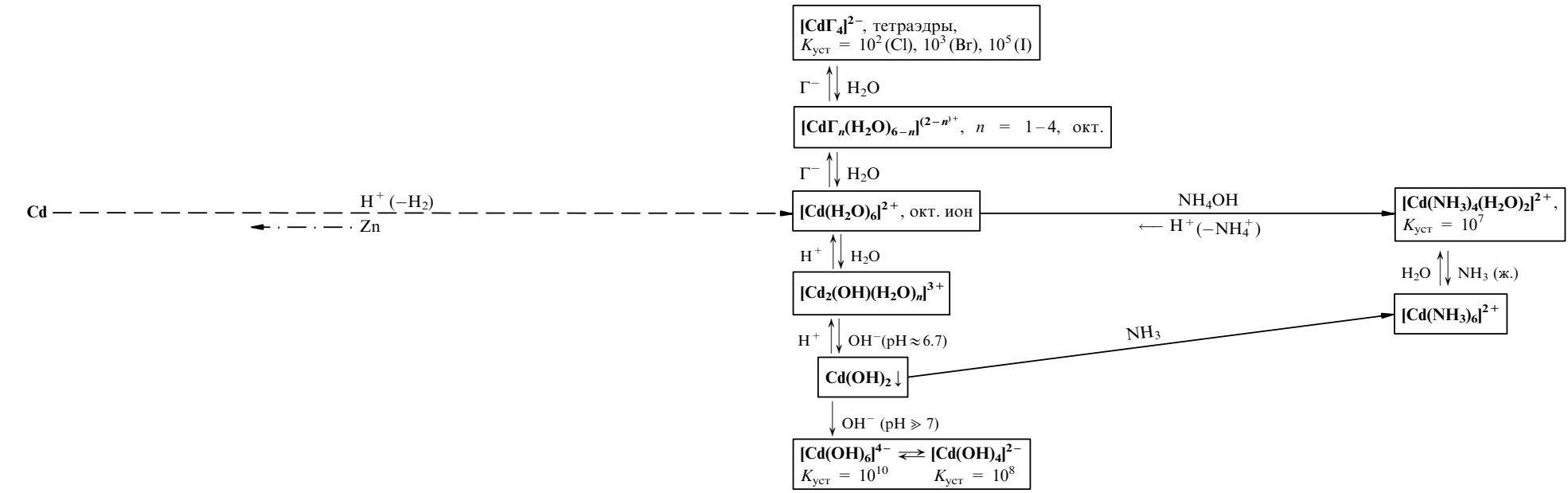
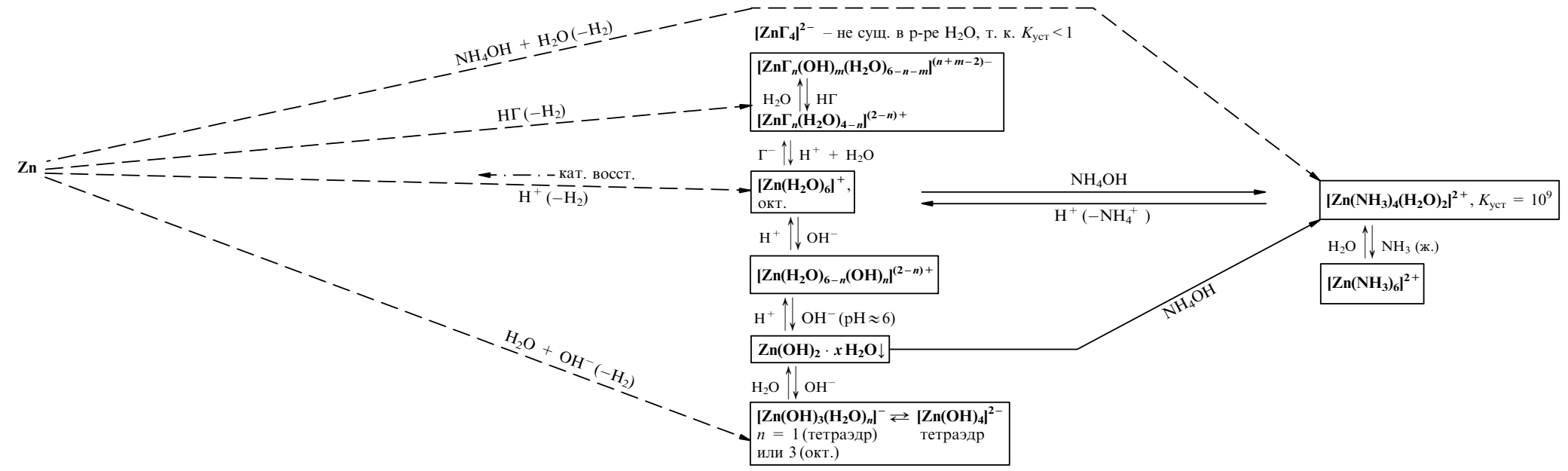


# ИОНЫ ЦИНКА, КАДМИЯ И РТУТИ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

(все ионы бц.)

0

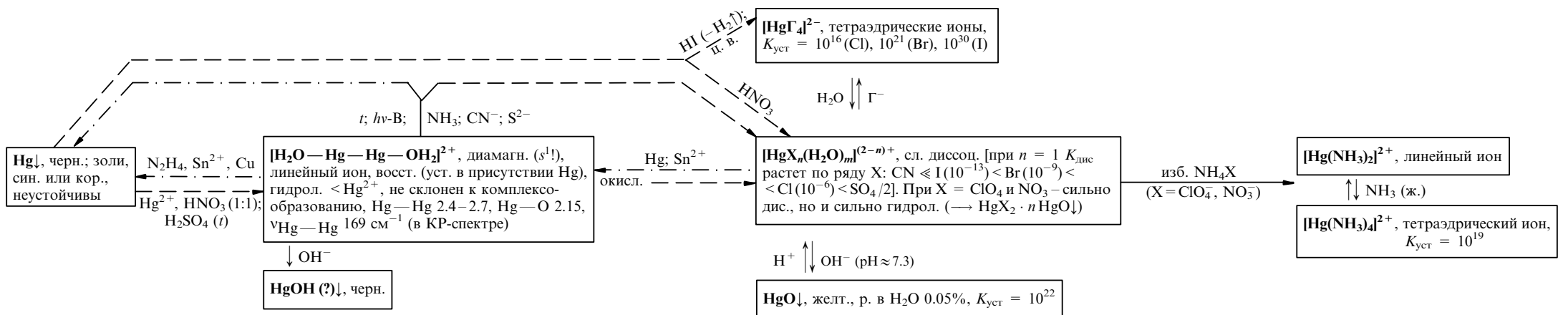
2+



0

"1 +"

2+



**Перекись** 18)  
 $HgO_2$ , крист., оранжев., взр. при ударе  
 $\alpha$ -) в стр. цепи  $[-HgO-O-]_{\infty}$   
 $\beta$ -) с линейными гр.  $[OHgO]$ ,  $Hg-O$  2.10, 2.77–2.92,  $O-O$  1.47

**Меркураты** 20)  
 $M_2[HgO_2]$ , крист., бц., гигр.  
 $M^{II}[HgO_2]$ ,  $M^{II} = Sr, Ba$ , анион — гантель,  $Hg-O$  1.95–2.00

$K_2[Hg(SO_3)_2] \cdot nH_2O$ , уст. при  $pH > 7$ ,  $K_{уст} = 10^{24}$   
 $K_6[Hg(S_2O_3)_4]$ ,  $K_{уст} = 10^{34}$   
 $M_2[Hg(NO_3)_4]$   
 $M_2[Hg(NO_2)_4]$ ,  $K_{уст} = 10^{13}$   
 $K_4[Hg(NO_2)_4(NO_3)_2]$ , крист., желт.,  $NO_2^-$  бидентатны, к. ч.  $Hg$  8,  $Hg-O \approx 2.4$   
 $M_2[Hg(C_2O_4)_2]$   
 $M_2[Hg(CH_3COO)_4]$  15)

$MHgF_3$ ,  $M = K-Cs$ , гидрол.  
 $MHgCl_3$ , в стр. — цепи искаж. тетраэдров  $[HgCl_2Cl_2]_2$ ,  $Hg-Cl$  2.3 (конц.), 2.75 и 3.22 (мост.) 4)  
 $H_2[HgCl_4] \cdot 3H_2O$ ;  $M_2HgCl_4$ , в стр. — колонки искаж. окт.  $[HgCl_2Cl_4]_2$  с общ. ребрами,  $Hg-Cl$  2.29 и 2.9–3.1,  $K_{уст} = 10^{15}$   
 $Cs_3[HgCl_4Cl]$  4)  
 $[R_4N][HgBr_3]$ , анион — тр-к,  $Hg-Br$  2.52  
 $Cs_3[HgBr_4Br]$ , анион — тетраэдр  
 $M_2[HgBr_4]$ ,  $K_{уст} = 10^{22}$ ;  $M_4[HgBr_6]$   
 $M[Hg_5\Gamma_{11}]$ ,  $\Gamma = Cl, Br$ , в стр. — каркас сплюснутых окт.,  $Hg-Cl \sim 2.29$  и  $\sim 3.2$  4)  
 $CsHg_2Br_5 = Cs[HgBr_3] \cdot HgBr_2$ ,  $Hg-Br$  2.46–3.23  
 $Cs_2[HgBr_4]$ , анион — искаж. тетраэдр,  $Hg-Br$  2.55–2.60  
 $M[HgI_3]$ ,  $M = K, [R_4N], [R_3S]$ , крист., желт., анион — тр-к или цепь тетраэдров,  $Hg-I$  2.6–2.9 4)  
 $H[HgI_3] \cdot 4H_2O$   
 $M_2[HgI_4]$ ,  $M = K$  ( $\cdot 2H_2O$ , "реактив Несслера"),  $Ba/2(\cdot 5H_2O)$ ,  $Cu^+, Ag$ , крист., желт., анион — тетраэдр,  $Hg-I$  2.78,  $K_{уст} = 10^{30}$   
 $Cs_2Hg_3I_8$ , в стр. — каркас искаж. тетраэдров  $[HgI_4]$ ,  $Hg-I$  2.65–2.95  
 $(NH_4)_4[HgI_6]$ ;  $Cs_3HgI_5$  13)

$M[Hg(CN)_2X]$   
 $Cs[Hg(CN)_3]$ , анион — цепи тр-ков  $[HgC_3]$  9)  
 $M_2[Hg(CN)_4]$ , бц., анион — тетраэдр,  $K_{уст} = 10^{41}$   
 $M_3[Hg(CN)_5]$ ;  $M_4[Hg(CN)_6]$   
 $M_2[Hg(SCN)_4]$ ,  $M = H, K, M^{II/2}$  (Co, Mg, Ni, Cu, Zn, Ca), крист., желт., анион — тетраэдр,  $Hg-S$  2.56,  $K_{уст} = 10^{22}$  12)  
 $M[Hg(SCN)_3]$ ,  $M = K-Cs$ , анион — 2 тетраэдра  $[HgS_4]$  с общ. ребром 9)

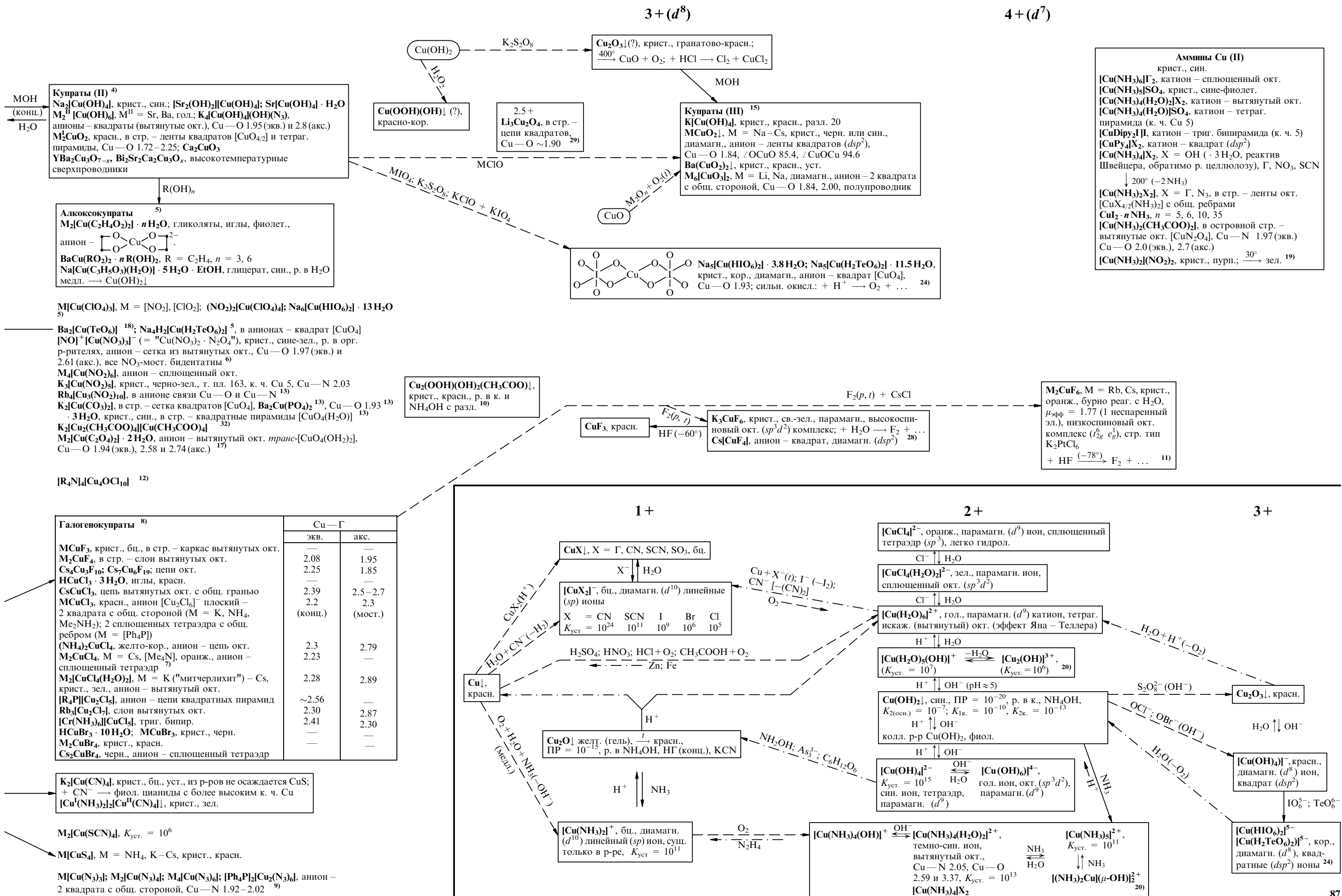
$K[Hg(-NCO)_3]$ , анион — 2 квадрата с общ. стороной,  $Hg-N$  2.07, 2.47  
 $M_2[Hg_3(NCO)_8]$ ,  $M = K-Cs$ , в стр. — сплюснутый окт.,  $Hg-N$  2.03 и  $\sim 3.0$  16)  
 $K[HgS_2] \cdot 5H_2O$ , неустойчив  
 $Ba[Hg(C \equiv CH)_4] \cdot 2NH_3$ , бц., взр.



