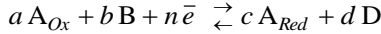


**Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы ( $E^0$ ) по отношению к потенциалу стандартного водородного электрода при 25 °С**

Согласно уравнению Нернста, величина окислительно-восстановительного потенциала для полуреакции



зависит от активностей всех участвующих в ней веществ. При 25 °С уравнение Нернста для данной окислительно-восстановительной пары имеет вид

$$E = E_{A_{Ox}/A_{Red}}^0 - \frac{0,0592}{n} \lg \frac{a_{A_{Red}}^a a_B^b}{a_{A_{Ox}}^c a_D^d}.$$

Если в качестве вспомогательного электрода (электрода сравнения) выбран стандартный водородный электрод, то в условиях, когда активности входящих в уравнение Нернста веществ равны единице, измеряемая разность потенциалов равна стандартному электродному потенциалу рассматриваемой окислительно-восстановительной системы:

$$\Delta E = E_{A_{Ox}/A_{Red}}^0.$$

Обозначения: ↓ – насыщенный раствор твердого или жидкого вещества в присутствии этого вещества; ↑ – раствор, насыщенный газом при давлении 101325 Па (760 мм. рт. ст.).

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, B$
Ag	$Ag^{2+}$	+ $\bar{e}$	$Ag^+$	+2,00
	$Ag^+$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow$	+0,7994
	$AgBr\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + Br^-$	+0,071
	$AgBrO_3\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + BrO_3^-$	+0,55
	$AgC_2H_3O_2\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + C_2H_3O_2^-$	+0,64
	$AgCN\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + CN^-$	-0,04
	$Ag(CN)_2^-$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + 2CN^-$	-0,29
	$Ag(CN)_3^{2-}$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + 3CN^-$	-0,51
	$AgCNO\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Ag\downarrow + CNO^-$	+0,41

Элемент	Высшая степень окисления	+ nē <sup>-</sup>	Низшая степень окисления	E°, В
Ag	Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	+0,46
	Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+0,465
	AgCl↓	+ ē	Ag↓ + Cl <sup>-</sup>	+0,222
	Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+0,447
	Ag <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ↓	+ 4ē	4Ag ↓ + Fe(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	+0,148
	AgI↓	+ ē	Ag↓ + I <sup>-</sup>	-0,152
	AgIO <sub>3</sub> ↓	+ ē	Ag ↓ + IO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+0,35
	Ag <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+0,49
	Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	+ ē	Ag↓ + 2 NH <sub>3</sub>	+0,373
	AgNO <sub>2</sub> ↓	+ ē	Ag ↓ + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+0,59
	AgN <sub>3</sub>	+ ē	Ag ↓ + N <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+0,293
	2AgO↓+H <sub>2</sub> O	+ 2ē	Ag <sub>2</sub> O↓ + 2OH <sup>-</sup>	+0,60
	Ag <sub>2</sub> O↓+H <sub>2</sub> O	+ 2ē	2Ag↓ + 2OH <sup>-</sup>	+0,342
	Ag <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↓+H <sub>2</sub> O	+ 2ē	2AgO↓ + 2OH <sup>-</sup>	+0,74
	Ag <sub>2</sub> S↓	+ 2ē	2Ag↓ + S <sup>2-</sup>	-0,71
	Ag <sub>2</sub> S↓+H <sup>+</sup>	+ 2ē	2Ag↓ + HS <sup>-</sup>	-0,272
	AgSCN↓	+ ē	Ag↓ + SCN <sup>-</sup>	+0,09
	Ag(SO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>3-</sup>	+ ē	Ag ↓ + 2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	+0,43
	Ag(S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>3-</sup>	+ ē	Ag ↓ + 2S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	+0,01
	Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+0,653
Ag <sub>2</sub> WO <sub>4</sub> ↓	+ 2ē	2Ag ↓ + WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+0,53	
Al	Al <sup>3+</sup>	+ 3ē	Al↓	-1,66
	AlO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 3ē	Al↓ + 4OH <sup>-</sup>	-2,35
	Al(OH) <sub>3</sub> ↓	+ 3ē	Al↓ + 3OH <sup>-</sup>	-2,29
	AlF <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	+ 3ē	Al↓ + 6F <sup>-</sup>	-2,07

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
As	$As\downarrow + 3H^+$	+ $3\bar{e}$	$AsH_3\uparrow$	-0,60
	$As\downarrow + 3H_2O$	+ $3\bar{e}$	$AsH_3\uparrow + 3OH^-$	-1,43
	$HAsO_2 + 3H^+$	+ $3\bar{e}$	$As\downarrow + 2H_2O$	+0,234
	$H_3AsO_4 + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$HAsO_2 + 2H_2O$	+0,56
	$AsO_2^- + 2H_2O$	+ $3\bar{e}$	$As\downarrow + 4OH^-$	-0,68
	$AsO_4^{3-} + 2H_2O$	+ $2\bar{e}$	$AsO_2^- + 4OH^-$	-0,71
Au	$AuBr_2^-$	+ $\bar{e}$	$Au\downarrow + 2Br^-$	+0,96
	$AuBr_4^-$	+ $2\bar{e}$	$AuBr_2^- + 2Br^-$	+0,80
	$AuBr_4^-$	+ $3\bar{e}$	$Au\downarrow + 4Br^-$	+0,85
	$Au(CN)_2^-$	+ $\bar{e}$	$Au\downarrow + 2CN^-$	-0,61
	$AuCl_2^-$	+ $\bar{e}$	$Au\downarrow + 2Cl^-$	+1,15
	$AuCl_4^-$	+ $2\bar{e}$	$AuCl_2^- + 2Cl^-$	+0,92
	$AuCl_4^-$	+ $3\bar{e}$	$Au\downarrow + 4Cl^-$	+1,00
	$Au(SCN)_2^-$	+ $\bar{e}$	$Au\downarrow + 2SCN^-$	+0,66
B	$H_3BO_3 + 3H^+$	+ $3\bar{e}$	$B\downarrow + 3H_2O$	-0,87
	$H_2BO_3^- + H_2O$	+ $3\bar{e}$	$B\downarrow + 4OH^-$	-1,79
	$BF_4^-$	+ $3\bar{e}$	$B\downarrow + 4F^-$	-1,04
Ba	$Ba^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Ba\downarrow$	-2,91
Be	$Be^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Be\downarrow$	-1,97
	$Be_2O_3^{2-} + 3H_2O$	+ $4\bar{e}$	$Be\downarrow + 6OH^-$	-2,62
Bi	$BiO^+ + 2H^+$	+ $3\bar{e}$	$Bi\downarrow + H_2O$	+0,32
	$Bi\downarrow + 3H^+$	+ $3\bar{e}$	$BiH_3\uparrow$	< -0,8
	$BiCl_4^-$	+ $3\bar{e}$	$Bi\downarrow + 4Cl^-$	+0,16

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Bi	$\text{Bi}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$2\text{Bi}\downarrow + 6\text{OH}^-$	-0,46
	$\text{BiOCl}\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $3\bar{e}$	$\text{Bi}\downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$	+0,16
	$\text{NaBiO}_3\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{BiO}^+ + \text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	> +1,8
Br	$\text{Br}_2$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Br}^-$	+1,087
	$2\text{HBrO} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,6
	$2\text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Br}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,45
	$\text{HBrO} + \text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,34
	$\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	+0,76
	$\text{BrO}_3^- + 5\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{HBrO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,45
	$\text{BrO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{BrO}^- + 4\text{OH}^-$	+0,54
	$2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+$	+ $10\bar{e}$	$\text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,52
	$2\text{BrO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O}$	+ $10\bar{e}$	$\text{Br}_2 + 12\text{OH}^-$	+0,50
	$\text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$\text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,45
	$\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\text{Br}^- + 6\text{OH}^-$	+0,61
C	$\text{CH}_3\text{OH} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	+0,59
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O}$	+0,46
	$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2 + 2\text{H}^+$ хинон	+ $2\bar{e}$	$\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ гидрохинон	+0,6994
	$\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{H}^+$ дегидроаскорбиновая кислота	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6$ аскорбиновая кислота	+0,39
	$(\text{CN})_2\uparrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{HCN}$	+0,37
	$2\text{HCNO} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$(\text{CN})_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,33
	$\text{HCNO} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{HCN} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,33

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
С	$CNO^- + H_2O$	+ $2\bar{e}$	$CN^- + 2OH^-$	-0,76
	$HCHO + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$CH_3OH$	+0,19
	$CH_3CHO + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$C_2H_5OH$	+0,19
	$HCOOH + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$HCHO + H_2O$	-0,01
	$CH_3COOH + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$CH_3CHO + H_2O$	-0,12
	$HCOO^- + 2H_2O$	+ $2\bar{e}$	$HCHO + 3OH^-$	-1,07
	$CO_2\uparrow + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$CO\uparrow + H_2O$	-0,12
	$CO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H^+$	+ $6\bar{e}$	$CO(NH_2)_2 + H_2O$	+0,1
	$CO_2\uparrow + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$HCOOH$	-0,20
	$2CO_2\uparrow + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$H_2C_2O_4$	-0,49
Ca	$Ca^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Ca\downarrow$	-2,79
	$Ca(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Ca\downarrow + 2OH^-$	-3,03
Cd	$Cd^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow$	-0,403
	$CdCO_3\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow + 2CO_3^{2-}$	-0,74
	$Cd(CN)_4^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow + 4CN^-$	-1,09
	$Cd(NH_3)_4^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow + 4NH_3$	-0,61
	$Cd(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow + 2OH^-$	-0,81
	$CdS\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cd\downarrow + S^{2-}$	-1,17
Ce	$Ce^{4+}$	+ $\bar{e}$	$Ce^{3+}$	+1,77
	$Ce^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$Ce\downarrow$	-2,48
	$CeCl_6^{2-}$	+ $\bar{e}$	$Ce^{3+} + 6Cl^-$	+1,28
	$Ce(ClO_4)_6^{2-}$	+ $\bar{e}$	$Ce^{3+} + 6ClO_4^-$	+1,70
	$Ce(NO_3)_6^{2-}$	+ $\bar{e}$	$Ce^{3+} + 6NO_3^-$	+1,609
	$Ce(SO_4)_3^{2-}$	+ $\bar{e}$	$Ce^{3+} + 3SO_4^{2-}$	+1,44