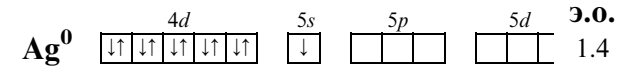








# СЕРЕБРО

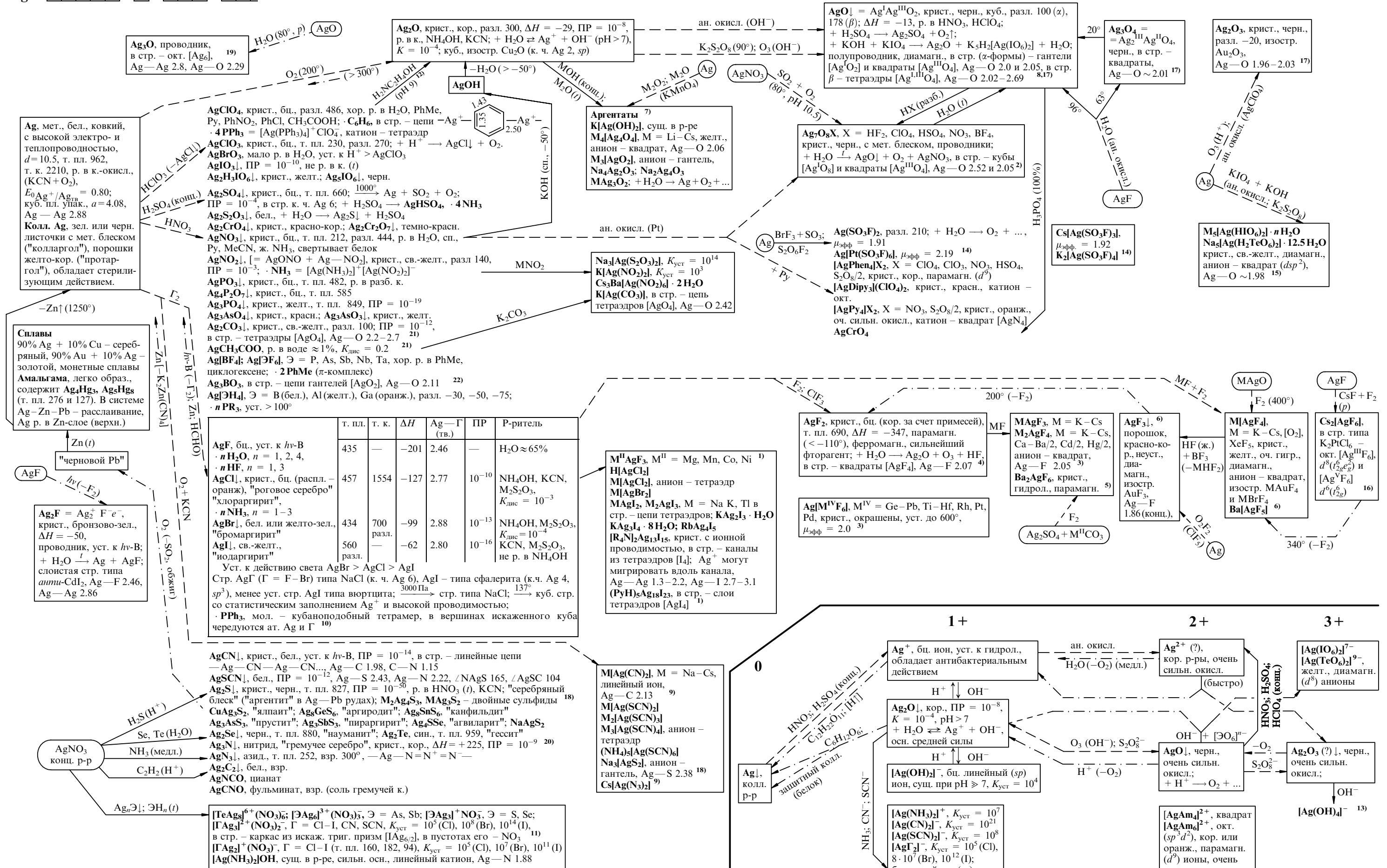


1 + (*d*<sup>10</sup>)

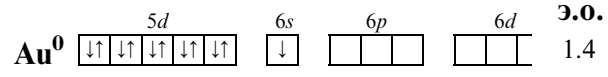
2 + (*d*<sup>9</sup>) или "2 +"

3 + (*d*<sup>8</sup>)

"4 +"  
5 + (*d*<sup>6</sup>)



# ЗОЛОТО

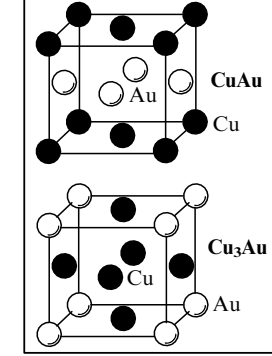


**Au**, мет., желт., наиболее тягучий и ковкий,  $d = 19.32$ , т. пл.  $1064.4$ ; т. к.  $2947$ , летуч  $>1000^\circ$ , не реаг. с  $O_2, N_2, C, S$ ; р. в п. в.,  $(Cl_2 + HCl)$ ,  $(H_2SO_4 + HNO_3)$ ,  $(H_2SO_4 + HMnO_4)$ ,  $H_2SeO_4(t)$ ,  $(KCN + O_2)$ ;  $E_0 Au^+/Au_{тв} = 1.68$ ,  $E_0 Au^{3+}/Au_{тв} = 1.50$ ; куб. пл. упак.,  $a = 4.08$ ,  $Au - Au$  2.88

"Колл. золото", образ. в оч. разб. р-рах, с ростом размера частиц цв. изменяется по ряду: роз., красн. ("кассиев пурпур"), син., фиол., черн.

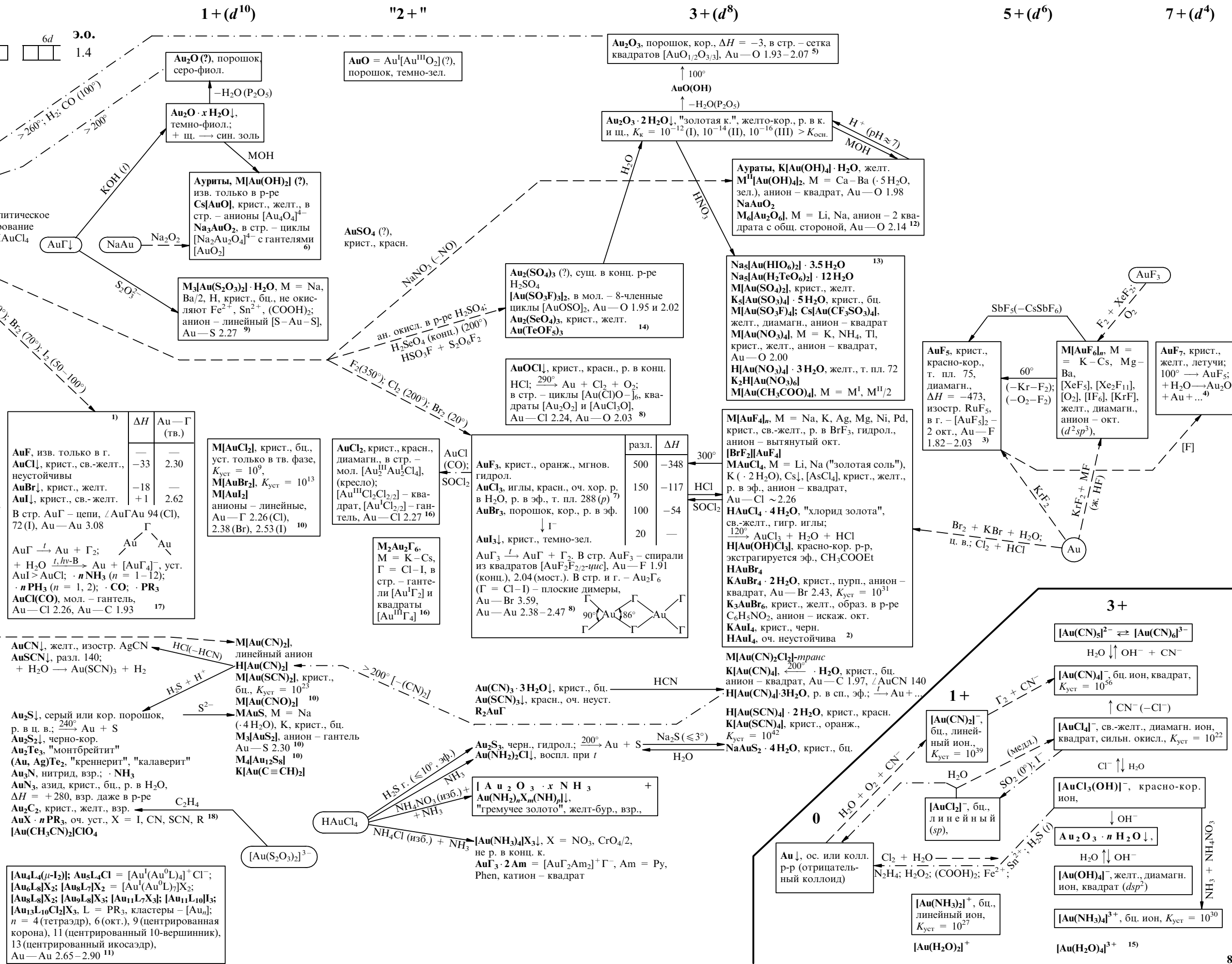
**Сплавы**  
Амальгама содержит **AuHg<sub>2</sub>, AuHg<sub>3</sub>, Au<sub>3</sub>Hg** (т. пл. 124, 310, 421)

В системе **Cu - Au** непрерывный ряд твердых р-ров,  $<400^\circ$  в тв. фазе образ. **Cu<sub>3</sub>Au<sub>1±n</sub>** и **CuAu<sub>1±n</sub>** ("сверхструктуры")



**Ph<sub>3</sub>PAu - X**, X = Mn(CO)<sub>5</sub>, Co(CO)<sub>4</sub>, W(CO)<sub>3</sub>(C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>), Au - M 2.50 - 2.56

**M<sup>I</sup>Au<sup>-</sup>**, M = K - Cs  
**M<sub>3</sub>OAu**, изостр. M<sub>3</sub>OBr<sup>19</sup>



$\Delta H$	Au - $\Gamma$ (тв.)
-33	2.30
-18	—
+1	2.62

**AuF**, изв. только в г.  
**AuCl**, крист., св.-желт., неустойчивы  
**AuBr**, крист., желт.  
**AuI**, крист., св.-желт.

В стр. Au $\Gamma$  - цепи,  $\angle Au\Gamma Au$  94(Cl), 72(I), Au - Au 3.08

Au $\Gamma \xrightarrow{I} Au + \Gamma_2$   
+ H<sub>2</sub>O  $\xrightarrow{t, hv-B} Au + [Au\Gamma_4]^-$ , уст.  
AuI > AuCl;  $\cdot n NH_3$  ( $n = 1-12$ );  
 $\cdot n PH_3$  ( $n = 1, 2$ );  $\cdot CO$ ;  $\cdot PR_3$   
**AuCl(CO)**, мол. - гантель,  
Au - Cl 2.26, Au - C 1.93<sup>17</sup>

**AuCN**, желт., изостр. AgCN  
**AuSCN**, разл. 140;  
+ H<sub>2</sub>O  $\rightarrow Au(SCN)_3 + H_2$

**Au<sub>2</sub>S**, серый или кор. порошок, р. в п. в.;  $240^\circ \rightarrow Au + S$   
**Au<sub>2</sub>S<sub>2</sub>**, черно-кор.  
**Au<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>**, "монтбрейтит"  
(Au, Ag)Te<sub>2</sub>, "креннерит", "калаверит"  
**Au<sub>3</sub>N**, нитрид, взр.;  $\cdot NH_3$   
**AuN<sub>3</sub>**, азид, крист., бц., р. в H<sub>2</sub>O,  
 $\Delta H = +280$ , взр. даже в р-ре  
**Au<sub>2</sub>C<sub>2</sub>**, крист., желт., взр.  
**AuX**  $\cdot n PR_3$ , оч. уст., X = I, CN, SCN, R<sup>18</sup>  
**[Au(CH<sub>3</sub>CN)<sub>2</sub>]ClO<sub>4</sub>**

**[Au<sub>4</sub>L<sub>4</sub>( $\mu$ -I<sub>2</sub>)]**; **Au<sub>5</sub>L<sub>4</sub>Cl** =  $[Au^I(Au^0L)_4]^+ Cl^-$ ;  
**[Au<sub>6</sub>L<sub>8</sub>X<sub>2</sub>]**; **[Au<sub>8</sub>L<sub>7</sub>X<sub>2</sub>]** =  $[Au^I(Au^0L)_7]X_2$ ;  
**[Au<sub>8</sub>L<sub>8</sub>X<sub>2</sub>]**; **[Au<sub>9</sub>L<sub>8</sub>X<sub>3</sub>]**; **[Au<sub>11</sub>L<sub>7</sub>X<sub>3</sub>]**; **[Au<sub>11</sub>L<sub>10</sub>I<sub>3</sub>]**;  
**[Au<sub>13</sub>L<sub>10</sub>Cl<sub>2</sub>X<sub>3</sub>]**, L = PR<sub>3</sub>, кластеры -  $[Au_n]$ ;  
 $n = 4$  (тетраэдр), 6 (окт.), 9 (центрированная корона), 11 (центрированный 10-вершинник), 13 (центрированный икосаэдр),  
Au - Au 2.65 - 2.90<sup>11</sup>

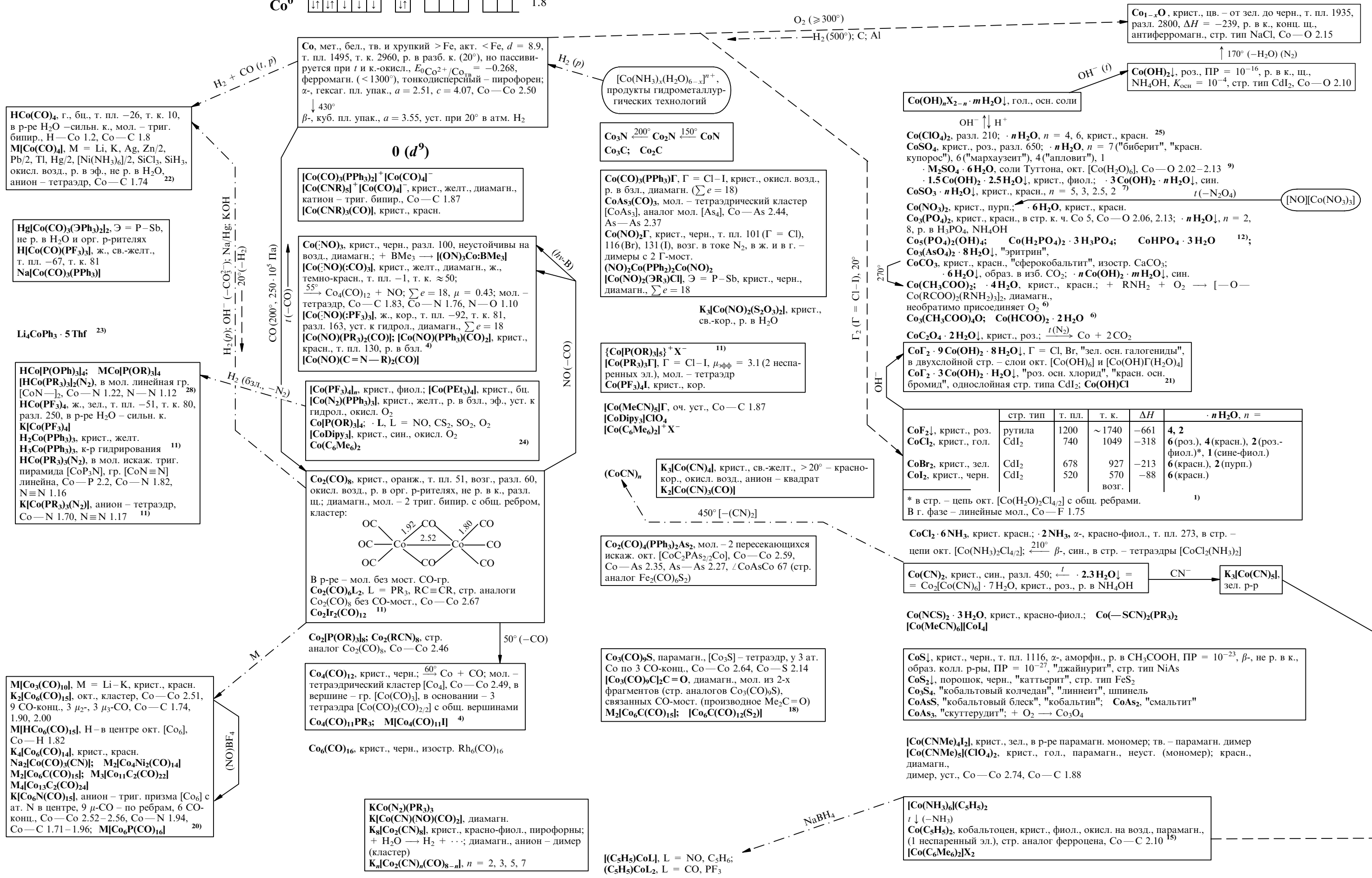
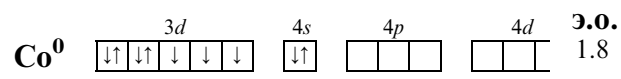
разл.	$\Delta H$
500	-348
150	-117
100	-54
20	—