Элемент	Высшая степень окисления	+ nē <sup>-</sup>	Низшая степень окисления	E <sup>0</sup> , В
Cl	Cl <sub>2</sub> ↑	+ 2ē	2Cl <sup>-</sup>	+1,359
	2HClO + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	Cl <sub>2</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O	+1,63
	2ClO <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 2ē	Cl <sub>2</sub> ↑ + 4OH <sup>-</sup>	+0,40
	HClO + H <sup>+</sup>	+ 2ē	Cl <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+1,50
	ClO <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	Cl <sup>-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	+0,88
	HClO <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	HClO + H <sub>2</sub> O	+1,64
	2HClO <sub>2</sub> + 6H <sup>+</sup>	+ 6ē	Cl <sub>2</sub> ↑ + 4H <sub>2</sub> O	+1,63
	HClO <sub>2</sub> + 3H <sup>+</sup>	+ 4ē	Cl <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+1,56
	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	ClO <sup>-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	+0,66
	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 4ē	Cl <sup>-</sup> + 4OH <sup>-</sup>	+0,77
	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 3H <sup>+</sup>	+ 2ē	HClO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	+1,21
	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	+0,33
	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ ē	ClO <sub>2</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O	+1,15
	ClO <sub>2</sub> ↑ + H <sup>+</sup>	+ ē	HClO <sub>2</sub>	+1,27
	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 6H <sup>+</sup>	+ 6ē	Cl <sup>-</sup> + 3H <sub>2</sub> O	+1,45
	2ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 12H <sup>+</sup>	+ 10ē	Cl <sub>2</sub> ↑ + 6H <sub>2</sub> O	+1,47
	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 3H <sub>2</sub> O	+ 6ē	Cl <sup>-</sup> + 6OH <sup>-</sup>	+0,63
	ClO <sub>2</sub> ↑ + 4H <sup>+</sup>	+ 5ē	Cl <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+1,50
	ClO <sub>2</sub> ↑ + 2H <sub>2</sub> O	+ 5ē	Cl <sup>-</sup> + 4OH <sup>-</sup>	+0,85
	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+1,19
	ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	+0,36
2ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 16H <sup>+</sup>	+ 14ē	Cl <sub>2</sub> ↑ + 8H <sub>2</sub> O	+1,39	

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Cl	$ClO_4^- + 8H^+$	+ $8\bar{e}$	$Cl^- + 4H_2O$	+1,38
	$ClO_4^- + 4H_2O$	+ $8\bar{e}$	$Cl^- + 8OH^-$	+0,56
Co	$Co^{3+}$	+ $\bar{e}$	$Co^{2+}$	+1,95
	$Co^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$Co\downarrow$	+0,46
	$Co^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow$	-0,29
	$CoCO_3\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow + CO_3^{2-}$	-0,58
	$Co(NH_3)_6^{3+}$	+ $\bar{e}$	$Co(NH_3)_6^{2+}$	+0,1
	$Co(NH_3)_6^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow + 6NH_3$	-0,42
	$Co(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow + 2OH^-$	-0,71
	$Co(OH)_3\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Co(OH)_2\downarrow + OH^-$	+0,17
	$CoS\downarrow\alpha$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow + S^{2-}$	-0,89
	$CoS\downarrow\beta$	+ $2\bar{e}$	$Co\downarrow + S^{2-}$	-1,02
Cr	$Cr^{3+}$	+ $\bar{e}$	$Cr^{2+}$	-0,41
	$Cr^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$Cr\downarrow$	-0,74
	$Cr^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Cr\downarrow$	-0,91
	$Cr(CN)_6^{3-}$	+ $\bar{e}$	$Cr(CN)_6^{2-}$	-1,28
	$Cr(OH)_3\downarrow$	+ $3\bar{e}$	$Cr\downarrow + 3OH^-$	-1,3
	$Cr(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cr\downarrow + 2OH^-$	-1,4
	$CrO_2^- + 2H_2O$	+ $3\bar{e}$	$Cr\downarrow + 4OH^-$	-1,2
	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+$	+ $6\bar{e}$	$2Cr^{3+} + 7H_2O$	+1,33
	$CrO_4^{2-} + 4H_2O$	+ $3\bar{e}$	$Cr(OH)_3\downarrow + 5OH^-$	-0,13
Cs	$Cs^+$	+ $\bar{e}$	$Cs\downarrow$	-2,923
Cu	$Cu^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Cu\downarrow$	+0,345
	$Cu^+$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow$	+0,531

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Cu	$Cu^{2+}$	+ $\bar{e}$	$Cu^+$	+0,159
	$Cu^{2+} + Br^-$	+ $\bar{e}$	$CuBr\downarrow$	+0,64
	$Cu^{2+} + Cl^-$	+ $\bar{e}$	$CuCl\downarrow$	+0,54
	$Cu^{2+} + I^-$	+ $\bar{e}$	$CuI\downarrow$	+0,86
	$CuBr\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + Br^-$	+0,033
	$Cu(CN)_2^-$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + 2CN^-$	-0,43
	$CuCl\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + Cl^-$	+0,137
	$CuI\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + I^-$	-0,185
	$Cu(NH_3)_4^{2+}$	+ $\bar{e}$	$Cu(NH_3)_2^+ + 2NH_3$	-0,01
	$Cu(NH_3)_2^+$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + 2NH_3$	-0,12
	$Cu(NH_3)_4^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Cu\downarrow + 4NH_3$	-0,07
	$2Cu(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cu_2O\downarrow + 2OH^- + H_2O$	-0,08
	$Cu_2O\downarrow + H_2O$	+ $2\bar{e}$	$2Cu\downarrow + 2OH^-$	-0,36
	$Cu(OH)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cu\downarrow + 2OH^-$	-0,22
	$CuS\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Cu\downarrow + S^{2-}$	-0,70
	$Cu_2S\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2Cu\downarrow + S^{2-}$	-0,88
	$CuSCN\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Cu\downarrow + SCN^-$	-0,27
	Fe	$Fe^{3+}$	+ $\bar{e}$	$Fe^{2+}$
$Fe^{3+}$		+ $3\bar{e}$	$Fe\downarrow$	-0,058
$Fe^{2+}$		+ $2\bar{e}$	$Fe\downarrow$	-0,473
$Fe(CN)_6^{3-}$		+ $\bar{e}$	$Fe(CN)_6^{4-}$	+0,364
$Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{3+}$ 1,10-фенантролин		+ $\bar{e}$	$Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{2+}$	+1,06
$FeCO_3\downarrow$		+ $\bar{e}$	$Fe\downarrow + CO_3^{2-}$	-0,756



Продолжение табл. 20

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Fe	$\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$	+ $\bar{e}$	$\text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow + \text{OH}^-$	-0,56
	$\text{Fe}(\text{OH})_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Fe}\downarrow + 2\text{OH}^-$	-0,877
	$\text{Fe}_3\text{O}_4^{2-} + 8\text{H}^+$	+ $3e^-$	$\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,9
	$\text{Fe}_3\text{O}_4\downarrow + 8\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$3\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,21
	$\text{Fe}_3\text{O}_4\downarrow + 8\text{H}^+$	+ $8\bar{e}$	$3\text{Fe}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,085
	$\text{FeS}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Fe}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-0,95
Ga	$\text{Ga}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Ga}\downarrow$	-0,56
	$\text{H}_2\text{GaO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Ga}\downarrow + 4\text{OH}^-$	-1,33
Ge	$\text{Ge}\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{GeH}_4\uparrow$	-0,3
	$\text{Ge}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Ge}\downarrow$	0,0
	$\text{GeO}\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Ge}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	-0,29
	$\text{GeO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Ge}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,15
	$\text{H}_2\text{GeO}_3 + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Ge}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,13
	$\text{GeO}_2\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{GeO}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ коричневый	-0,12
H	$2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\uparrow$	0,000
	$2\text{H}^+ (10^{-7} M)$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\uparrow$	-0,414
	$\text{H}_2\uparrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{H}^-$	-2,25
	$2\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$	-0,828
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{H}_2\text{O}$	+1,77
	$\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$3\text{OH}^-$	+0,88
Hf	$\text{HfO}^{2+} + 2\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Hf}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	-1,70
	$\text{HfO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Hf}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	-1,57
	$\text{HfO}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Hf}\downarrow + 4\text{OH}^-$	-2,50

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, B$
Hg	$2\text{Hg}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}_2^{2+}$	+0,907
	$\text{Hg}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}\downarrow$	+0,850
	$\text{Hg}_2^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow$	+0,792
	$\text{Hg}_2\text{Br}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + 2\text{Br}^-$	+0,1392
	$\text{Hg}(\text{CN})_4^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}\downarrow + 4\text{CN}^-$	-0,37
	$\text{Hg}_2(\text{CH}_3\text{COO})_2$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COO}^-$	+0,510
	$\text{Hg}_2\text{C}_2\text{O}_4\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + \text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	+0,415
	$\text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + 2\text{Cl}^-$	+0,2682
	$\text{Hg}_2\text{I}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + 2\text{I}^-$	-0,040
	$\text{Hg}_2(\text{IO}_3)_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + 2\text{IO}_3^-$	+0,394
	$\text{HgO}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ красный	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,098
	$\text{HgS}\downarrow$ (черный)	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-0,67
	$\text{HgS}\downarrow$ (красный)	+ $2\bar{e}$	$\text{Hg}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-0,70
	$\text{Hg}_2\text{SO}_4$	+ $2\bar{e}$	$2\text{Hg}\downarrow + \text{SO}_4^{2-}$	+0,615
I	$\text{I}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{I}^-$	+0,536
	$\text{I}_2$	+ $2\bar{e}$	$2\text{I}^-$	+0,621
	$\text{I}_3^-$	+ $2\bar{e}$	$3\text{I}^-$	+0,545
	$2\text{IBr}$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 2\text{Br}^-$	+1,02
	$2\text{IBr}_2^-$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 4\text{Br}^-$	+0,87
	$\text{ICN}\uparrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}^- + \text{CN}^-$	+0,30
	$2\text{ICN}\uparrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 2\text{HCN}$	+0,63
	$2\text{ICl}\uparrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 2\text{Cl}^-$	+1,19
	$2\text{ICl}_2^-$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 4\text{Cl}^-$	+1,06