# КОБАЛЬТ

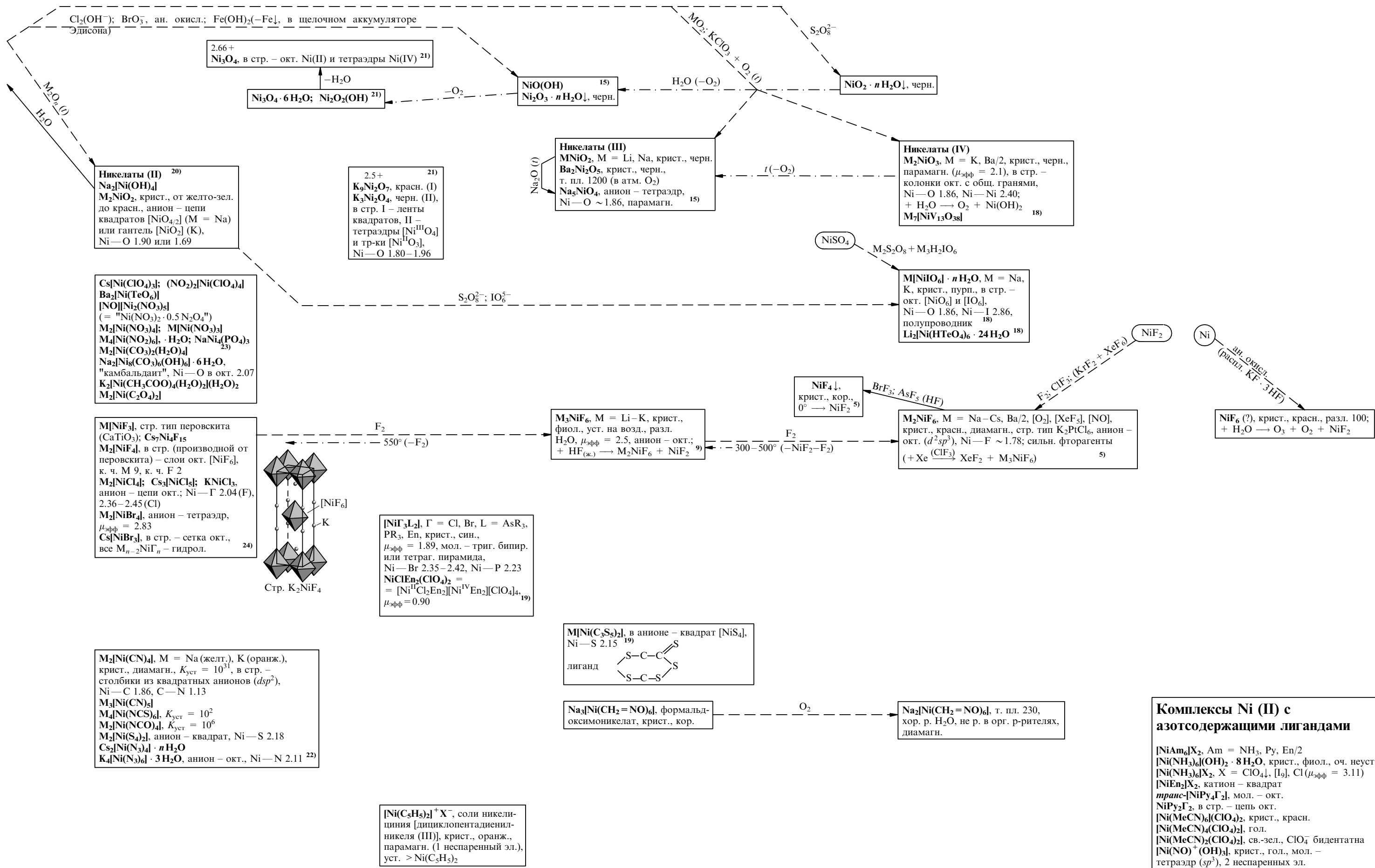
Ионы Co в водном растворе см. с. 96



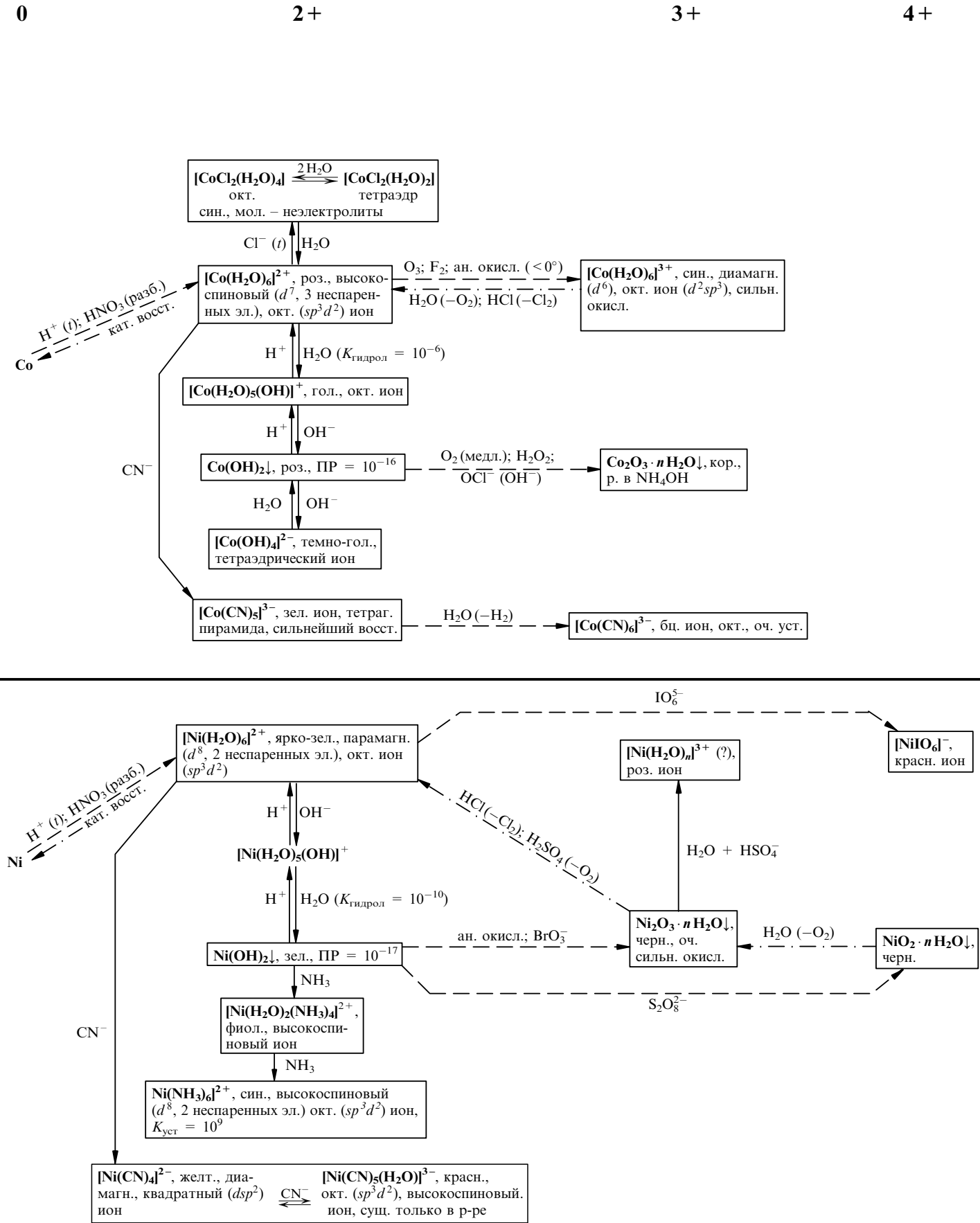
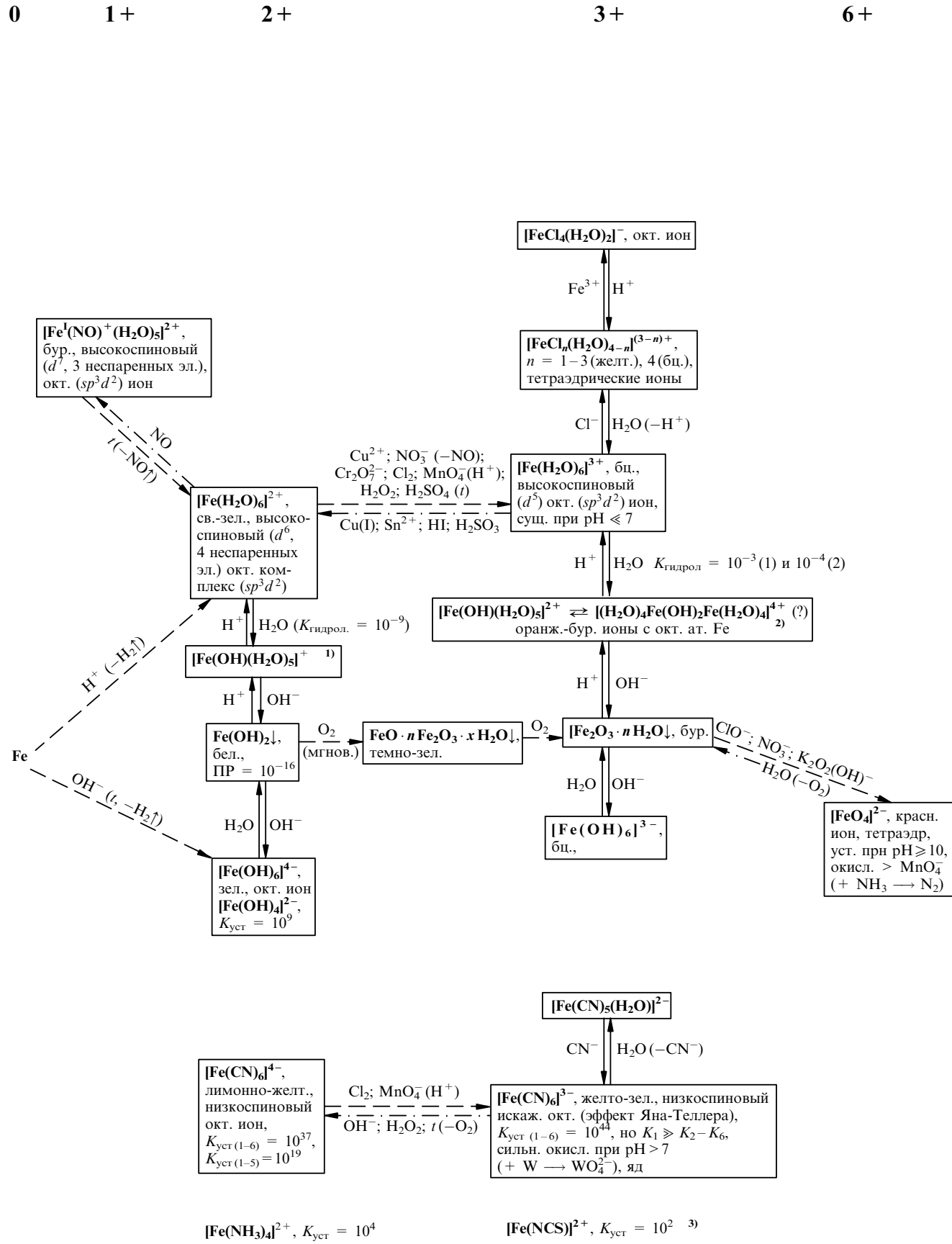






3+ ( $d^7$ )4+ ( $d^6$ )6+ ( $d^4$ )

# ИОНЫ ЖЕЛЕЗА, КОБАЛЬТА И НИКЕЛЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ



# ИОНЫ РУТЕНИЯ И ОСМИЯ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

0

2+

3+

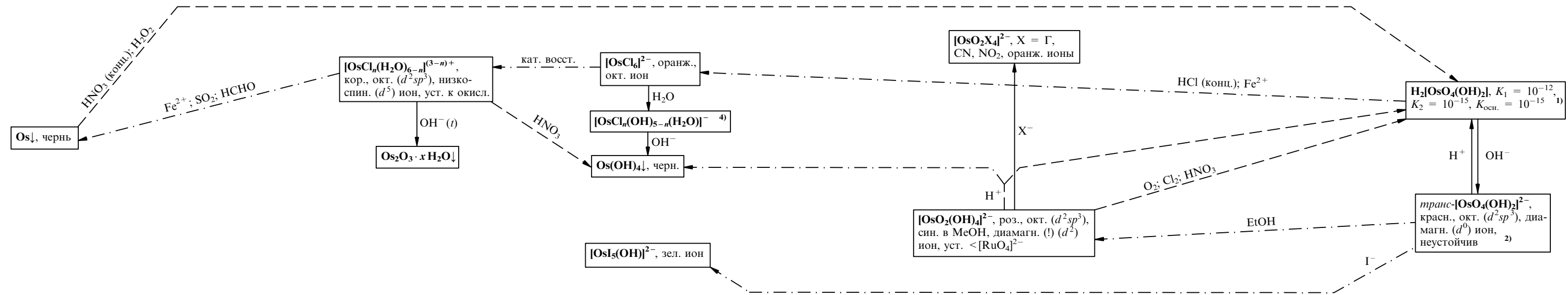
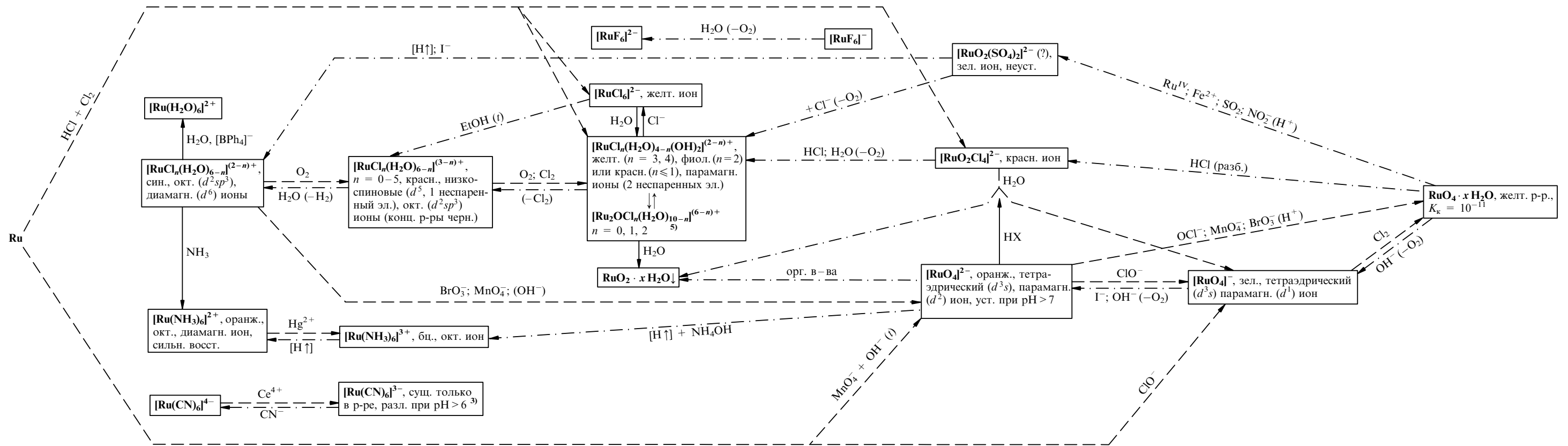
4+

5+

6+

7+

8+



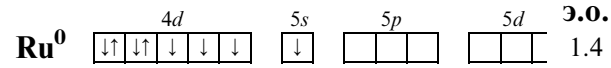
# РУТЕНИЙ

Ионы Ru в водном растворе см. с. 97

1 + (d<sup>7</sup>)

2 + (d<sup>6</sup>)

3 + (d<sup>5</sup>)



Ru, мет., серебристо-бел., тв., хрупкий,  $d = 12.6$ , т. пл. 2607, т. к. 4900, уст. к коррозии, р. в (HCl + O<sub>2</sub>), (MOH + MNO<sub>3</sub>), M<sub>2</sub>O<sub>2</sub>(t); гексаг. пл. упак.,  $a = 2.70$ ,  $c = 4.28$ , Ru—Ru 2.67  
Перекристаллизация из Sn-распл. черн. аморфный порошок, р. в (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + MBrO<sub>3</sub>)

0(d<sup>8</sup>)

Ru(CO)<sub>5</sub>, ж., бц., т. пл. -22, р. в орг. р-рителях, мол. - триг. бипир. (dsp<sup>3</sup>);  $\Delta H = -1054$  <sup>4)</sup>

$K[RuH_n(PR_3)_2]$ ,  $n = 3, 5$  <sup>1)</sup>  
 $H_2Ru(CO)(PR_3)_2$  <sup>2)</sup>  
 $H_2Ru(N_2)(PPh_3)_3$   
 $H_2Ru(PPh_3)_4$   
 $H_4Ru(PPh_3)_3$   
↓ CO<sub>2</sub>  
 $HRu(HCOO)(PPh_3)_2$  <sup>2)</sup>

(OC)<sub>4</sub>Ru[Mn(CO)<sub>5</sub>]<sub>2</sub> <sup>3)</sup>

$Ru(CO)_4(PR_3)_3$  <sup>2)</sup>  
 $[Ru(CO)_3(PR_3)_2]$   
 $[Ru(CO)_2(CS_2)(PR_3)_2]$   
 $[Ru(CO)ClH(PR_3)_3]$   
 $[Ru(O_2)(CO)_2(PR_3)_2(CNR)]$  <sup>16)</sup>  
↓ RCH<sub>2</sub>OH  
 $[Ru^{II}(RCOO)(CO)(PR_3)_2(HCNR)]$

$M_2[Ru_3(CO)_{11}]$   
 $MHRu_3(CO)_{11}$   
 $HRu_3(CO)_{10}(NO)$  <sup>36)</sup>

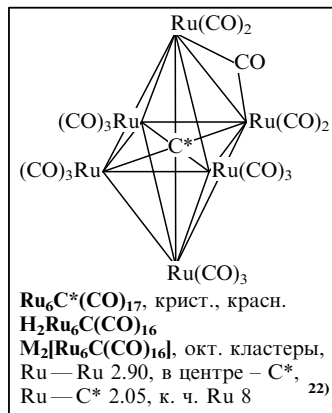
$[RuDipy_3]$  <sup>1)</sup>

$[Ru_3(CO)_{12}]$ , (раньше "Ru<sub>2</sub>(CO)<sub>9</sub>"), иглы, оранжев., (CO)<sub>4</sub>Ru—Ru(CO)<sub>4</sub>  
возг., разл. 150, мол. тр-к, Ru—Ru 2.85, Ru—C 1.93 (экв.), 1.89 (акс.), C—O 1.14  
 $Ru_3(CO)_n(PR_3)_{12-n}$  <sup>1)</sup>

$[Ru(CO)_4]_{\infty}$ , в стр. - цепи из плоских мол.