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
I	$2\text{ICl}_3\uparrow$	+ $6\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+1,28
	$2\text{HIO} + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,45
	$2\text{IO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 4\text{OH}^-$	+0,45
	$\text{HIO} + \text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\Gamma + \text{H}_2\text{O}$	+0,99
	$\text{IO}^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\Gamma + 2\text{OH}^-$	+0,49
	$\text{IO}_3^- + 5\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{HIO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,14
	$\text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{IO}^- + 4\text{OH}^-$	+0,14
	$2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+$	+ $10\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,19
	$2\text{IO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O}$	+ $10\bar{e}$	$\text{I}_2\downarrow + 12\text{OH}^-$	+0,21
	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$\Gamma + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,08
	$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\Gamma + 6\text{OH}^-$	+0,26
	$\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	$\approx +1,6$
	$\text{H}_3\text{IO}_6^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{IO}_3^- + 3\text{OH}^-$	$\approx +0,7$
	$\text{H}_5\text{IO}_6 + 7\text{H}^+$	+ $8\bar{e}$	$\Gamma + 6\text{H}_2\text{O}$	$\approx +1,24$
$\text{H}_3\text{IO}_6^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $8\bar{e}$	$\Gamma + 9\text{OH}^-$	$\approx +0,37$	
In	$\text{In}^{3+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{In}^+$	-0,45
	$\text{In}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{In}\downarrow$	-0,12
	$\text{In}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{In}\downarrow$	-0,34
	$\text{In}(\text{OH})_3\downarrow$	+ $3\bar{e}$	$\text{In}\downarrow + 3\text{OH}^-$	-1,0
Ir	$\text{Ir}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Ir}\downarrow$	$\approx +1,15$
	$\text{IrCl}_6^{3-}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Ir}\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+0,77
	$\text{IrCl}_6^{2-}$	+ $\bar{e}$	$\text{IrCl}_6^{3-}$	+1,017
	$\text{IrCl}_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Ir}\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+0,83

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Ir	$\text{IrO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Ir}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,93
	$\text{IrO}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Ir}\downarrow + 4\text{OH}^-$	+0,1
	$\text{Ir}_2\text{O}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$2\text{Ir}\downarrow + 6\text{OH}^-$	+0,1
K	$\text{K}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{K}\downarrow$	-2,923
La	$\text{La}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{La}\downarrow$	-2,52
	$\text{La}(\text{OH})_3\downarrow$	+ $3\bar{e}$	$\text{La}\downarrow + 3\text{OH}^-$	-2,90
Li	$\text{Li}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Li}\downarrow$	-3,04
Mg	$\text{Mg}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mg}\downarrow$	-2,37
	$\text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mg}\downarrow + 2\text{OH}^-$	-2,69
Mn	$\text{Mn}^{3+}$	+ $\bar{e}$	$\text{Mn}^{2+}$	+1,51
	$\text{Mn}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mn}\downarrow$	-1,17
	$\text{Mn}(\text{CN})_6^{3-}$	+ $\bar{e}$	$\text{Mn}(\text{CN})_6^{4-}$	-0,244
	$\text{MnCO}_3\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mn}\downarrow + \text{CO}_3^{2-}$	-1,48
	$\text{Mn}(\text{OH})_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mn}\downarrow + 2\text{OH}^-$	-1,55
	$\text{Mn}(\text{OH})_3\downarrow$	+ $\bar{e}$	$\text{Mn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{OH}^-$	+0,1
	$\text{Mn}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Mn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,84
	$\text{Mn}_3\text{O}_4\downarrow + 8\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$3\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,75
	$\text{MnO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
	$\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{MnO}_2\downarrow + 4\text{OH}^-$	+0,58
	$\text{MnO}_4^-$	+ $\bar{e}$	$\text{MnO}_4^{2-}$	+0,558
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+$	+ $3\bar{e}$	$\text{MnO}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,69
	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $3\bar{e}$	$\text{MnO}_2\downarrow + 4\text{OH}^-$	+0,60
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+$	+ $5\bar{e}$	$\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,51

Продолжение табл. 20

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0$ , В
Mo	$\text{Mo}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Mo}\downarrow$	-0,2
	$\text{Mo}(\text{CN})_6^{3-}$	+ $\bar{e}$	$\text{Mo}(\text{CN})_6^{4-}$	+0,725
	$\text{MoO}_2^+ + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Mo}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,0
	$\text{MoO}_2^{2+}$	+ $\bar{e}$	$\text{MoO}_2^+$	+0,48
	$\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$\text{Mo}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$	0,0
	$\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\text{Mo}\downarrow + 8\text{OH}^-$	-1,05
N	$\text{HN}_3 + 11\text{H}^+$	+ $8\bar{e}$	$3\text{NH}_4^+$	+0,69
	$\text{N}_3^- + 7\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\text{N}_2\text{H}_4 + \text{NH}_3 + 7\text{OH}^-$	-0,62
	$3\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NH}_3$	-3,1
	$3\text{N}_2\uparrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{N}_3^-$	-3,4
	$\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+$	-1,87
	$\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{OH}^-$	-3,04
	$\text{N}_2\uparrow + 5\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+$	-0,23
	$\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{OH}^-$	-1,16
	$\text{N}_2\uparrow + 8\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$2\text{NH}_4^+$	+0,26
	$\text{N}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$2\text{NH}_4\text{OH} + 6\text{OH}^-$	-0,74
	$\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+ + 3\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NH}_4^+$	+1,27
	$\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{OH}^-$	+0,1
	$\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+ + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$	+1,35
	$\text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{NH}_{3\text{aq}} + 2\text{OH}^-$	+0,42
	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,65
	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 6\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$2\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+$	+0,50

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
N	$2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,83
	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	+0,98
	$\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $\bar{e}$	$\text{NO}\uparrow + 2\text{OH}^-$	-0,46
	$\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{N}_2\text{O}\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,29
	$2\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 8\text{OH}^-$	+0,41
	$\text{HNO}_2 + 6\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,44
	$\text{HNO}_2 + 7\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,86
	$\text{NO}_2^- + 5\text{H}_2\text{O}$	+ $6\bar{e}$	$\text{NH}_3_{\text{aq}} + 7\text{OH}^-$	-0,15
	$\text{N}_2\text{O}\uparrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	+1,77
	$\text{N}_2\text{O}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$	+0,94
	$2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,68
	$2\text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 4\text{OH}^-$	+0,85
	$\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{HNO}_2$	+1,07
	$\text{N}_2\text{O}_4\uparrow$	+ $2\bar{e}$	$2\text{NO}_2^-$	+0,88
	$\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 8\text{H}^+$	+ $8\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,35
	$\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $8\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 8\text{OH}^-$	+0,53
	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,94
	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,01
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{NO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	+0,80
	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $\bar{e}$	$\text{NO}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$	-0,86
	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+$	+ $3\bar{e}$	$\text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $3\bar{e}$	$\text{NO}\uparrow + 4\text{OH}^-$	-0,14
	$2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+$	+ $10\bar{e}$	$\text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,24

Продолжение табл. 20

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
N	$\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+$	+ 6 $\bar{e}$	$\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,73
	$2\text{NO}_3^- + 17\text{H}^+$	+ 14 $\bar{e}$	$\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+ + 6\text{H}_2\text{O}$	+0,84
	$\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+$	+ 8 $\bar{e}$	$\text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,87
	$\text{NO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O}$	+ 8 $\bar{e}$	$\text{NH}_3\text{aq} + 9\text{OH}^-$	-0,12
Na	$\text{Na}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Na}\downarrow$	-2,713
Nb	$\text{Nb}^{3+}$	+ 3 $\bar{e}$	$\text{Nb}\downarrow$	-1,1
	$\text{Nb}_2\text{O}_5\downarrow + 10\text{H}^+$	+ 10 $\bar{e}$	$\text{Nb}\downarrow + 5\text{H}_2\text{O}$	-0,65
	$\text{NbO}^{3+} + 2\text{H}^+$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Nb}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	-0,34
	$\text{NbO}(\text{SO}_4)_2^- + 2\text{H}^+$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Nb}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	-0,1
	$\text{NbO}(\text{SO}_4)_2^- + 2\text{H}^+$	+ 5 $\bar{e}$	$\text{Nb}\downarrow + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	-0,63
Ni	$\text{Ni}^{2+}$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow$	-0,228
	$\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$	+ $\bar{e}$	$\text{Ni}(\text{CN})_3^{2-} + \text{CN}^-$	-0,4
	$\text{NiCO}_3\downarrow$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow + \text{CO}_3^{2-}$	-0,45
	$\text{Ni}(\text{OH})_2\downarrow$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow + 2\text{OH}^-$	-0,72
	$\text{Ni}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow + 6\text{NH}_3$	-0,49
	$\text{NiO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,68
	$\text{NiO}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,49
	$\text{NiO}_4^{2-} + 8\text{H}^+$	+ 4 $\bar{e}$	$\text{Ni}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,8
	$\text{NiS}\downarrow \alpha$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-0,86
	$\text{NiS}\downarrow \gamma$	+ 2 $\bar{e}$	$\text{Ni}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-1,07
O	$\text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$	+ 4 $\bar{e}$	$2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
	$\text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+ (10^{-7} \text{ M})$	+ 4 $\bar{e}$	$2\text{H}_2\text{O}$	+0,815

Элемент	Высшая степень окисления	+ nē	Нижшая степень окисления	E <sup>0</sup> , В
O	O <sub>2</sub> ↑ + 2H <sub>2</sub> O	+ 4ē	4OH <sup>-</sup>	+0,401
	O <sub>2</sub> ↑ + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	+0,682
	O <sub>2</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	HO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + OH <sup>-</sup>	-0,076
	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	2H <sub>2</sub> O	+1,77
	HO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	3OH <sup>-</sup>	+0,88
	O <sub>3</sub> ↑ + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	O <sub>2</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O	+2,07
	O <sub>3</sub> ↑ + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	O <sub>2</sub> ↑ + 2OH <sup>-</sup>	+0,02
Os	Os <sup>2+</sup>	+ 2ē	Os↓	+0,85
	OsCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	+ ē	OsCl <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	+0,85
	OsCl <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	+ 3ē	Os↓ + 6Cl <sup>-</sup>	+0,71
	OsCl <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	+ ē	Os <sup>2+</sup> + 6Cl <sup>-</sup>	+0,4
	OsO <sub>4</sub> ↓ + 6Cl <sup>-</sup> + 8H <sup>+</sup>	+ 4ē	OsCl <sub>6</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+1,0
	OsO <sub>4</sub> ↓ + 8H <sup>+</sup>	+ 8ē	Os↓ + 4H <sub>2</sub> O	+0,85
P	P↓ + 3H <sup>+</sup>	+ 3ē	PH <sub>3</sub> ↑	+0,06
	P↓ + 3H <sub>2</sub> O	+ 3ē	PH <sub>3</sub> ↑ + 3OH <sup>-</sup>	-0,89
	H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> + H <sup>+</sup>	+ ē	P↓ + 2H <sub>2</sub> O	-0,51
	H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+ ē	P↓ + 2OH <sup>-</sup>	-2,05
	H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> + 3H <sup>+</sup>	+ 3ē	P↓ + 3H <sub>2</sub> O	-0,50
	H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub> + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> O	-0,50
	HPO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 2ē	H <sub>2</sub> PO <sub>2</sub> <sup>-</sup> + 3OH <sup>-</sup>	-1,57
	H <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>6</sub> + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	2H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	+0,38
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + 5H <sup>+</sup>	+ 5ē	P↓ + 4H <sub>2</sub> O	-0,41
	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> + 4H <sup>+</sup>	+ 4ē	H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub> + 2H <sub>2</sub> O	-0,39



Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0$ , В
P	$2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,94
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-0,276
	$\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$	-1,12
Pb	$\text{Pb}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow$	-0,126
	$\text{Pb}^{4+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}^{2+}$	+1,66
	$\text{Pb}^{4+}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow$	+0,77
	$\text{PbBr}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 2\text{Br}^-$	-0,274
	$\text{PbCO}_3\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + \text{CO}_3^{2-}$	-0,506
	$\text{PbCl}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 2\text{Cl}^-$	-0,266
	$\text{PbF}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 2\text{F}^-$	-0,350
	$\text{PbI}_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 2\text{I}^-$	-0,364
	$\text{PbO}\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+0,25
	$\text{PbO}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 2\text{OH}^-$	-0,58
	$\text{HPbO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + 3\text{OH}^-$	-0,54
	$\text{PbO}_2\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{PbO}\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,28
	$\text{PbO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,455
	$\text{PbO}_2\downarrow + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{PbSO}_4\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,69
	$\text{PbO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{PbO}_2^{2-} + 2\text{OH}^-$	+0,2
	$\text{Pb}_3\text{O}_4\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$3\text{PbO}\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,25
	$\text{PbS}\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + \text{S}^{2-}$	-0,91
	$\text{PbSO}_4\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pb}\downarrow + \text{SO}_4^{2-}$	-0,355
Pd	$\text{Pd}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pd}\downarrow$	+0,915
	$\text{PdCl}_4^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pd}\downarrow + 4\text{Cl}^-$	+0,623

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Нижшая степень окисления	$E^0, В$
Pd	$\text{PdCl}_6^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{PdCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$	+1,29
	$\text{PdCl}_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Pd}\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+0,96
	$\text{Pd}(\text{OH})_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pd}\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,07
	$\text{Pd}(\text{OH})_4\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pd}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,73
Pt	$\text{Pt}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pt}\downarrow$	+1,2
	$\text{PtCl}_4^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pt}\downarrow + 4\text{Cl}^-$	+0,73
	$\text{PtCl}_6^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{PtCl}_4^{2-} + 2\text{Cl}^-$	+0,720
	$\text{Pt}(\text{OH})_2\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pt}\downarrow + 2\text{OH}^-$	+0,15
	$\text{Pt}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pt}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,98
Pu	$\text{Pu}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Pu}\downarrow$	-2,03
	$\text{Pu}^{4+}$	+ $\bar{e}$	$\text{Pu}^{3+}$	+0,970
	$\text{PuO}_2^{2+}$	+ $\bar{e}$	$\text{PuO}_2^+$	+0,916
	$\text{PuO}_2^{2+} + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Pu}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,04
	$\text{Pu}(\text{OH})_3\downarrow$	+ $3\bar{e}$	$\text{Pu}\downarrow + 3\text{OH}^-$	-2,42
	$\text{Pu}(\text{OH})_4\downarrow$	+ $\bar{e}$	$\text{Pu}(\text{OH})_3\downarrow + \text{OH}^-$	-0,95
Ra	$\text{Ra}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Ra}\downarrow$	-2,92
Rb	$\text{Rb}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Rb}\downarrow$	-2,924
Re	$\text{Re}\downarrow$	+ $\bar{e}$	$\text{Re}^-$	-0,136
	$\text{Re}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{Re}^-$	-0,23
	$\text{Re}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow$	-0,18
	$\text{Re}^{3+}$	+ $\bar{e}$	$\text{Re}^{2+}$	-0,23
	$\text{Re}^{2+}$	+ $\bar{e}$	$\text{Re}^+$	+0,02
	$\text{Re}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow$	-0,324

Продолжение таблицы 20

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, В$
Re	$\text{ReO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,26
	$\text{ReO}_3\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{ReO}_2\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+0,4
	$\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+$	+ $7\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,37
	$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}^+$	+ $3\bar{e}$	$\text{ReO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,51
	$\text{ReO}_4^- + 2\text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{ReO}_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$	+0,77
	$\text{ReO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $7\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow + 8\text{OH}^-$	-0,584
	$\text{ReO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $3\bar{e}$	$\text{ReO}_2 + 4\text{OH}^-$	-0,595
	$\text{ReO}_4^- + 8\text{H}^+ + 6\text{Cl}^-$	+ $3\bar{e}$	$\text{ReCl}_6^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,19
	$\text{ReCl}_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Re}\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+0,50
Rh	$\text{Rh}^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Rh}\downarrow$	$\approx +0,8$
	$\text{RhCl}_6^{3-}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Rh}\downarrow + 6\text{Cl}^-$	+0,44
	$\text{Rh}_2\text{O}_3\downarrow + 6\text{H}^+$	+ $6\bar{e}$	$2\text{Rh}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,87
	$\text{RhO}_2\downarrow + 4\text{H}^+ + 6\text{Cl}^-$	+ $\bar{e}$	$\text{RhCl}_6^{3-} + 2\text{H}_2\text{O}$	$> +1,4$
	$\text{RhO}^{2+} + 2\text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{Rh}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	+1,40
	$\text{RhO}_4^{2-} + 6\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{RhO}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,46
Ru	$\text{RuCl}_3$	+ $3\bar{e}$	$\text{Ru}\downarrow + 3\text{Cl}^-$	+0,68
	$\text{RuCl}_5^-$	+ $2\bar{e}$	$\text{Ru}^{2+} + 5\text{Cl}^-$	+0,3
	$\text{RuCl}_5\text{OH}^{2-} + \text{H}^+$	+ $\bar{e}$	$\text{RuCl}_5^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	+1,3
	$\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{3+}$	+ $\bar{e}$	$\text{Ru}(\text{NH}_3)_6^{2+}$	+0,214
	$\text{RuO}_4^-$	+ $\bar{e}$	$\text{RuO}_4^{2-}$	+0,595
	$\text{RuO}_4\downarrow$	+ $\bar{e}$	$\text{RuO}_4^-$	+0,99
S	$\text{S}\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$\text{S}^{2-}$	-0,476
	$\text{S}\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\text{S}\uparrow$	+0,171

Элемент	Высшая степень окисления	+ nē	Низшая степень окисления	E <sup>0</sup> , В
S	5S↓	+ 2ē	S <sub>5</sub> <sup>2-</sup>	-0,34
	(SCN) <sub>2</sub> ↑	+ 2ē	2SCN <sup>-</sup>	+0,77
	S <sub>4</sub> O <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	+ 2ē	2S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	+0,09
	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 6H <sup>+</sup>	+ 4ē	2S↓ + 3H <sub>2</sub> O	+0,5
	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 4H <sup>+</sup>	+ 4ē	S↓ + 3H <sub>2</sub> O	+0,45
	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O	+ 4ē	S↓ + 6OH <sup>-</sup>	-0,66
	2H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + 2H <sup>+</sup>	+ 4ē	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O	+0,40
	2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 3H <sub>2</sub> O	+ 4ē	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 6OH <sup>-</sup>	-0,58
	2H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + H <sup>+</sup>	+ 2ē	HS <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	-0,08
	2SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 2ē	S <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4OH <sup>-</sup>	-1,12
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sup>+</sup>	+ 2ē	H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	+0,17
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O	+ 2ē	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	-0,93
	2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 10H <sup>+</sup>	+ 8ē	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 5H <sub>2</sub> O	+0,29
	2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 5H <sub>2</sub> O	+ 8ē	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 10OH <sup>-</sup>	-0,76
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 8H <sup>+</sup>	+ 6ē	S↓ + 4H <sub>2</sub> O	+0,36
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+ 6ē	S↓ + 8OH <sup>-</sup>	-0,75
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 10H <sup>+</sup>	+ 8ē	H <sub>2</sub> S↓ + 4H <sub>2</sub> O	+0,31
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+ 8ē	S <sup>2-</sup> + 8OH <sup>-</sup>	-0,68
S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> <sup>2-</sup>	+ 2ē	2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+2,01	
Sb	Sb <sup>3+</sup>	+ 3ē	Sb↓	+0,20
	Sb↓ + 3H <sup>+</sup>	+ 3ē	SbH <sub>3</sub> ↑	-0,51
	SbO <sup>+</sup> + 2H <sup>+</sup>	+ 3ē	Sb↓ + H <sub>2</sub> O	+0,212
	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ↓ + 6H <sup>+</sup>	+ 6ē	2Sb↓ + 3H <sub>2</sub> O	+0,152