$[RuClH(PPh_3)_3]$ , мол. - искаж. триг. бипир., 2 гр. PR<sub>3</sub> - акс.  
 $[Ru(CH_2COO)H(PPh_3)_3]$ , мол. - искаж. окт.  
(CH<sub>2</sub>COO - бидентатна)

$M_6Ru_6(CO)_{16}$  <sup>37)</sup>  
 $M_4Ru_6(CO)_{17}$   
 $MHRu_6(CO)_{18}$   
 $H_2Ru_6(CO)_{18}$   
окт. кластер [Ru<sub>6</sub>], Ru—Ru ~2.87  
 $M_2[Ru_{10}H_2(CO)_{25}]$   
 $M_3[Ru_{11}H(CO)_{27}]$



$Ru(NO)^+(OH)_3 \cdot 2H_2O$ , кор. <sup>35)</sup>  
HX ↓ OH<sup>-</sup>  
 $[Ru(NO)^+X_n(H_2O)_{5-n}]^{(n-3)-}$ , X = Cl, NO<sub>3</sub>, n = 0-5  
 $[Ru(NO)^+(NH_3)_5]Cl_3 \cdot H_2O$   $K_2[Ru(NO)^+X_5]$ , X = F-I, CN  
 $[Ru(NO)^+(NH_3)_4X]Cl_2$ , X = Г, OH  $K_2[Ru(NO)^+Cl_{5-2n}(C_2O_4)_n]$   
 $[Ru(NO)^+(NH_3)_2Cl_3] \cdot nH_2O$  *транс*- $M_2[Ru(NO)^+(OH)(NO)_2]_4$   
 $[Ru(NO)^+Cl_3(PPh_3)_2]$   $M_2[Ru(NO)^+F_5] \cdot H_2O$   
красно-оранж., диамагн., окт. комплексы, оч. уст., гр. [Ru=N<sup>+</sup>=O] - линейна, Ru—N 1.7-1.8, N—O 1.15,  $\nu_{[N=O]^+}$  1800-1935 см<sup>-1</sup>

$[Ru(SO_4)(SO_2)^0(PR_3)_2]_2 \cdot PhMe$ , мол. - окт.  
 $(NH_4)_2Ru(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , аналог соли Мора, Ru—O 2.12 <sup>23)</sup>  
 $Ru_2(RCOO)_4$ ;  $[Ru(RCOO)_2(CO)(PR_3)_2]$  <sup>23)</sup>

$RuCl_2$ , крист., кор., не р. в к. и ш., стр. тип CdCl<sub>2</sub>;  $\cdot 2.5 PR_3 = [Ru_2Cl_4(PR_3)_3]$ , диамагн., мол. - 2 окт. [RuP<sub>3</sub>Cl<sub>3/2</sub>] и [RuP<sub>2</sub>ClCl<sub>3/2</sub>], Ru—Cl 2.40 (конц.), 2.43-2.53 (мост.);  $\cdot 3 PPh_3 = [RuCl_2(PPh_3)_3] \cdot \text{транс}$ , мол. - тетраг. пирамида, Ru—Cl 2.39 <sup>6)</sup>;  $\cdot 4 PPh_3 = [RuCl_2(PR_3)_4]$ , окт.  
 $\cdot 3 PEt_2Ph = [Ru_2Cl_3(PR_3)_6]^+ [RuCl_3(PR_3)_3]^-$ , катион - 2 окт. с 3 Cl-мост., Ru—Cl 2.45-2.49  
 $RuCl_2(AsPh_3)_3 + O_2 \rightarrow [RuCl_2(AsPh_3)_3(O_2)]$ , т. пл. 300 с разл., парамагн.,  $\nu_{O-O}$  880 см<sup>-1</sup>  
 $[Ru(CO)_2Cl_2(PR_3)_3]$   
 $[Ru(CO)_2]_2$ , Г = Cl (крист., желт.), Br (оранж., возг. 220), I (оранж., разл. 200)  
 $[Ru(CO)_3Cl_2]$  <sup>39)</sup>  
 $[Ru(CO)_2Cl_2(PR_3)_2]$ , *цис*- и *транс*-  
 $[Ru(CO)_2I_2Py_2]$ , крист., оранжев., диамагн.  
 $[Ru(CO)_3Br_2]_2$ , мол. - 2 окт. [Ru(CO)<sub>3</sub>BrBr<sub>2</sub>]<sub>2</sub>, Ru—Br 2.54 (конц.), 2.57 (мост.), Ru—C 1.90-1.97  
*цис*- $[Ru(CO)_4]_2$ , Ru—C 2.01, Ru—I 2.72, C—O 1.04

$Ru(BF_4)_2 \cdot 6H_2O \xrightarrow{N_2(10^5 \text{ Па})} \{[(H_2O)_5Ru_2N_2](BF_4)_4\}$ , крист., кор. <sup>13)</sup>  
 $RuS_2$ ,  $RuSe_2$ ,  $RuTe_2$ , стр. тип пирита

$[Ru(NH_3)_6]Cl_2$ , крист., оранжев.  
 $[RuDipy_3]Cl_2$ , крист., красн., разл. 300, хим. инертны  
 $[Ru(NH_3)_5(N_2)]X_2$ , X = Cl-I, BF<sub>4</sub>, PF<sub>6</sub>, N—N 1.12 <sup>7)</sup>  
 $[(NH_3)_5Ru-(N=N)-Ru(NH_3)_5]BF_4$ , линейный катион, N—N 1.25, Ru—NH<sub>3</sub> 2.12, Ru—N 1.93 <sup>3)</sup>  
*транс*- $[Ru(NH_3)_4(L_2)]Cl_2$ , L = N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> <sup>15)</sup>  
*транс*- $[Ru(NH_3)_4(SO_2)^0L]X_n$ , L = H<sub>2</sub>O, Г, катион - окт., Ru—N 2.17, Ru—Cl 2.41, Ru—S 2.07, S—O 1.39 и 1.46  
↑ H<sub>2</sub>O(-H<sup>+</sup>)  
 $[Ru(NH_3)_4(HSO_3)(H_2O)]^+ \rightleftharpoons \text{транс-}[Ru(NH_3)_4(SO_3)(H_2O)]$  <sup>18)</sup>

$[Ru(PR_3)_2(O_2)^0(NO)X_2]$ , X = Cl, OH, CN, NCS, к-р окисления PR<sub>3</sub> <sup>14)</sup>  
 $Ru(C_5H_5)_2$ , рутеноцен, крист., желт., т. пл. 196, возг., не реог. с к. и ш., мол. - триг. призма (ср. ферроцен), Ru—C 2.21

$Ru(OH)_2$ , кор.

H<sub>2</sub>

H<sub>2</sub>O(-H<sub>2</sub>)

$Ru(OH)_3 \cdot xH_2O$ , кор., р. в к.; 100° → Ru + RuO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O; <sup>32)</sup>  
+ O<sub>2</sub> → RuO<sub>2</sub> · xH<sub>2</sub>O

HCl + HNO<sub>3</sub>; NO

RuCl<sub>n</sub>; RuO<sub>2</sub>

OH<sup>-</sup>

$Ru(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ , крист., желт.  
 $[Ru_3O(CH_3COO)_6]^+ X^-$ , 17, 23)  
X = Cl, CH<sub>3</sub>COO

$M_4[Ru(NO_2)_6]$ , в анионе - окт. [RuN<sub>6</sub>], Ru—N 2.05-2.10 <sup>19)</sup>

$[Ru_3^{II,III}O(CH_3COO)_6 \cdot (H_2O)_3]_n$ , стр. аналоги ацетатов Cr(III) и Fe(III)  
 $[Ru_2(RCOO)_4]^+ \Gamma^-$ , крист., парамагн., в стр. - цепи димерных мол. [аналогов Cu(RCOO)<sub>2</sub>], связанных Γ-мост., Ru—Ru 2.28, Ru—Cl 2.59 <sup>17)</sup>

$RuCl_3$

$Cs_2[Ru\Gamma_4(O_2)]$  <sup>15)</sup>

$K_2[Ru(CO)_2I_2(CN)_2]$

$H_4[Ru(CN)_6]$   
 $M_4[Ru(CN)_6] \cdot nH_2O$ , крист., бц., изостр.  
 $M_4[Fe(CN)_6] \cdot nH_2O$   
 $Fe_4^{III}[Ru(CN)_6]_3$ , изостр. пруссенской лазури, полупроводники <sup>12)</sup>

$Ru$

$Ru_2^{II,III}Cl_5(PBu_3)_4$ , парамагн. (1 неспаренный эл.), мол. - 2 окт. с общ. гранью [RuP<sub>2</sub>ClCl<sub>3/2</sub>], Ru—Cl 2.3 (конц.), 2.4 (мост.), Ru—Ru 3.11

$(R_4N)_2(H_7O)_2[Ru_3Cl_{12}]$ , крист., зел., анион - цепь из 3-х окт. с общ. гранями, Ru—Ru 2.80 <sup>20)</sup>

$RuF_3$ , крист., кор., гирр., стр. близка ReO<sub>3</sub>  
 $RuCl_3$ , α-, чешуйки, черн., не р. в H<sub>2</sub>O, сп., стр. тип FeCl<sub>3</sub> ↑ 450° (Cl<sub>2</sub>)  
β-, порошок, кор., р. в сп., окисляется на возд., в стр. - цепи окт. с общими гранями; · H<sub>2</sub>O  
 $RuBr_3$ , крист., темно-зел., в стр. - цепи окт. [RuBr<sub>6/2</sub>], Ru—Ru 2.73 и 3.12  
 $RuI_3$ , крист., черн., разл. 300

$Ru$

$Ru$

$Ru$

$K_2RuO_4$

NO + HCl; N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>; Mg; [H<sup>+</sup>]; RNHNH<sub>2</sub>

NaHSO<sub>3</sub>

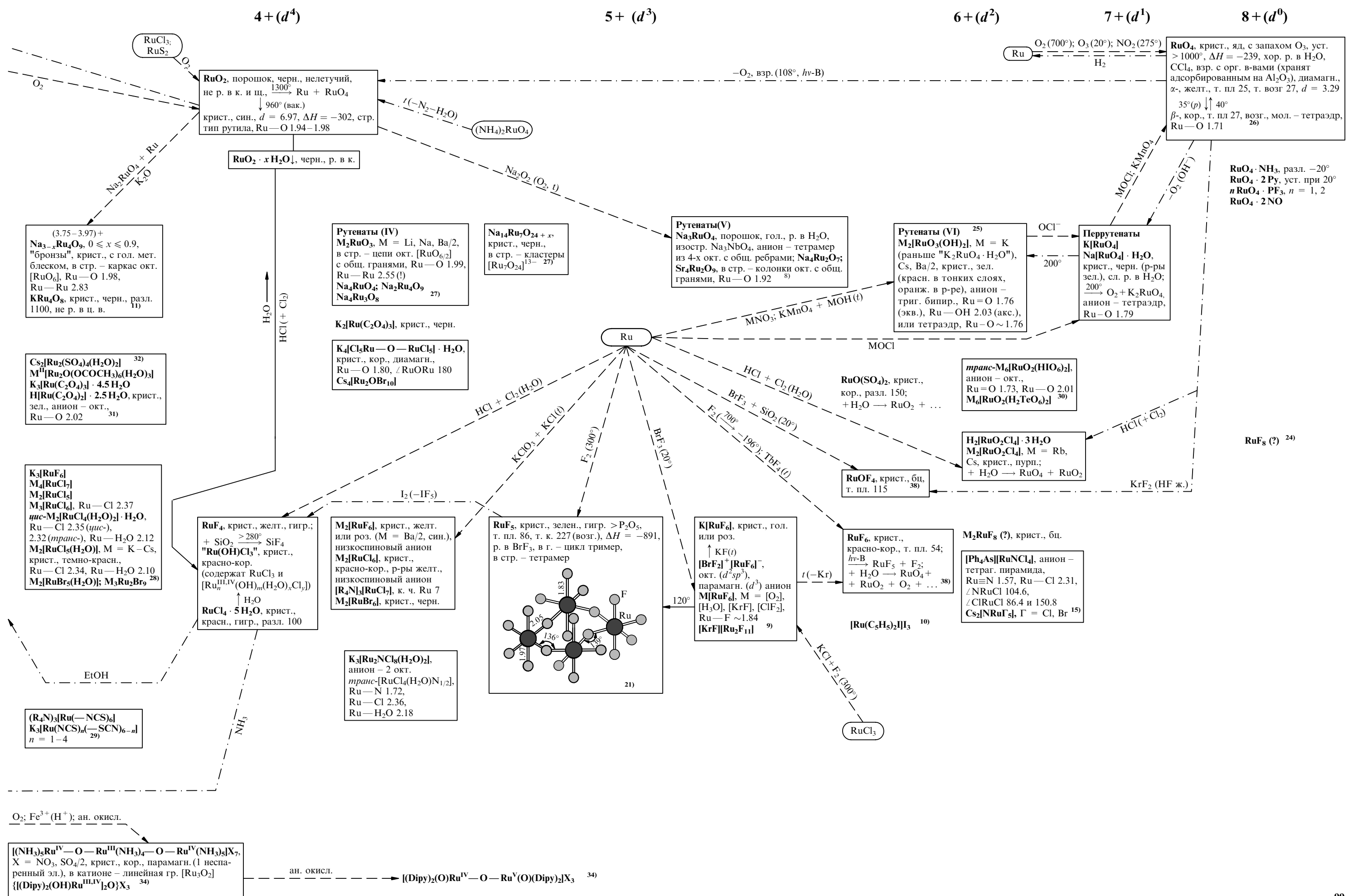
$Na_4[Ru(NH_3)_2(SO_3)_2(HSO_3)_2] \cdot 6H_2O$

$\{[(NH_3)_5Ru^{III}]_2(\mu-O)\}_4 X_4 \xrightarrow{Br_2} \{[(NH_3)_5Ru^{III,IV}]_2(\mu-O)\}_5 X_5$  <sup>34)</sup>

$[(NH_3)_5Ru^{III}(S_2)-Ru^{II}(NH_3)_5]X_4$  <sup>33)</sup>  
 $[(NH_3)_5Ru^{III}-L-Ru^{II}(NH_3)_5]X_5$

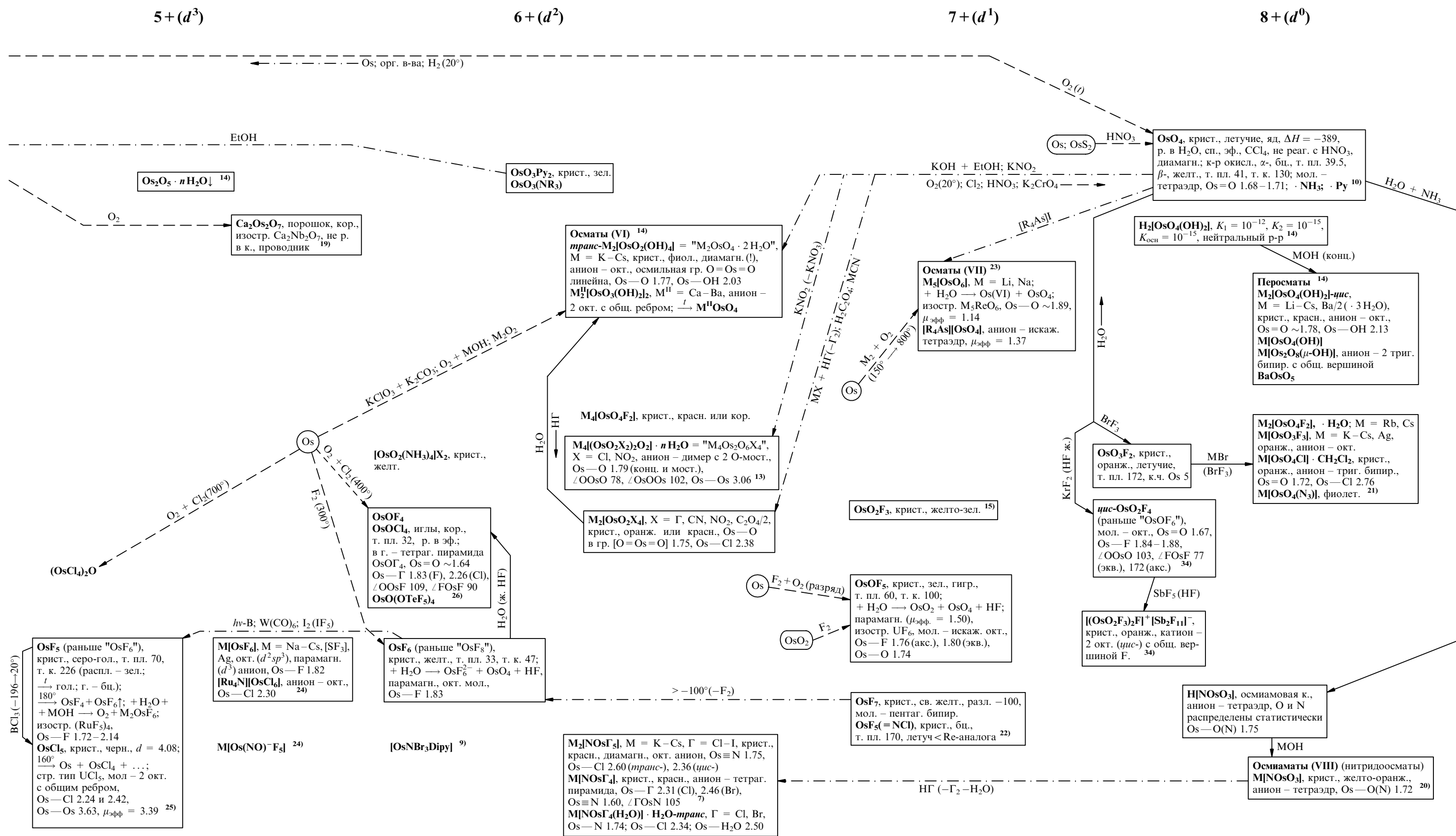
$[(NH_3)_5Ru^{III}-O-Ru^{IV}(NH_3)_4-O-Ru^{III}(NH_3)_5]Cl_6 \cdot 3H_2O$ , "рутениевая красная" (краска), диамагн., в катионе - линейная гр. [Ru—O—Ru—O—Ru], Ru—O 1.87; 150° → -H<sub>2</sub>O, р. в NH<sub>4</sub>OH, индикатор окисл.-восст. титрования <sup>34)</sup>