Продолжение табл. 20

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0$ , В
Sb	$\text{SbO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Sb}\downarrow + 4\text{OH}^-$	-0,675
	$\text{Sb}_2\text{O}_4\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$2\text{SbO}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,68
	$\text{Sb}_2\text{O}_5\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Sb}_2\text{O}_3\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,69
	$\text{SbO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{SbO}_2^- + 2\text{OH}^-$	-0,43
	$\text{Sb}_2\text{O}_5\downarrow + 6\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$2\text{SbO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,58
Sc	$\text{Sc}^{2+}$	+ $3\bar{e}$	$\text{Sc}\downarrow$	-2,08
Se	$\text{Se}\downarrow + 2\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\text{Se}\uparrow$	-0,40
	$\text{H}_2\text{SeO}_3 + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Se}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,744
	$\text{SeO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Se}\downarrow + 6\text{OH}^-$	-0,366
	$\text{SeO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$	+ $2\bar{e}$	$\text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+1,15
	$\text{SeO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{SeO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	+0,05
Si	$\text{Si}\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{SiH}_4\uparrow$	+0,10
	$\text{Si}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{SiH}_4\uparrow + 4\text{OH}^-$	-0,73
	$\text{SiF}_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Si}\downarrow + 6\text{F}^-$	-1,2
	$\text{SiO}_2\downarrow + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Si}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,86
	$\text{H}_2\text{SiO}_3 \text{ aq} + 4\text{H}^+$	+ $4\bar{e}$	$\text{Si}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,79
	$\text{SiO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+ $4\bar{e}$	$\text{Si}\downarrow + 6\text{OH}^-$	-1,7
Sn	$\text{Sn}^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Sn}\downarrow$	-0,140
	$\text{Sn}^{4+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Sn}^{2+}$	+0,15
	$\text{Sn}^{4+}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Sn}\downarrow$	+0,01
	$\text{SnCl}_4^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Sn}\downarrow + 4\text{Cl}^-$	-0,19
	$\text{HSnO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+ $2\bar{e}$	$\text{Sn}\downarrow + 3\text{OH}^-$	-0,91
	$\text{Sn}(\text{OH})_6^{2-}$	+ $2\bar{e}$	$\text{HSnO}_2^- + 3\text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$	-0,93

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0, B$
Sr	$Sr^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Sr\downarrow$	-2,89
Ta	$Ta_2O_5 + 10H^+$	+ $10\bar{e}^-$	$2Ta\downarrow + 5H_2O$	-0,81
Te	$Te\downarrow + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$H_2Te\uparrow$	-0,51
	$Te\downarrow$	+ $2\bar{e}$	$Te^{2-}$	-0,95
	$TeCl_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$Te\downarrow + 6Cl^-$	+0,65
	$TeO_2 + 4H^+$	+ $4\bar{e}$	$Te\downarrow + 2H_2O$	+0,53
	$HTeO_2^+ + 3H^+$	+ $4\bar{e}$	$Te\downarrow + 2H_2O$	+0,56
	$TeO_3^{2-} + 3H_2O$	+ $4\bar{e}$	$Te\downarrow + 6OH^-$	-0,57
	$H_6TeO_6\downarrow + 2H^+$	+ $2\bar{e}$	$TeO_2 + 4H_2O$	+1,02
	$TeO_4^{2-} + H_2O$	+ $2\bar{e}$	$TeO_3^{2-} + 2OH^-$	+0,4
Th	$Th^{4+}$	+ $\bar{e}$	$Th^{3+}$	-2,4
	$Th^{4+}$	+ $4\bar{e}$	$Th\downarrow$	-1,90
	$Th^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$Th\downarrow$	-1,73
	$Th(OH)_4\downarrow$	+ $4\bar{e}$	$Th\downarrow + 4OH^-$	-2,48
Ti	$Ti^{4+}$	+ $\bar{e}$	$Ti^{3+}$	+0,092
	$Ti^{3+}$	+ $\bar{e}$	$Ti^{2+}$	-0,37
	$Ti^{2+}$	+ $2\bar{e}$	$Ti\downarrow$	-1,63
	$Ti^{4+}$	+ $4\bar{e}$	$Ti\downarrow$	-0,88
	$TiF_6^{2-}$	+ $4\bar{e}$	$Ti + 6F^-$	-1,19
	$TiO_2\downarrow + 4H^+$	+ $4\bar{e}$	$Ti\downarrow + 2H_2O$	-0,86
	$TiO^{2+} + 2H^+$	+ $4\bar{e}$	$Ti\downarrow + 2H_2O$	-0,88
Tl	$Tl^{3+}$	+ $2\bar{e}$	$Tl^+$	+1,25
	$Tl^+$	+ $\bar{e}$	$Tl\downarrow$	-0,357

Элемент	Высшая степень окисления	+ $n\bar{e}$	Низшая степень окисления	$E^0$ , В
Tl	$Tl^{3+}$	+ $3\bar{e}$	$Tl\downarrow$	+0,734
	$TlBr\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Tl\downarrow + Br^-$	-0,658
	$TlCl\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Tl\downarrow + Cl^-$	-0,546
	$TlI\downarrow$	+ $\bar{e}$	$Tl\downarrow + I^-$	-0,766
	$TlOH$	+ $\bar{e}$	$Tl\downarrow + OH^-$	-0,344
	$Tl_2O_3\downarrow + 3H_2O$	+ $4\bar{e}$	$2Tl^+ + 6OH^-$	+0,02
	U	$U^{4+}$	+ $\bar{e}$	$U^{3+}$
$U^{4+}$		+ $4\bar{e}$	$U\downarrow$	-1,50
$U(OH)_3\downarrow$		+ $3\bar{e}$	$U\downarrow + 3OH^-$	-2,17
$UO_2\downarrow + 2H_2O$		+ $4\bar{e}$	$U\downarrow + 4OH^-$	-2,39
$UO_2^+ + 4H^+$		+ $\bar{e}$	$U^{4+} + 2H_2O$	+0,60
$UO_2^{2+}$		+ $\bar{e}$	$UO_2^+$	+0,052
$UO_2^{2+}$		+ $2\bar{e}$	$UO_2\downarrow$	+0,45
$UO_2^{2+} + 4H^+$		+ $2\bar{e}$	$U^{4+} + 2H_2O$	+0,33
V	$VO^{2+}$	+ $\bar{e}$	$VO^+$	-0,044
	$VO^{2+} + 2H^+$	+ $\bar{e}$	$V^{3+} + H_2O$	+0,337
	$VO_2^+ + 4H^+$	+ $\bar{e}$	$VO^{2+} + 2H_2O$	+1,000
	$VO_2^+ + 4H^+$	+ $2\bar{e}$	$V^{3+} + 2H_2O$	+0,668
	$VO_2^+ + 4H^+$	+ $3\bar{e}$	$V^{2+} + 2H_2O$	+0,360
	$VO_2^+ + 4H^+$	+ $5\bar{e}$	$V\downarrow + 2H_2O$	-0,25
	$VO_4^{3-} + 6H^+$	+ $2\bar{e}$	$VO^+ + 3H_2O$	+1,26
	$H_2VO_4^- + 4H^+$	+ $\bar{e}$	$VO^{2+} + 3H_2O$	+1,31

Элемент	Высшая степень окисления	+ nē	Низшая степень окисления	E <sup>0</sup> , В
W	WO <sub>2</sub> ↓ + 4H <sup>+</sup>	+ 4ē	W↓ + 2H <sub>2</sub> O	-0,12
	W(CN) <sub>8</sub> <sup>3-</sup>	+ ē	W(CN) <sub>8</sub> <sup>4-</sup>	+0,457
	W(CN) <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	+ ē	W(CN) <sub>6</sub> <sup>4-</sup>	+0,50
	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ↓ + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	2WO <sub>2</sub> ↓ + H <sub>2</sub> O	-0,04
	WO <sub>3</sub> ↓ + 6H <sup>+</sup>	+ 6ē	W↓ + 3H <sub>2</sub> O	-0,09
	2WO <sub>3</sub> ↓ + 2H <sup>+</sup>	+ 2ē	W <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ↓ + H <sub>2</sub> O	-0,03
	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 8H <sup>+</sup>	+ 6ē	W↓ + 4H <sub>2</sub> O	+0,05
	WO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	+ 6ē	W↓ + 8OH <sup>-</sup>	-1,05
Y	Y <sup>3+</sup>	+ 3ē	Y↓	-2,37
Zn	Zn <sup>2+</sup>	+ 2ē	Zn↓	-0,764
	Zn(CN) <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+ 2ē	Zn↓ + 4CN <sup>-</sup>	-1,26
	Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	+ 2ē	Zn↓ + 4NH <sub>3</sub>	-1,04
	Zn(OH) <sub>2</sub> ↓	+ 2ē	Zn↓ + 2OH <sup>-</sup>	-1,245
	ZnO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	+ 2ē	Zn↓ + 4OH <sup>-</sup>	-1,216
	ZnS↓ (вурцит)	+ 2ē	Zn↓ + S <sup>2-</sup>	-1,40
Zr	ZrO <sup>2+</sup> + 4H <sup>+</sup>	+ 4ē	Zr↓ + H <sub>2</sub> O	-1,57
	ZrO <sub>2</sub> ↓ + 4H <sup>+</sup>	+ 4ē	Zr↓ + 2H <sub>2</sub> O	-1,43
	H <sub>2</sub> ZrO <sub>3</sub> ↓ + H <sub>2</sub> O	+ 4ē	Zr↓ + 4OH <sup>-</sup>	-2,36



Таблица 21

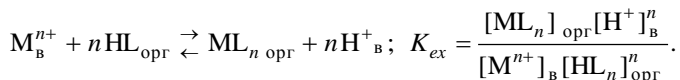
## Окислительно-восстановительные индикаторы

Название индикатора	$E^0, В$	Окраска	
		<i>Ох формы</i>	<i>Red формы</i>
<b>Индикаторы, мало зависящие от рН и ионной силы раствора</b>			
Вариаминовый синий	+0,71	Фиолетовая	Бесцветная
Дифениламин	+0,76	Фиолетовая	Бесцветная
Дифениламинсульфоновая кислота	+0,85	Красно-фиолетовая	Бесцветная
N-Фенилантраниловая кислота (2-дифениламинкарбоновая)	+1,08	Фиолетово-красная	Бесцветная
Ферроин ( <i>o</i> -фенантролин, комплекс с $Fe^{2+}$ )	+1,06	Бледно-голубая	Красная
Нитроферроин (нитро- <i>o</i> -фенантролин, комплекс с $Fe^{2+}$ )	+1,25	Бледно-голубая	Красная

<b>Индикаторы, чувствительные к изменению рН и ионной силы раствора</b>				
Название индикатора	$E^0, В$ при $pH =$		Окраска	
	0,0	7,0	<i>Ох формы</i>	<i>Red формы</i>
Сафранин-Т	+0,235	-0,289	Красная	Бесцветная
Нейтральный красный	+0,240	-0,325	Красная	Бесцветная
Индиго-5-моносульфоновая кислота	+0,262	-0,157	Синяя	Бесцветная
Индиго-5,5',7,7'-тетрасульфоновая кислота	+0,365	-0,046	Синяя	Бесцветная
Метиленовая синяя	+0,532	+0,011	Зеленова-то-голубая	Бесцветная
2,6-Дихлорфенолиндофенол	+0,64	+0,217	Синяя	Бесцветная
2,6-Дибромбензолиндофенол	+0,668	+0,216	Синяя	Бесцветная

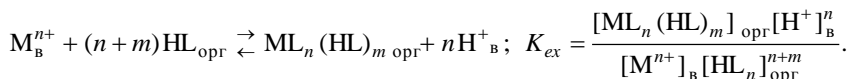
## ЭКСТРАКЦИЯ ХЕЛАТОВ

Процесс экстракции ионов металлов в виде незаряженных хелатов характеризуется константой экстракции  $K_{ex}$  и в большинстве случаев имеет вид:

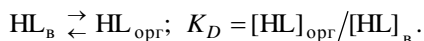
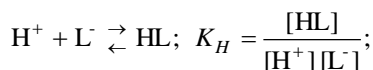


В качестве хелатообразующих реагентов используются  $\beta$ -дикетоны, дитизон, купферон, 8-оксихинолин, диэтилдитиокарбамат натрия и их производные.

В случаях образования незаряженных хелатов, содержащих в своем составе координационно связанные молекулы воды, последние в ходе экстракции могут замещаться на молекулы экстрагента, тогда процесс извлечения иона металла записывается в несколько другом виде:

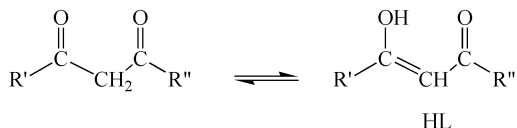


В таблицах приведены значения констант экстракции и  $pH$  полуэкстракции ( $pH_{1/2}$ ) хелатов. Значение  $pH_{1/2}$  – это такое значение  $pH$ , при котором коэффициент распределения металла равен единице. Значение  $pH_{1/2}$  (в отличие от константы экстракции) зависит от концентрации экстрагента в органической фазе, поэтому эта концентрация приводится. Кроме того, в таблицы включены константы протонирования  $K_H$  в воде и константы распределения между водой и разбавителем  $K_D$  хелатообразующих реагентов:



### 1. $\beta$ -дикетоны

Характерный процесс для  $\beta$ -дикетонов – кето-енольная таутомерия:



С катионами взаимодействует енольная форма реагента, при этом в органическую фазу извлекаются комплексы состава  $ML_n$ .

а) Ацетилацетон НАА ( $R' = R'' = \text{CH}_3$ ), 0,10 М раствор в бензоле\*

АА<sup>-</sup>:  $\lg K_H = 8,95$ ; НАА,  $\text{C}_6\text{H}_6/\text{H}_2\text{O}$ :  $\lg K_D = 0,77$ .

$M^{n+}$	$\lg K_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$\lg K_{ex}$	$pH_{1/2}$
$\text{Al}^{3+}$	-6,48	3,30	$\text{Mg}^{2+}$	-	9,4
$\text{Be}^{2+}$	-2,79	2,45	$\text{Pb}^{2+}$	-10,15	6,2
$\text{Cu}^{2+}$	-3,93	2,90	$\text{Sc}^{3+}$	-5,83	2,95
$\text{Fe}^{3+}$	-1,39	1,60	$\text{Sn}^{2+}$	-	5,0
$\text{Ga}^{3+}$	-5,51	2,90	$\text{Th}^{4+}$	-12,16	4,10
$\text{Hf}^{4+}$	-	4,0	$\text{Tl}^{3+}$	-	1,3
$\text{In}^{3+}$	-7,20	3,95	$\text{U}^{4+}$	-5,2	2,7

\* –  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$  не экстрагируются.

б) Бензоилацетон НВА ( $R' = \text{Ph}$ ,  $R'' = \text{CH}_3$ ), 0,10 М раствор в бензоле

ВА<sup>-</sup>:  $\lg K_H = 9,80$ ; НВА,  $\text{C}_6\text{H}_6/\text{H}_2\text{O}$ :  $\lg K_D = 3,14$ .

$M^{n+}$	$\lg K_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$\lg K_{ex}$	$pH_{1/2}$
$\text{Ag}^+$	-7,81	8,9	$\text{Mg}^{2+}$	-16,65	9,38
$\text{Al}^{3+}$	-7,60	3,60	$\text{Mn}^{2+}$	-14,63	8,30
$\text{Be}^{2+}$	-3,88	2,94	$\text{Ni}^{2+}$	-12,12	6,9
$\text{Bi}^{3+}$	-	9,2	$\text{Pb}^{2+}$	-9,61	5,6
$\text{Ca}^{2+}$	-18,28	10,1	$\text{Sc}^{3+}$	-5,99	3,10
$\text{Cd}^{2+}$	-14,11	8,1	$\text{Sn}^{2+}$	-	5,0
$\text{Co}^{2+}$	-11,11	6,60	$\text{Sr}^{2+}$	-20,0	11,5
$\text{Cu}^{2+}$	-4,17	3,00	$\text{Th}^{4+}$	-7,68	2,9
$\text{Eu}^{3+}$	-18,9	7,3	$\text{Ti}^{4+}$	-	2,4
$\text{Fe}^{3+}$	-0,50	1,20	$\text{Tl}^{3+}$	-	4,0
$\text{Ga}^{3+}$	-6,34	3,10	$\text{UO}_2^{2+}$ *	-4,68	3,82
$\text{Hg}^{2+}$	-	3,7	$\text{Y}^{3+}$	-16,95	6,86
$\text{In}^{3+}$	-9,30	4,10	$\text{Zn}^{2+}$	-10,79	6,50
$\text{La}^{3+}$	-20,46	7,96	$\text{Zr}^{4+}$	-	3,4

\* – Образуется комплекс  $\text{UO}_2(\text{BA})_2$  (НВА).

в) Дибензоилметан НВМ (R' = R'' = Ph), 0,10 М раствор в бензоле

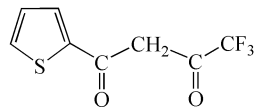
ВМГ:  $lgK_H = 9,35$ ; НВМ,  $C_6H_6/H_2O$ :  $lgK_D = 5,35$ .

$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$
$Ag^+$	-8,58	9,9	$Fe^{3+}$	-1,93	1,70	$Sc^{3+}$	-6,04	3,05
$Al^{3+}$	-8,92	4,00	$Ga^{3+}$	-5,76	2,90	$Sr^{2+}$	-20,9	11,1
$Ba^{2+}$	-	12,0	$Hg^{2+}$	-	3,9	$Th^{4+}$	-6,38	2,60
$Be^{2+}$	-3,46	2,73	$In^{3+}$	-7,61	3,60	$Ti^{4+}$	-	2,5
$Bi^{3+}$	-	10,5	$La^{3+}$	-19,46	7,42	$Tl^{3+}$	-	3,8
$Ca^{2+}$	-18,0	9,9	$Mg^{2+}$	-14,72	8,50	$UO_2^{2+}$ *	-4,12	3,56
$Cd^{2+}$	-13,98	8,0	$Mn^{2+}$	-13,71	7,80	$Zn^{2+}$	-	6,4
$Co^{2+}$	-10,78	6,40	$Ni^{2+}$	-11,02	6,4	$Zr^{4+}$	-	3,3
$Cu^{2+}$	-3,80	2,90	$Pb^{2+}$	-9,45	5,6			

\* – Образуется комплекс  $UO_2(BM)_2$  (НВМ).

г) Теноилтрифторацетон (НТТА), 0,20 М раствор в бензоле

ТТА<sup>-</sup>:  $lgK_H = 6,23$ ; НТТА,  $C_6H_6/H_2O$   $lgK_D = 1,6$ .



$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$
$Al^{3+}$	-5,23	2,48	$Fe^{3+}$	-3,3	0,24	$Th^{4+}$	-0,8	0,48
$Ba^{2+}$	-14,4	8,0	$Ga^{3+}$	-7,57	3,26	$Tl^+$	-5,2	5,9
$Be^{2+}$	-3,2	2,33	$Hf^{4+}$	-7,8	1,5	$Tl^{3+}$	-	2,78
$Bi^{3+}$	-	1,8	$In^{3+}$	-4,34	2,20	$UO_2^{2+}$	-2,26	1,79
$Ca^{2+}$	-12,0	6,7	$Mn^{2+}$	-1	-	$VO_2^+$	-	3,3
$Cd^{2+}$	-11,4	6,7	$Ni^{2+}$	-	5	$Y^{3+}$	-7,39	3,2
$Ce^{3+}$	-9,43	3,88	$Pb^{2+}$	-5,2	3,34	$Zn^{2+}$ *	-5,69	3,85
$Co^{2+}$	-6,7	4,1	$Sc^{3+}$	-0,77	0,99	$Zr^{4+}$	-9,15	1,5
$Cu^{2+}$	-1,23	1,38	$Sr^{2+}$	-14,1	7,8			

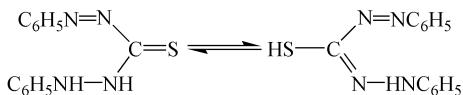
\* – Раствор НТТА в метилизобутилкетоне, для растворов НТТА в хлороформе или четыреххлористом углеводе  $lgK_{ex} = -8,1$ .

**2. Дифенилтиокарбазон (дитизон, H<sub>2</sub>Dz), (1-5)·10<sup>-4</sup> М растворы в четыреххлористом углероде или хлороформе**

HDz<sup>-</sup>:  $lgK_H = 4,45$ ;

H<sub>2</sub>Dz, CCl<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O:  $lgK_D = 4,0$ ;

H<sub>2</sub>Dz, CHCl<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O:  $lgK_D = 5,7$ .



**Константы экстракции металлов в виде первичных дитизонатов M(HDz)<sub>n</sub> в четыреххлористом углероде**

M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>	M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>	M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>
Ag <sup>+</sup>	7,18	Cu <sup>2+*</sup>	10,53	Ni <sup>2+</sup>	-1,18
Bi <sup>3+</sup>	9,98	Ga <sup>3+</sup>	1,3	Pb <sup>2+</sup>	0,44
Cd <sup>2+</sup>	2,14	Hg <sup>2+*</sup>	26,85	Sn <sup>2+</sup>	-2,0
Co <sup>2+</sup>	1,53	In <sup>3+</sup>	4,84	Zn <sup>2+</sup>	2,0

\* – При pH > 4 образуются вторичные дитизонаты состава MDz.