↑ NH<sub>4</sub>Cl + NH<sub>3</sub>(l)

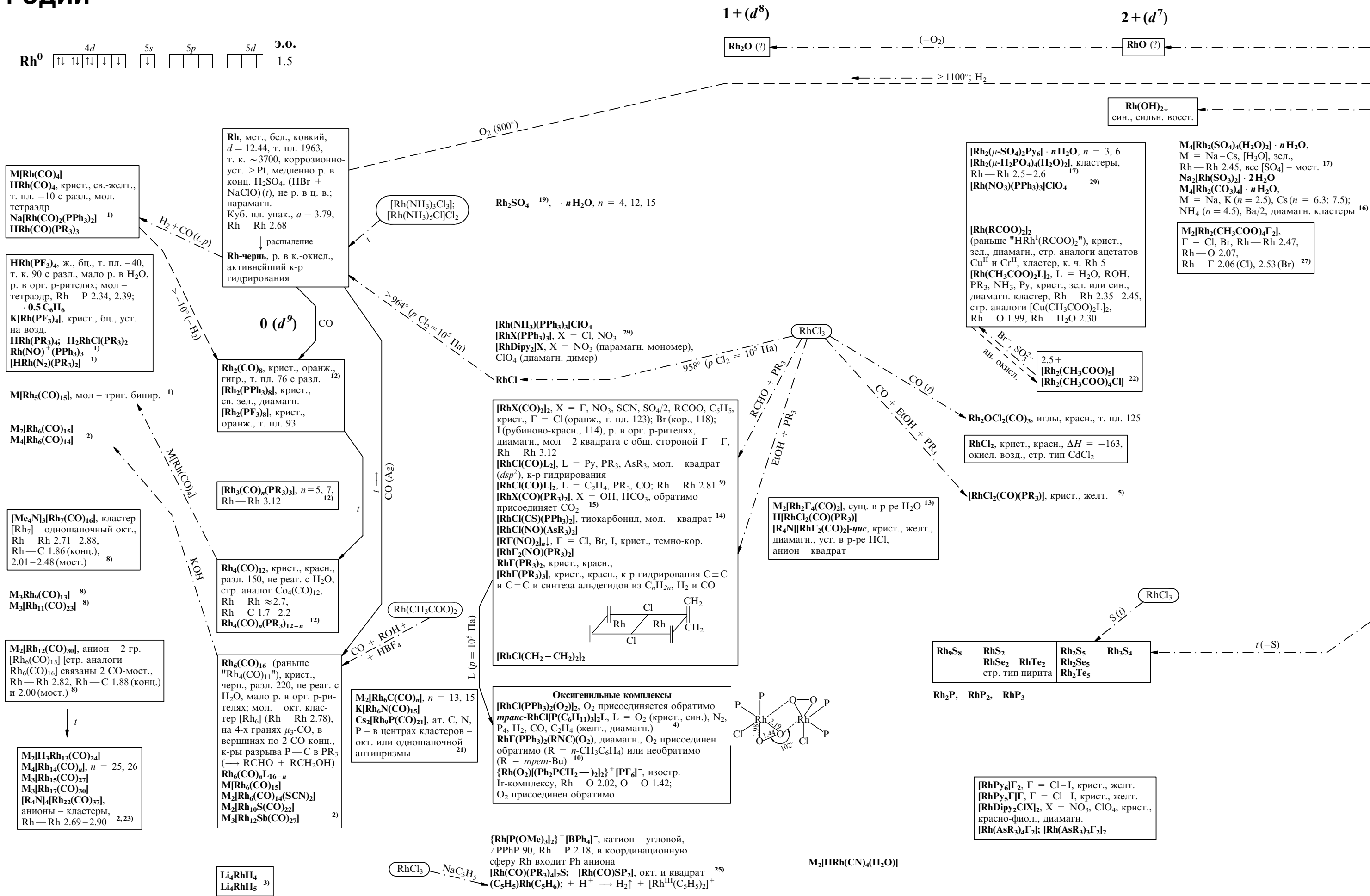


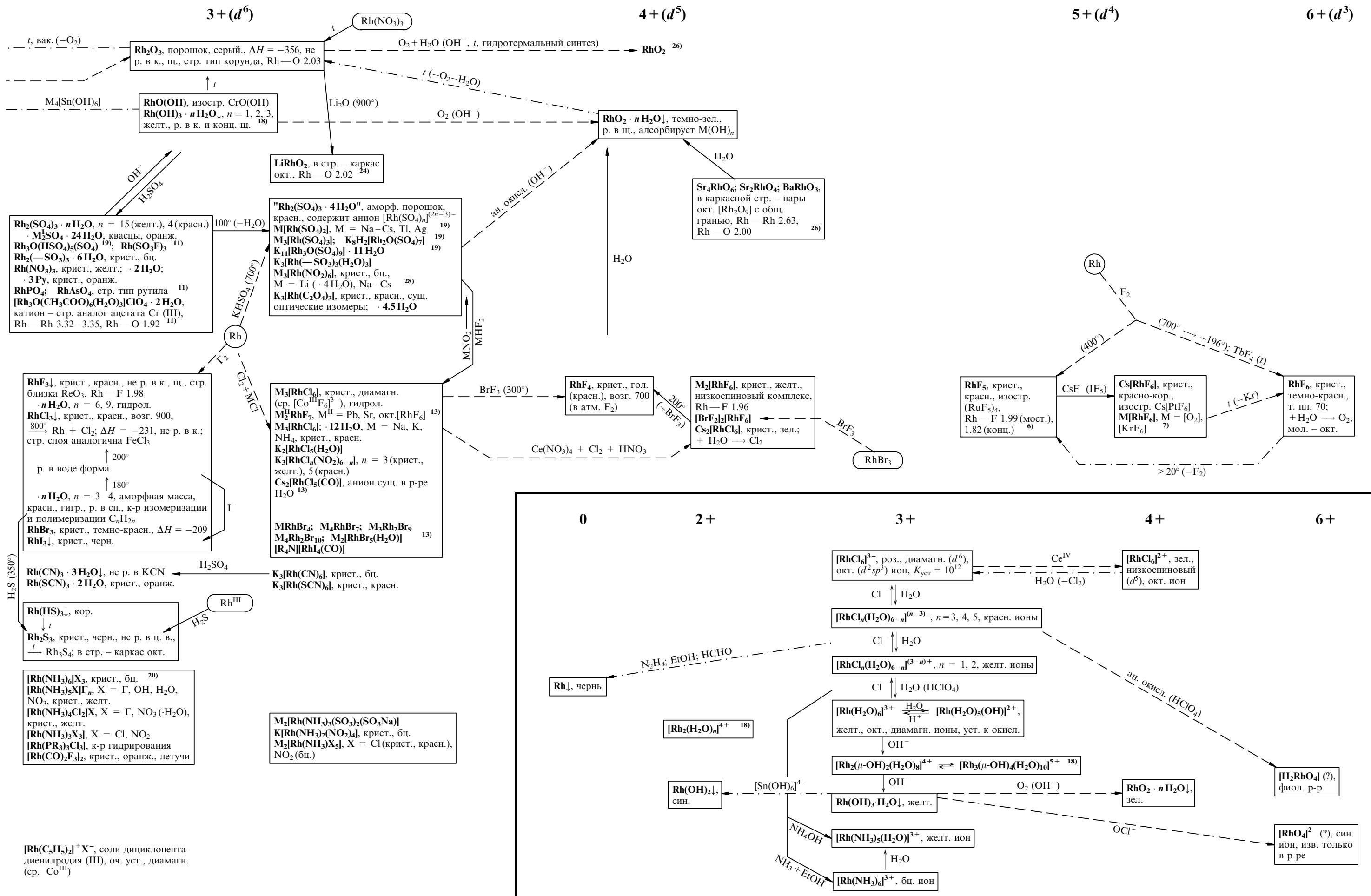




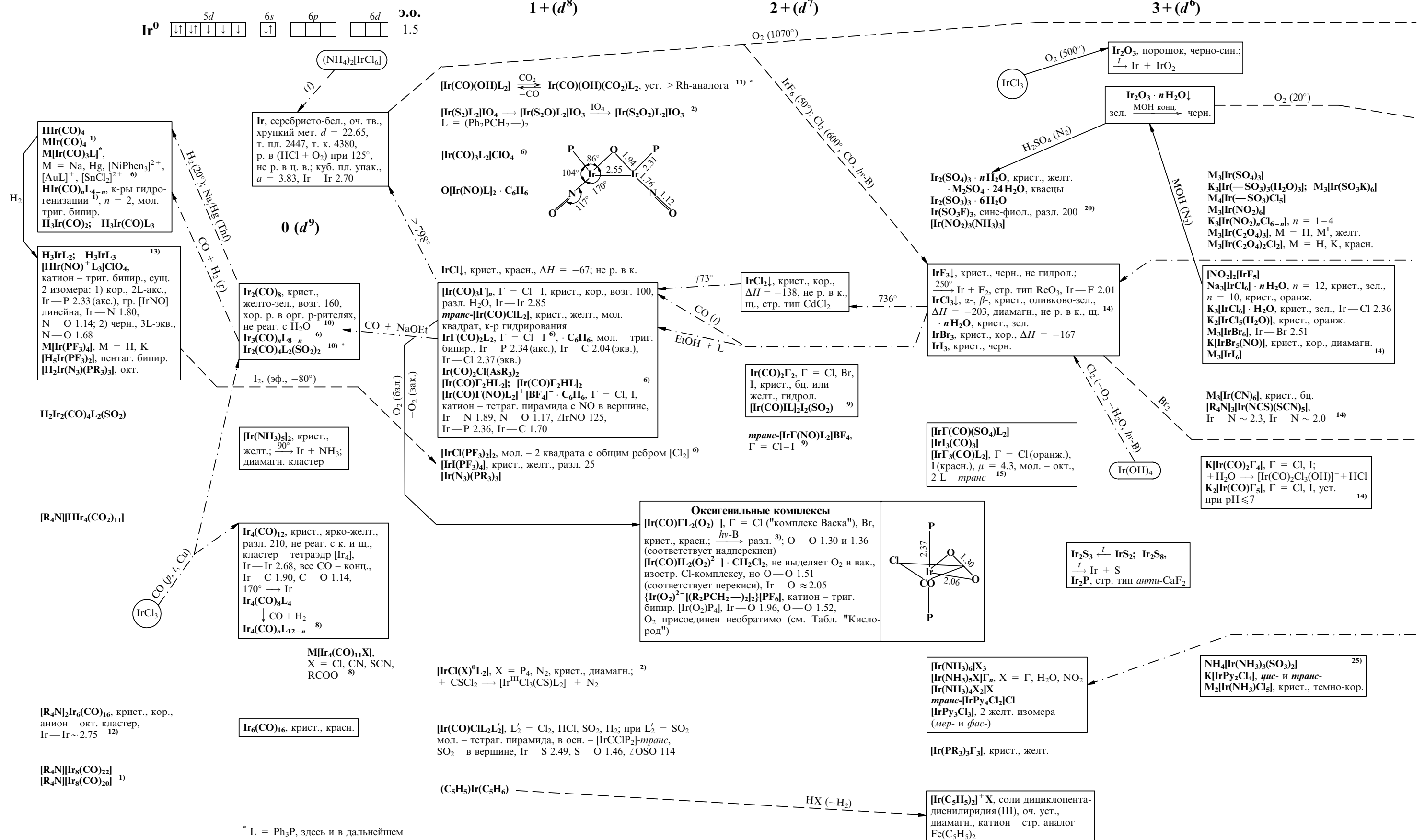


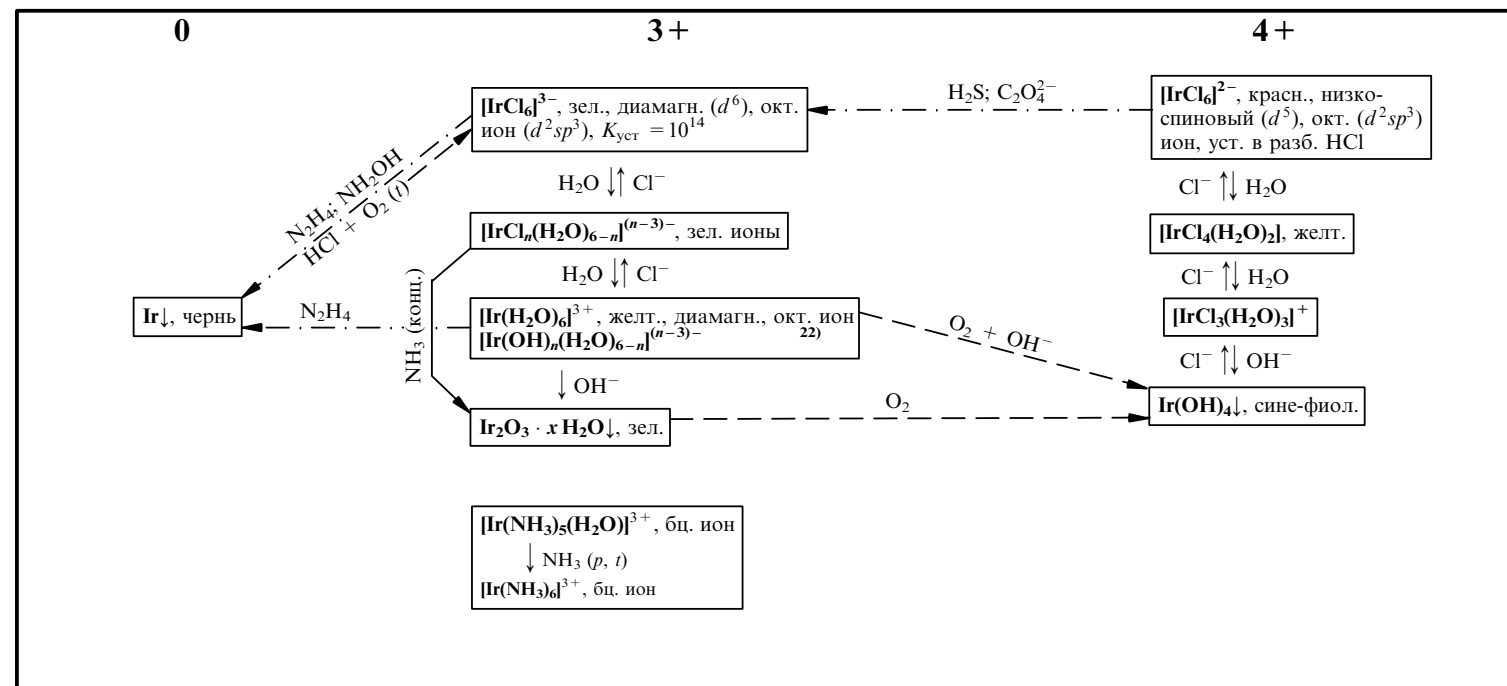
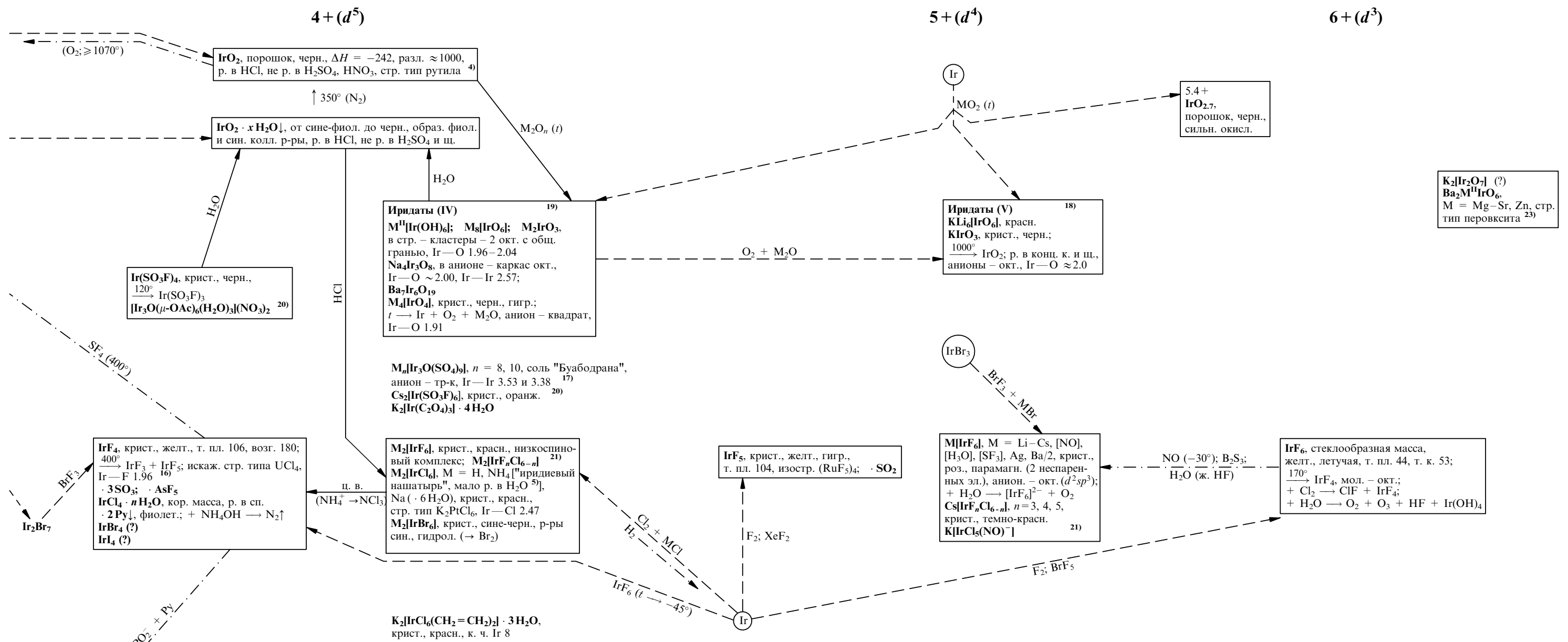
# РОДИЙ