**Константы экстракции металлов в виде первичных дитизонатов M(HDz)<sub>n</sub> в хлороформе**

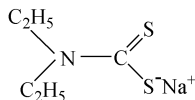
M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>	M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>	M <sup>n+</sup>	lgK <sub>ex</sub>
Ag <sup>+</sup>	6,0	Cu <sup>2+*</sup>	6,50	Pb <sup>2+</sup>	-0,9
Cd <sup>2+</sup>	0,53	Ni <sup>2+</sup>	-2,92	Zn <sup>2+</sup>	0,64
Co <sup>2+</sup>	-1,49				

\* – При pH > 7 образуются вторичные дитизонаты состава MDz.

**3. Диэтилдитиокарбамат натрия (Na-ДДТК), 0,010–0,10 М водный раствор, экстракция в четыреххлористый углерод**

ДДТК<sup>-</sup>:  $lgK_H = 3,8$ ;

НДДТК, CCl<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O:  $lgK_D = 2,38$ .



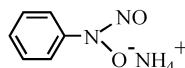
**Константы экстракции ионов металлов в виде  
диэтилдитиокарбаматов  $M(\text{ДТК})_n$  в четыреххлористом углероде**

$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$
$Ag^+$	11,9	$Hg^{2+}$	31,94	$Pd^{2+}$	> 32
$Cd^{2+}$	5,41	$In^{3+}$	10,34	$Tl^+$	-0,53
$Co^{2+}$	2,33	$Mn^{2+}$	-4,42	$Zn^{2+}$	2,96
$Cu^{2+}$	13,70	$Ni^{2+}$	11,58		
$Fe^{2+}$	1,20	$Pb^{2+}$	7,77		

**4. Купферон ( $NH_4$ -Cup), 0,050 М водный раствор, экстракция в хлороформ, ионы металлов извлекаются в виде купферонатов  $M(\text{Cup})_n$**

$Cup^-$ :  $lgK_H = 4,16$ ;

$NHCup$ ,  $CHCl_3/H_2O$ :  $lgK_D = 2,18$ .



$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$
$Al^{3+}$	-3,50	2,51	$Hf^{4+}$	-	0
$Be^{2+}$	-1,54	2,07	$In^{3+}$	2,42	0,50
$Bi^{3+}$	5,07	-0,4	$La^{3+}$	-6,22	3,4
$Co^{2+}$	-3,56	3,1	$Pb^{2+}$	-1,53	2,06
$Cu^{2+}$	2,66	0,03	$Sc^{3+}$	3,32	0,2
$Fe^{3+}$	9,8	-	$Sr^{2+}$	-19,71	12,06
$Ga^{3+}$	4,92	-0,3	$Th^{4+}$	4,4	0,25
$Hg^{2+}$	0,91	0,85	$Zn^{2+}$		7,4

**5. 8-Меркаптохинолин (тиооксин, НТох), раствор в хлороформе, ионы металлов извлекаются в виде тиооксихинолинов  $M(\text{Тох})_n$**

$Тох^-$ :  $lgK_{1H} = 7,01$ ;  $lgK_{2H} = 3,50$ ;

$НТох$ ,  $CHCl_3/H_2O$ :  $lgK_D = 2,57$ .



**Константы экстракции ионов металлов в виде меркаптооксиминолатов  $M(Ox)_n$  в хлороформе**

$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$
$Bi^{3+}$	12,7	$Hg^{2+}$	25,6	$Pb^{2+}$	-0,5
$Co^{2+}$	1,9	$In^{3+}$	7,8	$Tl^+$	-4,5
$Cu^{2+}$	10,7	$Mn^{2+}$	-5,6	$Zn^{2+}$	3,8
$Fe^{3+}$	6,7				

**6. 8-Оксиминолин (НОх), 0,10 М раствор в хлороформе**

$Ox^-$ :  $lgK_{1H} = 9,81$ ;  $lgK_{2H} = 4,91$ ;

НОх,  $CHCl_3/H_2O$ :  $lgK_D = 2,6$ .



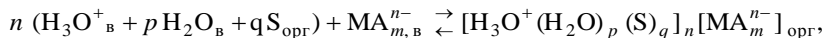
$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$	$M^{n+}$	$lgK_{ex}$	$pH_{1/2}$
$Ag^+ *$	-4,51	6,51	$Mg^{2+}$	-15,13	9,61
$Al^{3+}$	-5,22	2,87	$Mn^{2+}$	-	5,66
$Ba^{2+} **$	-20,9	-	$Ni^{2+}$	-2,18	2,38
$Be^{2+}$	-9,62	5,81	$Pb^{2+}$	-8,04	5,04
$Bi^{3+}$	-1,2	2,13	$Sc^{3+} *$	-6,64	3,57
$Ca^{2+} *$	-17,89	10,38	$Sr^{2+} **$	-19,71	12,06
$Cd^{2+} **$	-5,29	4,65	$Th^{4+}$	-7,18	2,91
$Co^{2+} **$	-2,16	3,21	$Ti^{4+}$	-	1,45
$Cu^{2+}$	1,77	1,51	$Tl^+$	-	11
$Fe^{3+}$	4,11	1,00	$Tl^{3+}$	5,0	2,05
$Ga^{3+}$	3,72	1,07	$UO_2^{2+} *$	-1,60	2,60
$Hg^{2+}$	-3,0	-	$VO_2^+$	1,67	0,88
$Hf^{4+}$	-	1,3	$Y^{3+}$	-	6,0
$In^{3+}$	0,89	1,54	$Zn^{2+} **$	-2,41	3,30
$La^{3+}$	-16,37	6,46	$Zr^{4+}$	-	1,01

\* – Образуются комплексы  $M(Ox)_n$  (НОх).

\*\* – Образуются комплексы  $M(Ox)_n$  (НОх)<sub>2</sub>.

## ЭКСТРАКЦИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТАЛЛОКИСЛОТ

Нейтральные экстрагенты, обладающие достаточно выраженным средством к протону, извлекают из кислых сред в органическую фазу металлосодержащие кислоты ( $H_nMA_m$ ) в виде ионных ассоциатов:



где  $S$  – экстрагент,  $p, q$  – гидратное и сольватное числа,  $n = 1, 2$ .

**Коэффициенты распределения ионов металлов  $D_M$  в системе водный раствор бромистоводородной кислоты – диэтиловый эфир  $C_2H_5OC_2H_5$**

Катион	<i>lgD<sub>M</sub> при концентрации HBr в водной фазе, равной</i>		
	$C_{HBr} = 1,0 \text{ M}$	$C_{HBr} = 3,0 \text{ M}$	$C_{HBr} = 5,0 \text{ M}$
Ag <sup>+</sup>	-1,5	–	–
Au <sup>3+</sup>	2,3	3,8	–
Cd <sup>2+</sup>	-2,5	–	–
Cu <sup>2+</sup>	-2,2	-1,8	-1,5
Fe <sup>3+</sup>	–	-0,3	1,5
Hg <sup>2+</sup>	-1,4	-1,6	-2,0
Zn <sup>2+</sup>	-1,8	-1,5	-1,5

**Коэффициенты распределения ионов металлов  $D_M$  в системе водный раствор соляной кислоты – метилизобутилкетон  $CH_3C(O)C_4H_9$**

Катион	<i>lgD<sub>M</sub> при концентрации HCl в водной фазе, равной</i>			
	$C_{HCl} = 1,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 2,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 4,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 6,0 \text{ M}$
Au <sup>3+</sup>	2,2	2,0	1,8	1,8
Ca <sup>2+</sup>	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
Cd <sup>2+</sup>	-2,1	-1,7	-1,2	-0,8
Cu <sup>2+</sup>	-4,5	-2,8	-2,0	-1,5
Fe <sup>3+</sup>	-0,8	0,2	0,5	0,5
Mn <sup>2+</sup>	-4,7	-4,0	-3,0	-2,2
Zn <sup>2+</sup>	-1,9	-1,2	-1,0	-1,0



**Коэффициенты распределения ионов металлов  $D_M$  в системе водный раствор соляной кислоты – трибутилфосфат  $(C_4H_9)_3P=O$**

<i>Катион</i>	<i><math>lgD_M</math> при концентрации HCl в водной фазе, равной</i>			
	$C_{HCl} = 1,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 2,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 4,0 \text{ M}$	$C_{HCl} = 6,0 \text{ M}$
$Ag^+$	1,1	0,9	0,5	-0,4
$Al^{3+}$	-2,5	-2,9	-3,0	-2,7
$Au^{3+}$	3,9	4,0	4,1	4,2
$Bi^{3+}$	1,2	0,9	0,1	-0,5
$Ca^{2+}$	-3,2	-3,0	-2,2	-2,1
$Cd^{2+}$	0,1	0,8	1,2	1,1
$Cu^{2+}$	-2,1	-1,6	-0,5	-0,2
$Fe^{3+}$	1,4	2,4	3,7	3,9
$Ga^{3+}$	0,1	0,7	2,8	3,1
$Hg^{2+}$	1,8	1,9	1,8	1,5
$Mg^{2+}$	-2,2	-2,8	-2,5	-2,1
$Mn^{2+}$	-2,9	-2,5	-2,0	-1,7
$Pb^{2+}$	-0,7	-0,3	-0,4	-1,0
$Tl^{3+}$	3,6	3,9	4,0	4,0
$Zn^{2+}$	0,7	1,0	1,3	1,0

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Из независимых результатов эксперимента рассчитываются следующие основные характеристики.

1. Среднее значение случайной величины из  $n$  равнозначных результатов (оценка математического ожидания, среднее арифметическое, выборочное среднее):

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n.$$

Среднее значение случайной величины для неравнозначных (полученных разными методами) результатов:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i w_i / \sum_{i=1}^n w_i ;$$

где  $w_i$  – статистический вес  $i$  результата,  $w_i = 1/\sigma_i^2$ .

2. Выборочная дисперсия (оценка дисперсии):

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1).$$

3. Стандартное отклонение единичного измерения (среднеквадратичное отклонение):

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}.$$

Данная величина характеризует воспроизводимость результатов от опыта к опыту и зависит от выбранного метода.