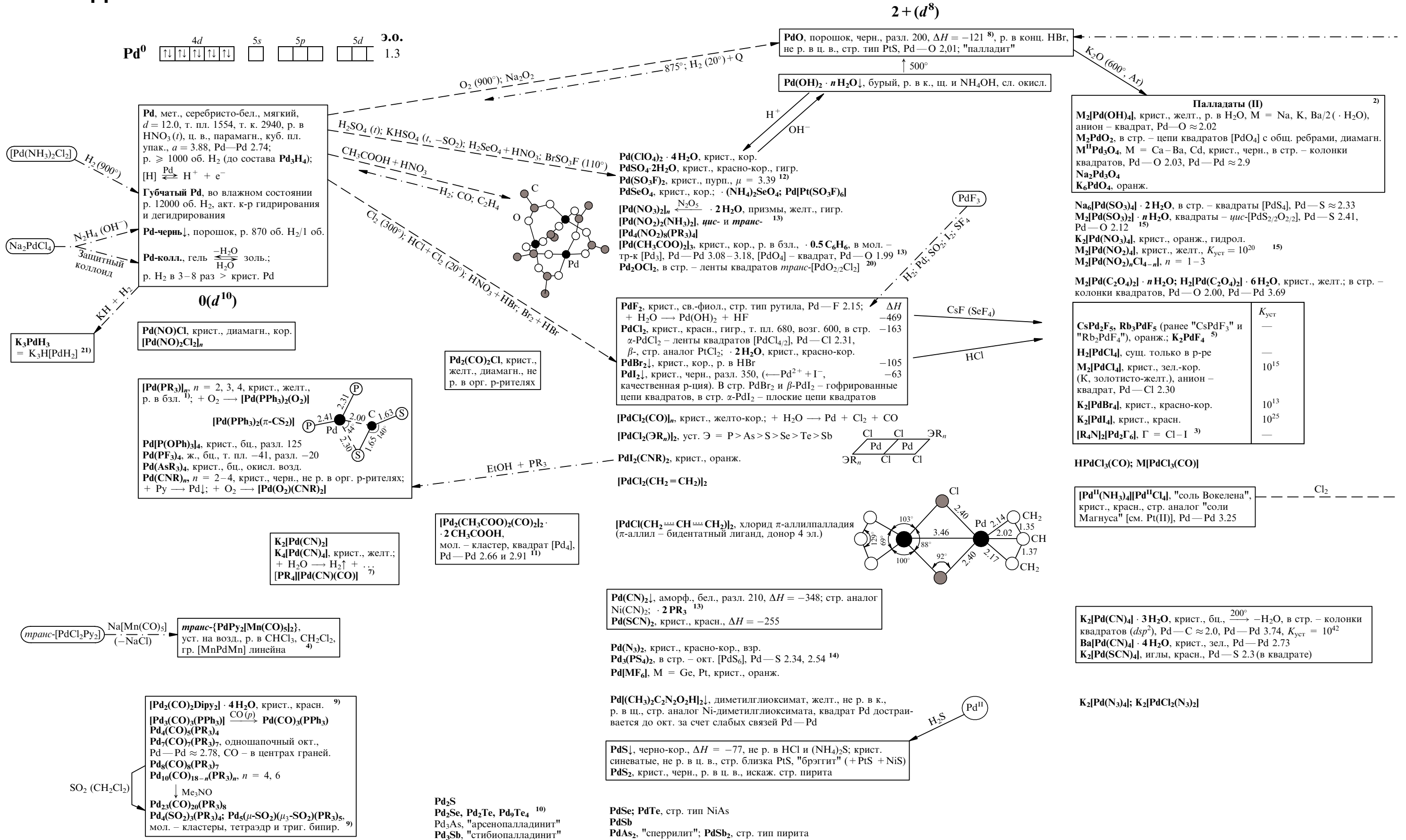


# ИРИДИЙ





# ПАЛЛАДИЙ

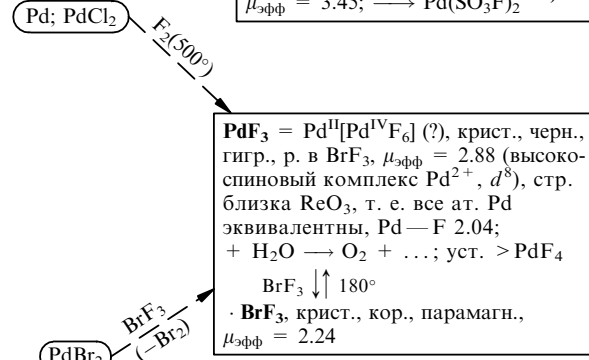
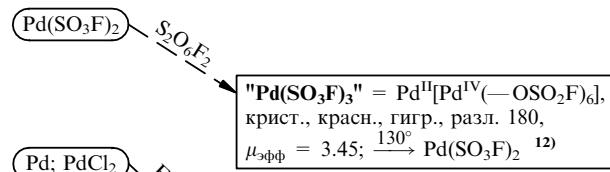


"3+" и 3+ ( $d^7$ )

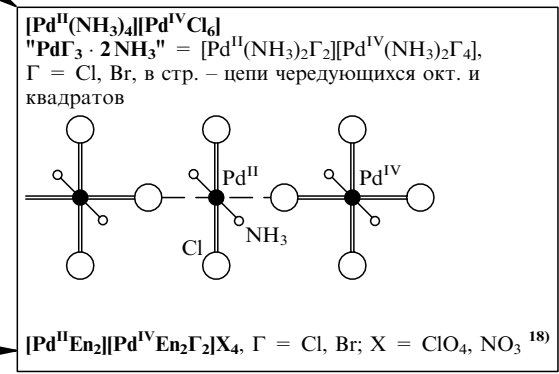
4+ ( $d^6$ )

5+ ( $d^5$ )

(2.33–2.66)+  
 $M, Pd_3O_4$   
M = Li–K, Tl  
крст., черн. 2)

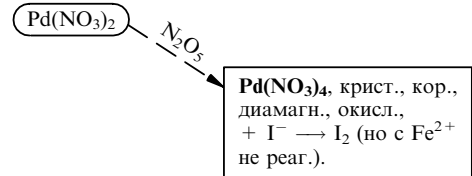


$Na[PdF_4]; M_2M'[PdF_6]$ ,  
(M, M') = (K, Li), (K, Na), (Cs, K),  
изостр.  $K[BrF_4]$  и  $K_2Na[AlF_6]$ ,  
анионы – окт. ( $t_{2g}^6, e_g^1$ )  $Pd^{3+}$  17)



$PdO_2 \cdot nH_2O \downarrow$ , темно-красн.,  
свежеосажденный – р. в к. и щ.,  
сильн. окисл.

**Палладаты (IV)** 2)  
 $M_2Pd(OH)_6; \xrightarrow{-H_2O} M_2O + PdO_{1.63}$   
 $M_2PdO_3$ , M = Na–Rb, диамагн., изостр.  $Li_2MnO_4$

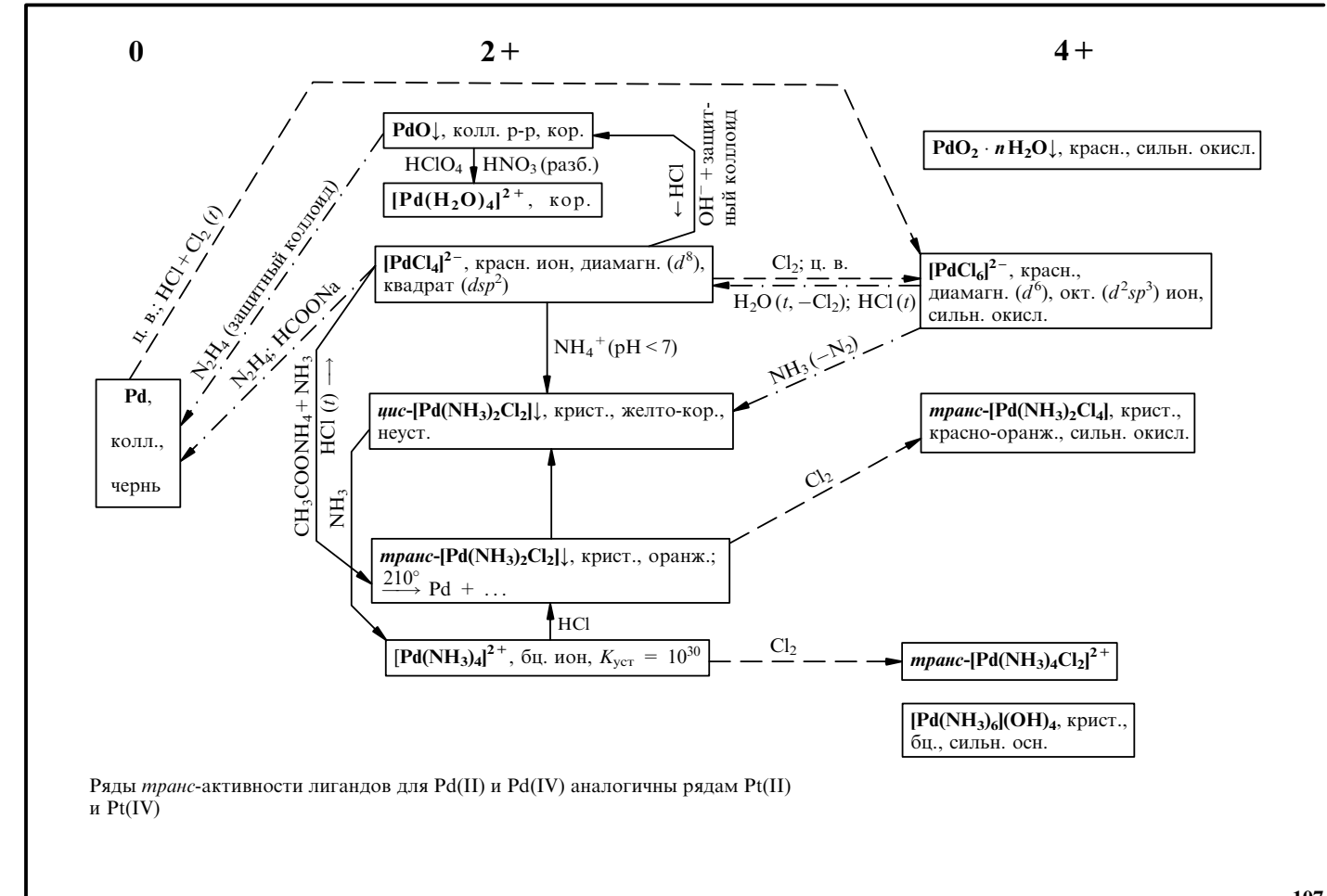
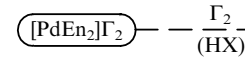
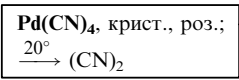


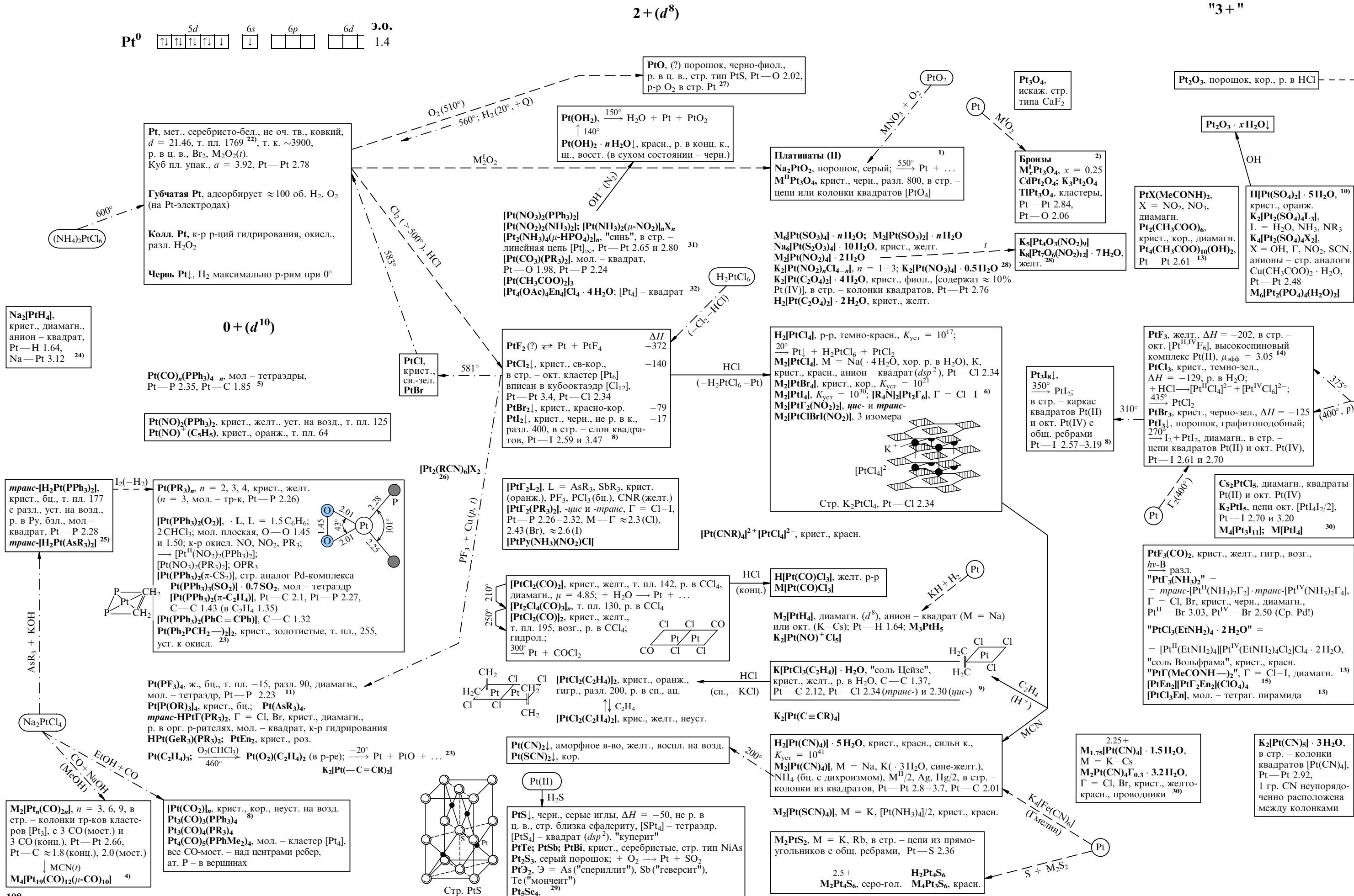
$M_2[Pd(SO_3)_2(OH)_2]$ , M = Na, K, крст., кор., неуст.  
 $M_2[Pd(SO_3F)_6]$ , M = Cs, [NO],  $[ClO_2]$ , Ba/2 12)  
 $K_2[PdO(C_2O_4)_2] \cdot 2H_2O$ , крст., красн.  
 $M_2[Pd(C_2O_4)_2Cl_2]$ , M = Na, K, крст., желт.

$MPdF_6$ , M = Na,  $[O_2]$  19)

$PdF_4$ , крст., красн.,  
искаж. стр. тип  $UCl_4$   
(к. ч. Pd 8),  $Pd-F 1.94, 2.00$ ;  
 $+ H_2O \rightarrow O_2$  16)

$M_2[PdF_6]$ , M = K–Cs,  $M^{II}/2, Xe/2^{6)}$ ,  
крст., желт., диамагн., анион – окт.,  $Pd-F 2.1$   
 $\uparrow MF(SeF_4)$   
 $[SeF_3]_2[PdF_6]; \xrightarrow{155^\circ} PdF_2 + SeF_4 \uparrow + SeF_6 \uparrow$   
 $[XeF]^+[Pd_2F_9]^-; \xrightarrow{280^\circ} XeF_4 + PdF_3$  6)  
 $H_2[PdCl_6]$ , сущ. в разб. р-ре, черн.;  
 $+ H_2O \rightarrow Cl_2 + PdCl_2$   
 $M_2[PdCl_6]$ , крст., красн., диамагн.,  
стр. тип  $K_2PtCl_6$ ,  $Pd-Cl 2.30$ ;  
 $+ H_2O(t) \rightarrow M_2PdCl_4 + Cl_2$   
 $M_2[PdBr_6]$









# ИНЕРТНЫЕ ГАЗЫ

Гелий	He <sup>0</sup>	↓↑	1s	Э.о.	4.5
Неон	Ne <sup>0</sup>	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑	2s 2p	4.0	
Аргон	Ar <sup>0</sup>	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑	3s 3p	2.9	
Криптон	Kr <sup>0</sup>	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑ □ □	4s 4p 4d	2.6	
Ксенон	Xe <sup>0</sup>	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑ □ □	5s 5p 5d	2.25	
Радон	Rn <sup>0</sup>	↓↑ ↓↑ ↓↑ ↓↑ □ □	6s 6p 6d	2.0	

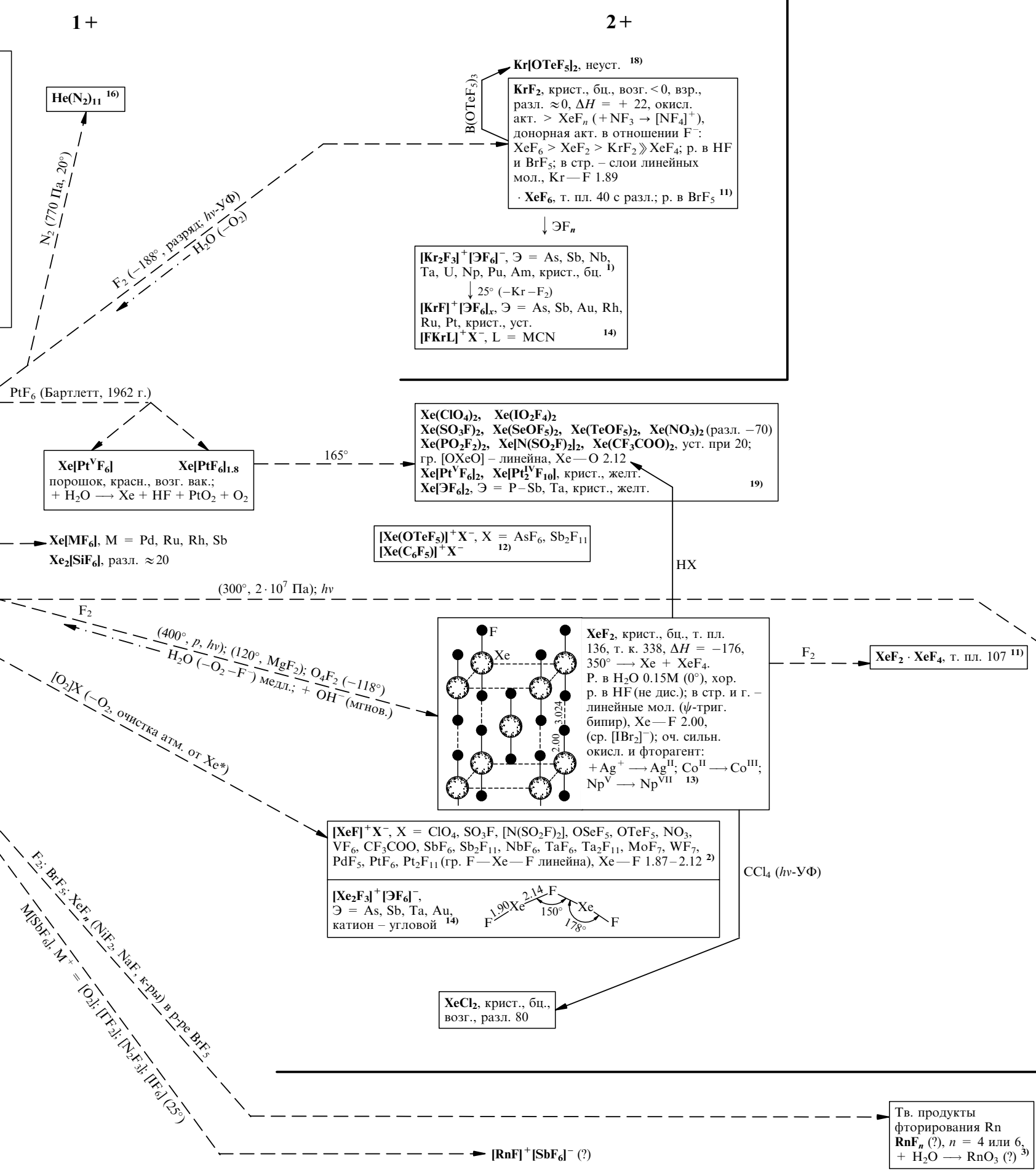
**Образование Rn при радиоактивном распаде:**  
<sup>232</sup>Th α → ... <sup>220</sup>Rn ("Th Em", "торон") α → ... 54.5 с.  
<sup>235</sup>U α → ... <sup>219</sup>Rn ("Ac Em", "актинон") α → ... 3.92 с.  
<sup>238</sup>U α → ... <sup>222</sup>Rn ("Ra Em") α → ... 3.82 сут.  
... <sup>218</sup>At β → <sup>218</sup>Rn ("At Em") α → ... 0.019 с.

**Образование He и Ar в минералах U и K:**  
<sup>238</sup>U → ... → 8α + 6β + <sup>206</sup>Pb;  
↓ + 8e  
8 <sup>4</sup>He

	He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
г., бц., в разряде излучают						
Содержание в атм. (%об. · 10 <sup>4</sup> )	желт. 5.24	оранж. 18.2	красн. 9340	зел.-фиол. 11.4	фиол. 0.087	бел. свет 6 · 10 <sup>-14</sup>
т. пл.	-269.7	-248.6	-189.4	-157.3	-111.9	-71.0
т. к.	-268.9	-245.9	-185.8	-153.2	-108.1	-61.9
d (при т. к.)	0.126	1.20	1.40	2.60	3.06	4.40
р. в H <sub>2</sub> O (% об.)	0.008	0.010	0.034	—	30	51
при 0°	хор. р. в орг. р-рителях					
a = 4.42 (p = 125 · 10 <sup>5</sup> )	куб. пл. упак.					
↓ -258°	4.52	5.43	5.69	6.24	—	
a = 3.47	гексаг. пл. упак.					
c = 5.54	3.14	—	4.00	4.34	—	
(p = 130 · 10 <sup>5</sup> )	5.14	—	6.53	7.09	—	
↑ -270°	куб. (тип α-Fe)					
a = 4.11 (p = 30 · 10 <sup>5</sup> )	—					

H<sub>2</sub>O; n-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>

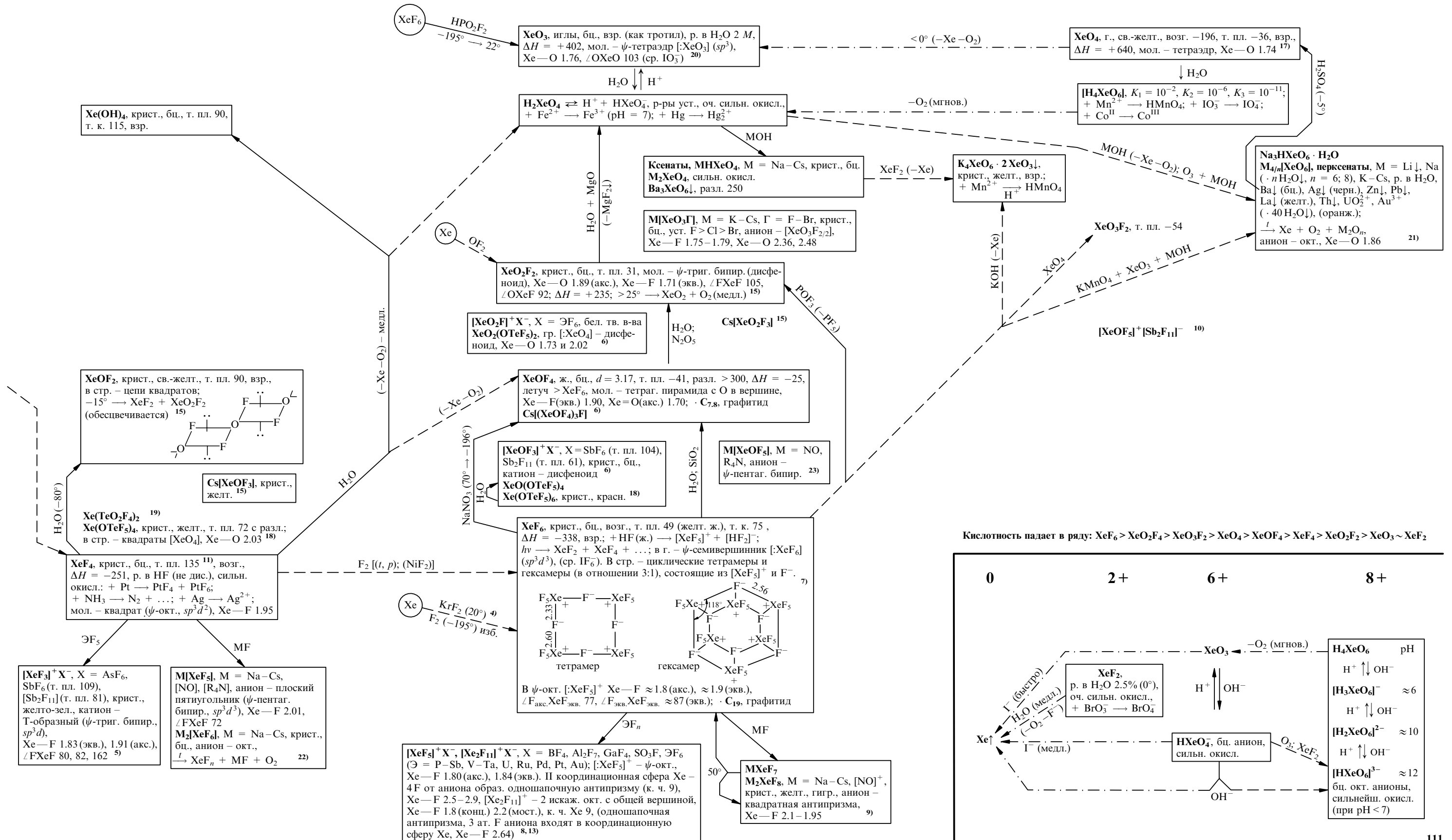
Клатратные соединения включения		
	p <sub>г</sub> при синтезе (Па · 10 <sup>-6</sup> )	т. разл. (p = 10 <sup>5</sup> )
Э · 5.75 H <sub>2</sub> O (8: 46), Э = Ne	300	—
Ar	150	-42.8
Kr	15	-28
Xe	~1	-4
Rn	~1	—
Э · 3 n-C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> , Э = Ar, Kr, Xe (гидрохинон)		



4+

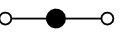
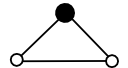
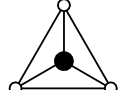
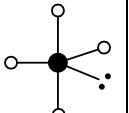
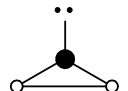
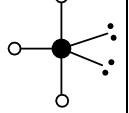
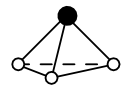
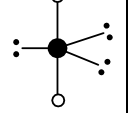
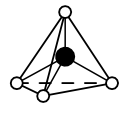
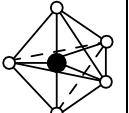
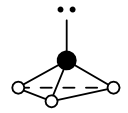
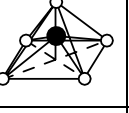
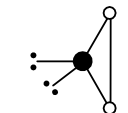
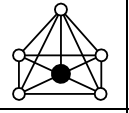
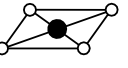
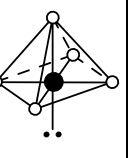
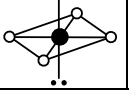
6+

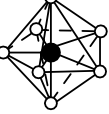
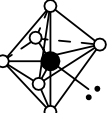
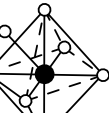
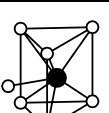
8+

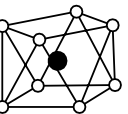
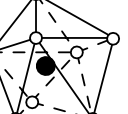
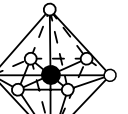
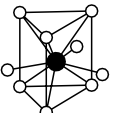
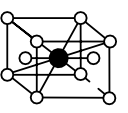
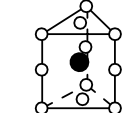
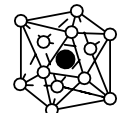


# ВАЛЕНТНЫЕ СОСТОЯНИЯ (ТИПЫ ГИБРИДИЗАЦИИ) И КООРДИНАЦИОННЫЕ МНОГОГРАННИКИ ЦЕНТРАЛЬНОГО АТОМА

(E – локализованная пара эл.)