4. Стандартное отклонение средней величины:

$$s_{\bar{x}} = s / \sqrt{n} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n(n-1)}.$$

5. Относительное стандартное отклонение:

$$s_r = s / \bar{x}.$$

6. Размах варьирования (размах выборки, размах):

$$R = x_{\max} - x_{\min}.$$

Если экспериментальные результаты подчиняются закону нормального распределения, то размах варьирования выборки и ее среднеквадратичное отклонение связаны между собой следующим соотношением  $c = R/s$ :

$n$	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30
$c$	1,69	2,06	2,33	2,54	2,70	2,85	2,97	3,08	3,74	4,1

### Исключение промахов

1. *Критерий 3s*. Применяется для выборок с числом опытов  $n > 10$ . Из обработки исключают результаты, для которых выполняется неравенство:

$$|x_i - \bar{x}| < 3s.$$

2. *Q-критерий*. Используют для небольших выборок. Результаты располагают в вариационный ряд в порядке возрастания. Для первого и последнего результатов рассчитывают величины:

$$Q' = (x_2 - x_1)/(x_n - x_1) \text{ и } Q'' = (x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1).$$

Значения  $Q'$  и  $Q''$  сравнивают с критической величиной  $Q(P_{\text{дов}}, n)$ . Результат  $x_1$  и/или  $x_n$  из обработки исключают, если  $Q' (Q'') > Q(P_{\text{дов}}, n)$ .

### Критические значения $Q$ в зависимости от числа определений в выборке $n$ и принятой доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$

$n \backslash P_{\text{дов}}$	3	4	5	6	7	8	9	10
0,90	0,94	0,76	0,64	0,56	0,51	0,47	0,44	0,41
0,95	0,98	0,85	0,73	0,64	0,59	0,54	0,51	0,48
0,99	0,99	0,93	0,82	0,74	0,68	0,63	0,60	0,57

### Построение доверительных интервалов

$\mu$  – среднее значение (матожидание) генеральной совокупности;

$\sigma^2$  – дисперсия генеральной совокупности.

Оценками  $\mu$  и  $\sigma^2$  являются среднее арифметическое  $\bar{x}$  и выборочная дисперсия  $s^2$ . Используя критерий Стьюдента, можно найти границы около  $\bar{x}$ , в которых с принятой доверительной вероятностью находится среднее значение генеральной совокупности  $\mu$ :

$$|\bar{x} - \mu| \leq \frac{st(P_{\text{дов}}, f)}{\sqrt{n}} = s_{\bar{x}} t(P_{\text{дов}}, f),$$

где  $f$  – число степеней свободы  $f = n - 1$ ,  $t(P_{\text{дов}}, f)$  – коэффициент Стьюдента.

### Значение коэффициента Стьюдента $t$ для расчета доверительных границ

$f \backslash P_{\text{дов}}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,95	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,37	2,31	2,26	2,23
0,99	63,6	9,93	5,84	4,60	4,03	3,71	3,50	3,36	3,25	3,17

Критерий Стьюдента используется в том случае, когда экспериментальные результаты имеют нормальное распределение или близкое к нему. Этот же критерий можно использовать для сравнения экспериментально найденного среднего с действительным (паспортным или эталонным) значением.

### Сравнение средних значений двух выборок

1. *Сравнение выборочных дисперсий.* Рассчитывают величину  $F$ :

$$F = s_1^2 / s_2^2;$$

где  $s_1$  и  $s_2$  относятся к разным выборкам ( $s_1 > s_2$ ).

Сравнивают значение  $F$  с критической величиной критерия Фишера  $F(P_{\text{дов}}, f_1, f_2)$  для принятой доверительной вероятности и числа степеней свободы в выборках  $f_1 = n_1 - 1$  и  $f_2 = n_2 - 1$ .

### Критические значения критерия Фишера $F(P_{\text{дов}} = 0,95, f_1, f_2)$

$f_1 \backslash f_2$	2	3	4	5	6	8	10	$\infty$
2	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,39	19,5
3	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,78	8,53
4	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,04	5,96	5,63
5	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,74	4,36
6	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,06	3,67
8	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,34	2,93
10	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,97	2,54
$\infty$	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,94	1,83	1,00

Если рассчитанная величина меньше табличной, то расхождение незначимо. Использование  $F$ -критерия предполагает, что закон распределения результатов эксперимента близок к нормальному.

2. *Сравнение выборочных средних.* Если выборочные дисперсии различаются незначимо, то выборочные средние значения можно сравнивать при помощи критерия Стьюдента в форме:

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \leq t(P_{\text{дов}}, f) \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}},$$

где  $t(P_{\text{дов}}, f)$  – коэффициент Стьюдента;  $f = n_1 + n_2 - 2 = f_1 + f_2$ .

Если неравенство выполняется, то между выборочными средними нет значимого различия. Использование критерия предполагает, что закон распределения результатов эксперимента близок к нормальному.

## ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫЧИСЛЕНИЙ. ЗНАЧАЩИЕ ЦИФРЫ

Результат анализа должен быть выражен числом, которое содержит **только значащие цифры**. Значащие цифры – это все достоверно известные цифры, плюс первая недостоверная.

Для оценки достоверности результатов следует учитывать реальные возможности используемого метода. В качестве статистических оценок достоверности могут служить, например, стандартное отклонение или доверительный интервал. При отсутствии конкретных данных считают, что недостоверность последней значащей цифры равна  $\pm 1$ . Есть и абсолютно достоверные числа, например, число параллельных определений, число ионов водорода или электронов, участвующих в реакции, и т. д.

Нуль, стоящий в середине или в конце числа, является значащей цифрой. При записи результата нули, которые не являются значимыми, следует исключить, а результат анализа представить в виде числа, содержащего произведение значащих цифр на  $10^n$ . Например, если число 1250 содержит три значащие цифры, то его следует представить в виде  $1,25 \cdot 10^3$ ; если четыре – то его можно записывать как  $1,250 \cdot 10^3$  или 1250.

Нули, стоящие в начале числа, не являются значащими, они показывают место запятой в десятичной дроби. Например, значение массы 0,03750 г можно представить в виде  $3,750 \cdot 10^{-2}$  г, если взвешивание про-

водили с точностью до  $\pm 0,00002$  г. Если взвешивание проводили с точностью до  $\pm 0,0002$  г, то правильное представление этого результата –  $0,0375$  г или  $3,75 \cdot 10^{-2}$  г.

Незначащие цифры исключают, округляя число. При этом, если отбрасываемая цифра меньше 5, последняя значащая цифра не изменяется. Если отбрасываемая цифра больше или равна 5, последняя значащая цифра увеличивается на единицу. Если за первой недостоверной цифрой следует цифра 5, то применяют и другое правило: округление до ближайшего четного числа. Руководствуясь этим правилом, например, числа  $377,5$  и  $378,5$  следует округлить до  $378$ .

Количество значащих цифр в числе, полученном в результате всех вычислений, определяется из сравнения недостоверности чисел. При сложении и вычитании количество знаков обусловлено числом, которое имеет наибольшую абсолютную недостоверность и наименьшее число десятичных знаков. Например, при сложении чисел  $3,7$  и  $18,42$  значимость суммы определяется недостоверностью числа  $3,7$ . Следовательно, результатом сложения будет число  $22,1$ . При сложении чисел, содержащих степени, сначала приводят показатели степеней слагаемых к одинаковому значению. Если складывают числа  $8,2 \cdot 10^{-3}$  и  $5 \cdot 10^{-4}$ , то сумму следует представить как  $8,2 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 8,7 \cdot 10^{-3}$ .

Недостоверность результата любых вычислений определяется по закону распространения погрешностей. При этом принимается, что погрешности исходных величин равны их недостоверностям, т. е.  $\pm 1$  в последней значащей цифре.

При умножении и делении количество значащих цифр обусловлено числом, имеющим наибольшую относительную недостоверность. Например, нужно разделить  $77,5$  на  $23,44$ . Относительные недостоверности делимого и делителя равны:  $0,1/77,5 = 0,0013$  и  $0,01/23,44 = 4 \cdot 10^{-4}$ . Абсолютная недостоверность частного будет равна:  $3,306 \cdot 1,7 \cdot 10^{-3} \approx 6 \cdot 10^{-3}$ , следовательно, результат деления следует записать в виде  $3,306$ .

При возведении в степень  $n$  относительная недостоверность результата увеличивается в  $n$  раз. Например,  $(2,1 \pm 0,1)^2 = 4,4 \pm 0,4$ ;  $(2,1 \pm 0,1)^3 = 9,3 \pm 1,3$ ;  $(4,2 \pm 0,1)^{1/2} = 2,05 \pm 0,02$ .

При логарифмировании величины десятичных логарифмов содержат такое же число значащих цифр (знаков после запятой), как и использованные при расчете нестепенные числа. Так, в растворе с концентрацией  $[\text{H}^+] = 5,4 \cdot 10^{-5}$  моль/л значение  $pH = 4,27$ .

В полумикроанализе (гравиметрия, титриметрия) результат, как правило, представляют в виде числа, содержащего четыре значащие цифры, что связано с точностью измерений массы веществ и объемов растворов. Такой подход принимают в большинстве практических определений. Вместе с тем это общее правило не исключает случаев, когда при представлении результата анализа следует оставить лишь три значащие цифры. Это необходимо, если объем титранта меньше 10 мл (например, 9,85 мл). Если при статистической обработке результатов определения массы получено значение  $(0,5874 \pm 0,0018)$  г, то результат следует представить в виде  $(0,587 \pm 0,002)$  г, так как доверительный интервал в данном случае равен 0,002 г.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stability Constants of metal-ion complexes. IUPAC. L., 1964, Ed. A.MartheL, L.G.Sillen. Stability Constants Database, ver. 2.60, 1995. Ed. V.A.Sharnin
2. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Химия, 1989; ИД «Альянс», 2007.
3. Алимарин И. П., Ушакова Н. Н. Справочное пособие по аналитической химии. М.: Мир, 1966.
4. Стары И. Экстракция хелатов. М.: Мир, 1966.
5. Николаева З. И., Карташова Н. К. Экстракция нейтральными органическими соединениями. М.: Атомиздат, 1976.

Учебное издание

Миронов Игорь Витальевич  
Лавренова Людмила Георгиевна  
Притчина Елена Анатольевна  
Берус Елена Ивановна

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ  
В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Учебно-методическое пособие

Четвертое издание,  
переработанное и дополненное

Верстка Е. А. Притчиной, Е. И Берус

---

Подписано в печать	2014 г.	Формат 60x84, 1/16
Офсетная печать.		Уч.-изд. л.
Заказ №	Тираж 170 экз.	

---

Редакционно-издательский центр НГУ; 630090, Новосибирск, 90,  
ул. Пирогова, 2.