Число эл. пар	Валентное состояние, валентный угол	Тип молекулы или иона	К. Ч.	Пространственная конфигурация	Примеры	Число эл. пар	Валентное состояние, валентный угол	Тип молекулы или иона	К. Ч.	Пространственная конфигурация	Примеры
2	$sp$ , $180^\circ$ $7s5f$ , $180^\circ$	$AX_2$	2 2	линейная (гантель) 	$BeF_2$ , $\Gamma = F-I(r.)$ , $CO_2$ , $N_2O$ , $[NO_2]^+$ $d^{10}$ : $ZnCl_2(r.)$ , $HgCl_2$ , $[Ag(NH_3)_2]^+$ , $d^0$ : $[UO_2]^{2+}$ , $[NpO_2]^{2+}$ , $[PuO_2]^{2+}$	5	$sp^3d$ , $120^\circ$ (экв.), $90^\circ$ (акс.)	$AX_5$	5	триг. бипир.	$AlH_3 \cdot 2NR_3$ , $[SnCl_5]^-$ , $PF_5(r.)$ , $SOF_4$ , $[IO_5]^{3-}$ , $ClO_2F_3$
2	$p^2$ , $90^\circ$	$AX_2$	2	угловая 	$H_2S$ , $H_2Se$ , $[TiCl_2]^-$			$AX_5$	5	тетраг. пирамида	$[InCl_5]^{2-}$
3	$sp^2$ , $120^\circ$ $d^2s$ , $120^\circ$	$AX_3$	3	плоский тр-к 	$K[BeF_3](r.)$ , $BF_3$ , $[BO_3]^{3-}$ , $B_2Cl_4$ , $[CO_3]^{2-}$ , $C_2H_4$ , $[NO_3]^-$ , $SO_3(r.)$ , $[O(HgCl)_3]^+$ ; $d^{10}$ : $[HgI_3]^-$ $d^6$ : $[FeO_3]^{4-}$ $d^0$ : $ScF_3(r.)$			$AX_4E$	4	дисфеноид ( $\psi$ -триг. бипир.) 	$[PBr_4]^-$ , $[SbF_4]^-$ , $SF_4$ , $TeCl_4$ , $[FO_2F_2]^-$ , $[GF_4]^+$ , $\Gamma OF_3$ , $XeO_2F_2(2F-акс)$ , $XeO_3F$
		$AX_2E$	2	угловая ( $\psi$ -тр-к) 	$SnF_2(r.)$ , $[NO_2]^-$ , $N_2F_2$ , $O_3$ , $SO_2(r.)$ , $ClO_2^+$			$AX_3E_2$	3	T-образная ( $\psi$ -триг. бипир.) 	$ClF_3$ , $BrF_3$ , $[XeF_3]^+$ , $XeOF_2$
3	$p^3$ , $90^\circ$	$AX_3$	3	триг. пирамида 	$PH_3$ , $AsF_3(r.)$			$AX_2E_3$	2	линейная ( $\psi$ -триг. бипир.) 	$[ICl_2]^-$ , $[\Gamma_3]^-$ , $XeF_2$
4	$sp^3$ , $\approx 109^\circ 28'$	$AX_4$	4	тетраэдр 	$[Be(H_2O)_4]^{2+}$ , $[OBe_4]$ в мол. $Be_4O(OAc)_6$ ; $[BF_4]^-$ , $[AlCl_4]^-$ , $CH_4$ , $[SiO_4]^{4-}$ , $NOF_3$ , $[SO_4]^{2-}$ , $[ClO_4]^-$ $d^{10}$ : $Ni(CO)_4$ , $[Cu(CN)_4]^{3-}$ , $[Zn(CN)_4]^{2-}$ , $[GaH_4]^-$ , $GeCl_4$ , $[AsO_4]^{3-}$ , $[SeO_4]^{2-}$ , $[BrO_4]^-$ , $XeO_4$ $d^9$ : $Co(CO)_3(NO)$ , $Cs_2[CuCl_4]$ $d^8$ : $[Fe(CO)_2(NO)_2]$ , $[Co(CO)_4]^-$ , $[NiCl_4]^{2-}$ $d^7$ : $[Mn(CO)(NO)_3]$ , $[CoCl_4]^{2-}$ $d^6$ : $[FeCl_4]^{2-}$ ; $d^5$ : $[MnCl_4]^{2-}$ ; $d^3$ : $[FeO_4]^{3-}$			$AX_5$	5	триг. бипир. 	$d^8$ : $[Mn(CO)_5]^-$ , $Fe(CO)_5$ , $[Co(CO)_3(PR_3)_2]^+$ , $[Pt(SnCl_3)_5]^{3-}$ , $[CuCl_5]^{3-}$ ( $3d^9 \rightarrow 3d^8 4d^1$ ) $d^7$ : $Mn(CO)_4(NO)(r.)$ , $[NiBr_3(PEt_3)_2]$
		$AX_3E$	3	триг. пирамида ( $\psi$ -тетраэдр) 	$NH_3$ , $NF_3$ , $N_2F_4$ , $[AsO_3]^{3-}$ , $[H_3O]^+$ , $SOCl_2$ , $[SO_3]^{2-}$ , $[Se_n]$ , $[SeO_3]^{2-}$ , $[IO_3]^-$ , $[BrO_3]^-$ , $XeO_3$			$AX_5$	5	тетраг. пирамида (центральный ат. над центром квадрата) 	$d^6$ : $[RuCl_2(PR_3)_3]$ $d^4$ : $[Et_4N]_2[MnCl_5]$
		$AX_2E_2$	2	угловая ( $\psi$ -тетраэдр) 	$H_2O$ , $OF_2$ , $[S_n]$ , $SCl_2$ , $TeF_2$ , $[ClF_2]^+$ , $[ClO_2]^-$ , $XeO_2$			$d^3sp$	5	триг. бипир.	$d^0$ : $NbCl_5$ , $VF_5$
		$AX_4$	4	тетраэдр	$d^2$ : $Cr(OC_4H_9-t)_4$ , $[MnO_4]^{3-}$ , $[FeO_4]^{2-}$ $d^1$ : $VCl_4$ , $[CrO_4]^{3-}$ , $[MnO_4]^{2-}$ , $[RuO_4]^-$ $d^0$ : $TiCl_4$ , $[VO_4]^{3-}$ , $[CrO_4]^{2-}$ , $[MnO_4]^-$ , $OsO_4$			$d^4s$ , $90^\circ$	5	тетраг. пирамида 	$d^2$ : $VCl_3(SMe_2)_2$ , $[Mo(CN)_5]^-$ , $[ReO_4]^-$
		$AX_4$	4	квадрат 	$d^8$ : $[Co(CN)_4]^{3-}$ , $[Ni(CN)_4]^{2-}$ , $[PtCl_4]^{2-}$ , $CuO$ , $[Au(OH)_4]^-$			6	$sp^3d^2$ , $90^\circ$	$AX_6$	6
$AX_5E$	5	тетраг. пирамида (центральный ат. в центре или под центром квадрата) ( $\psi$ -окт.) 	$[SbF_5]^{2-}$ , $[SF_5]^-$ , $GF_5$ , $[FOF_4]^-$ , $[XeF_5]^+$								
$AX_4E_2$	4	квадрат ( $\psi$ -окт.) 	$[ICl_4]^-$ , $XeF_4$								

Число эл. пар	Валентное состояние, валентный угол	Тип молекулы или иона	К. Ч.	Пространственная конфигурация	Примеры
6	$d^2sp^3$ , $90^\circ$	AX <sub>6</sub>	6	окт.	<p>низко-спиновые</p> $d^7$ : [Os(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>+</sup> , [NiF <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> $d^6$ : Cr(CO) <sub>6</sub> , [Mn(CN) <sub>6</sub> ] <sup>5-</sup> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> , [Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> , [NiF <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> $d^5$ : [Mn(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> , [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> , [PtF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> $d^4$ : [TiDipy <sub>3</sub> ], [Mo(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup> , [Mn(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> , [OsCl <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [IrF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> , PtF <sub>6</sub> $d^3$ : [V(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> , [Cr(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> , [MnCl <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [OsF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> , IrF <sub>6</sub> $d^2$ : [V(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> , [CrF <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [ReOCl <sub>5</sub> ] <sup>2-</sup> , [OsNF <sub>5</sub> ] <sup>2-</sup> , RuF <sub>6</sub> $d^1$ : [Ti(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>3+</sup> , [VF <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [MoF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> , ReF <sub>6</sub> , OsOF <sub>5</sub> $d^0$ : [Sc(OH) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> , [TiF <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [VF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> , MoF <sub>6</sub> , [ReO <sub>3</sub> Cl <sub>3</sub> ] <sup>2-</sup> , [OsO <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>
7	$sp^3d^3$ , $sp^3d^2f$ (?)	AX <sub>7</sub>	7	пентаг. бипир. 	IF <sub>7</sub>
		AX <sub>6E</sub>	6	искаж. окт. ( $\psi$ -пентаг. бипир. или $\psi$ -одношапочный окт.) 	[IF <sub>6</sub> ] <sup>-</sup> , XeF <sub>6</sub> (г.), [XeOF <sub>5</sub> ] <sup>-</sup>
		AX <sub>5E</sub> <sub>2</sub>	5	плоский 5-угольник ( $\psi$ -пентаг. бипир.)	[XeF <sub>5</sub> ] <sup>-</sup>
	$d^5sp$ , $d^4sp^2$ , $d^3sp^3$	AX <sub>7</sub>	7	пентаг. бипир.	$d^0$ : (NH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> [ZrF <sub>7</sub> ], OsF <sub>7</sub> $d^1$ : OsF <sub>7</sub> $d^2$ : [V(CN) <sub>7</sub> ] <sup>4-</sup> $d^3$ : [Mo(CN) <sub>7</sub> ] <sup>4-</sup> $d^4$ : [Re(CN) <sub>7</sub> ] <sup>4-</sup>
7			одношапочный окт. 	$d^0$ : [NbOF <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	
7			одношапочная триг. призма 	$d^0$ : [NbF <sub>7</sub> ] <sup>2-</sup> , [TaF <sub>7</sub> ] <sup>2-</sup> , LnO(OH), YO(OH)	

Число эл. пар	Валентное состояние, валентный угол	Тип молекулы или иона	К. Ч.	Пространственная конфигурация	Примеры
8	$sp^3d^4$ , $d^4sp^3$	AX <sub>8</sub>	8	антипризма (томсоновский куб) ( $\angle$ поворота $45^\circ$ – антипризма Архимеда) 	[XeF <sub>8</sub> ] <sup>2-</sup> , [Ba(H <sub>2</sub> O) <sub>8</sub> ] <sup>2+</sup> , Zr[IO <sub>3</sub> ] <sub>4</sub> , [TaF <sub>8</sub> ] <sup>3-</sup> , [W(CN) <sub>8</sub> ] <sup>2-</sup> , [Mo(CN) <sub>8</sub> ] <sup>4-</sup> , [ReF <sub>8</sub> ] <sup>2-</sup> , [Eu(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>
				куб	ThO <sub>2</sub> , UO <sub>2</sub> , (NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> [U(C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ]
				додекаэдр 	Ti(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> (NO <sub>3</sub> – бидентатны), [ZrF <sub>8</sub> ] <sup>4-</sup> , [Cr <sup>V</sup> (O <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>3-</sup> , [Mo(CN) <sub>8</sub> ] <sup>2-</sup> , [Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> , [Fe(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>-</sup> , [Re(CN) <sub>8</sub> ] <sup>3-</sup>
				гексаг. бипир. 	[UO <sub>2</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup>
9		AX <sub>9</sub>	9	тетраг. одношапочная призма	Li <sub>3</sub> ThI <sub>7</sub>
				трехшапочная триг. призма 	PbCl <sub>2</sub> , BaF <sub>2</sub> , EuCl <sub>2</sub> , [Nd(H <sub>2</sub> O) <sub>9</sub> ] <sup>3+</sup> , [Sc(H <sub>2</sub> O) <sub>9</sub> ] <sup>3+</sup> , [Th(SO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>4-</sup> , K <sub>2</sub> [PaF <sub>7</sub> ], UCl <sub>3</sub> , [ReH <sub>9</sub> ] <sup>2-</sup> , Tl(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 3H <sub>2</sub> O
				$sp^3d^5$	AX <sub>8E</sub>
10		AX <sub>10</sub>	10	квадратная призма с 2 центрированными гранями 	[Th (трополонат) <sub>5</sub> ] <sup>-</sup>
				пентаг. бипир.	[UO <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>
11		AX <sub>11</sub>	11	триг. призма с центрированными основаниями и ребрами 	LnF <sub>3</sub> , UF <sub>3</sub> , Th(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O
12		AX <sub>12</sub>	12	икосаэдр  (кубооктаэдр и его гексаг. аналог встречаются в ионных крист.)	La <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O, [Ce(NO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup> , [Th(NO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2-</sup> , [UO <sub>2</sub> (C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ] <sup>4-</sup>

## ВАЖНЕЙШИЕ ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР

Формула		Тип решетки	К. Ч. и многогранник центрального атома	К. Ч. и многогранник лиганда	Страница	Формула		Тип решетки	К. Ч. и многогранник центрального атома	К. Ч. и многогранник лиганда	Страница	
Простые вещества	<b>Cu</b>	куб. пл. упак.	12, кубооктаэдр	—	86	Соединения типа AX <sub>3</sub>	<b>FeCl<sub>3</sub></b>	ромбоэдрическая	6, окт.	3, триг. пирамида	91	
	<b>α-Fe</b>	куб. объемно-центрированная	8, куб	—	90		<b>ReO<sub>3</sub></b>	куб.	6, окт.	2, гантель	15	
	<b>Mg</b>	гексаг. пл. упак.	12, гексаг. аналог кубооктаэдра	—	78		<b>PuBr<sub>3</sub></b>	ромб.	8, искаж. восьмивершинник	{ 3, триг. пирамида 2, угол	34	
	<b>C</b> (алмаз)	куб.	4(= 8-4), тетраэдр	—	54		<b>UCl<sub>3</sub></b>	гексаг.	9, трехшапочная триг. призма	3, триг. пирамида	32	
	<b>C</b> (графит)	гексаг.	3, тр-к	—	54		<b>LaF<sub>3</sub></b>	гексаг.	3(тр-к)+6(призма)+2(акс.) = 11	{ 4, тетраэдр 3, тр-к	77	
	<b>P</b> – бел.	куб.	3(= 8-5), триг. пирамида, ∠PPP 60°	—	40		<b>YF<sub>3</sub></b>	ромб.	9 = 8 + 1	—	77	
	<b>P</b> – черн.	ромб.	3, триг. пирамида	—	40		Соединения типа AX <sub>4</sub>	<b>UCl<sub>4</sub></b>	тетраг.	4 (искаж. тетраэдр) + 4 (мост.) = 8	2, угол	32
	<b>S<sub>8</sub></b>	ромб.	2(= 8-6), ∠SSS 108°	—	18			<b>ZrF<sub>4</sub></b>	монокл.	8, антипризма	2, угол	65
	<b>I<sub>2</sub></b>	ромб.	1(= 8-7) К. Ч. = 8-№ гр. (правило Юм-Розери)	—	6		Соединения типа A <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> (корунд)	ромбоэдрическая	6, искаж. окт.	4, искаж. тетраэдр	70
Соединения типа AX	<b>NaCl</b>	куб.	6, окт.	6, окт.	85	<b>Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		куб.	6 (6 вершин куба)	4, тетраэдр	12	
	<b>CsCl</b>	куб.	8, куб	8, куб	85	<b>La<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>		гексаг.	7, одношапочный окт.	4 (= 3 + 1)	77	
	<b>ZnS</b> (сфалерит)	куб.	4, тетраэдр	4, тетраэдр	81	Тройные соединения	<b>MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub></b> (шпинель)	куб.	Mg – 4, тетраэдр Al – 6, окт.	4, тетраэдр (= 3Al + 1Mg)	70	
	<b>ZnS</b> (вюртцит)	гексаг.	4, тетраэдр	4, тетраэдр	81		<b>CaTiO<sub>3</sub></b> (перовскит)	ромб. (псевдокубическая)	Ca – 12, кубооктаэдр (куб из 4 гр. [TiO <sub>3</sub> ]) Ti – 6, окт.	2 Ti + 4 Ca (тетраг. бипир.)	65	
	<b>= ZnO</b>	гексаг.	6, окт.	6, окт.	94		<b>K<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub></b>	куб. (тип. анти-CaF <sub>2</sub> )	K – 12, кубооктаэдр (тетраэдр из 4 гр. [PtCl <sub>6</sub> ]) Pt – 6, окт.	2Pt + 4K (тетраг. бипир.)	109	
	<b>NiAs</b>	гексаг.	3, тр-к	3, тр-к	69	Соединения типа AX <sub>2</sub>	<b>K<sub>2</sub>NiF<sub>4</sub></b>	тетраг.	K – 9 Ni – 6, искаж. окт.	2 Ni	95	
	<b>BN</b>	гексаг.	3, тр-к	3, тр-к	69		Гидраты газов <b>8 X · 46 H<sub>2</sub>O</b> , X = Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, N <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , Xe <b>6 X · 46 H<sub>2</sub>O</b> , X = Br <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , соединения включения в стр. льда	20 H <sub>2</sub> O, пентагондодекаэдр		—	6	
<b>PbO</b>	тетраг.	4, тетраг. пирамида	4, тетраэдр	61	Соединения типа AX <sub>2</sub>	<b>CaC<sub>2</sub></b>		тетраг.	10 и 2, тетраг. пирамиды, сближенные основаниями	5, тетраг. пирамида	79	
<b>PtS</b>	тетраг.	4, квадрат	4, тетраэдр	108		<b>FeS<sub>2</sub></b> (пирит)		куб.	6, окт.	4, тетраэдр	90	
Соединения типа AX <sub>2</sub>	<b>CaC<sub>2</sub></b>	тетраг.	10 и 2, тетраг. пирамиды, сближенные основаниями	5, тетраг. пирамида		79		<b>CaF<sub>2</sub></b> (флюорит)	куб.	8, куб	4, тетраэдр	79
	<b>FeS<sub>2</sub></b> (пирит)	куб.	6, окт.	4, тетраэдр		90		<b>PbCl<sub>2</sub></b>	ромб.	9, трехшапочная триг. призма	{ 4, тетраэдр 5, пентаг. пирамида	62
	<b>CaF<sub>2</sub></b> (флюорит)	куб.	8, куб	4, тетраэдр		79		<b>TiO<sub>2</sub></b> (рутил)	тетраг.	6, окт.	3, тр-к	65
	<b>PbCl<sub>2</sub></b>	ромб.	9, трехшапочная триг. призма	{ 4, тетраэдр 5, пентаг. пирамида		62		<b>CdI<sub>2</sub></b>	гексаг.	6, окт.	3, триг. пирамида	80
	<b>TiO<sub>2</sub></b> (рутил)	тетраг.	6, окт.	3, тр-к		65		<b>CdCl<sub>2</sub></b>	ромбоэдрическая	6, окт.	3, триг. пирамида	80
	<b>CdI<sub>2</sub></b>	гексаг.	6, окт.	3, триг. пирамида		80		<b>SiO<sub>2</sub></b> (кристобалит)	куб.	4, тетраэдр	2, гантель	59
	<b>CdCl<sub>2</sub></b>	ромбоэдрическая	6, окт.	3, триг. пирамида		80	<b>SiS<sub>2</sub></b>	ромб.	4, тетраэдр	2, угловая, ∠SiSSi ≈ 100°	59	
	<b>SiO<sub>2</sub></b> (кристобалит)	куб.	4, тетраэдр	2, гантель	59	<b>CO<sub>2</sub></b>	куб.	2, гантель	1	55		
	<b>SiS<sub>2</sub></b>	ромб.	4, тетраэдр	2, угловая, ∠SiSSi ≈ 100°	59							
<b>CO<sub>2</sub></b>	куб.	2, гантель	1	55								

