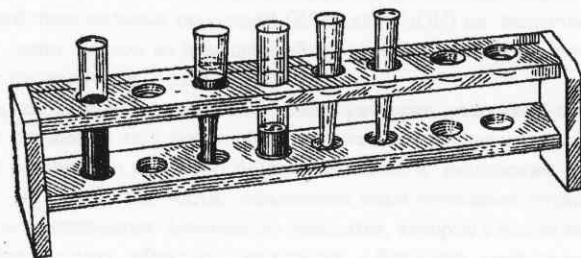




А. И. Павлютенко

**Качественные реакции в
ХИМИИ**



**Издательство
МАОУ СОШ № 31 г. Калининграда
2013**

Павлютенко А. И. Качественные реакции в химии. – Калининград: Изд-во
МАОУ СОШ № 31, 2013. – 26 с.

В пособии приведен перечень качественных реакций на основные неорганические ионы и некоторые классы органических веществ.

Издание второе, исправленное и дополненное

Введение

Качественный анализ – раздел аналитической химии, посвященный установлению качественного состава веществ, то есть обнаружению элементов и образуемых ими ионов, входящих в состав и простых, и сложных веществ. Делают это с помощью химических реакций, характерных для данного катиона или аниона, позволяющих обнаружить их как в индивидуальных веществах, так и в смесях.

Такие реакции называются *качественными*. Качественные реакции можно разделить на два вида: качественные реакции на катионы и анионы.

В органической химии качественные реакции бывают на кратную связь (двойную, тройную), на функциональную группу (карбонильную, альдегидную и т. п.) или на определенный класс веществ и отдельных их представителей (спирты, белки и т. п.).

Химические реакции, пригодные для качественного анализа, должны сопровождаться заметным внешним эффектом.

| Визуальное наблюдение | Наблюдение под микроскопом |
|---|--|
| 1) выделение газа; 2) изменение окраски раствора; 3) выпадение осадка; 4) растворение осадка | 1) образование кристаллов характерной формы (микрористаллоскопические реакции) |

Для получения правильных результатов необходимы реакции, выполнению которых не мешают другие присутствующие ионы. Для этого нужны *специфические* (взаимодействующие только с определяемым ионом) или хотя бы *селективные* (*избирательные*) реагенты.

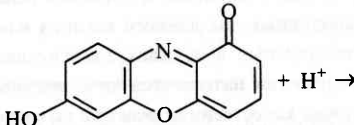
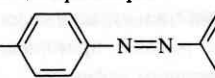
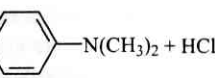
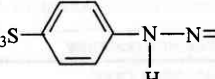
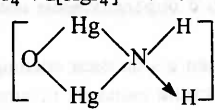
Примером реакции с участием специфического реагента является выделение газообразного NH_3 при действии сильных оснований (KOH или NaOH) на вещество, содержащее ион NH_4^+ . Ни один катион не помешает обнаружению иона NH_4^+ , потому что только он реагирует со щелочами с выделением NH_3 .

К сожалению, селективных, тем более специфических реагентов очень мало, поэтому при анализе сложной смеси приходится прибегать к *маскированию* мешающих ионов, переводя их в реакционно инертную форму, или, чаще, к разделению смеси катионов или анионов на составные части, называемые аналитическими группами. Делают это с помощью специальных (*групповых*) реагентов, которые с рядом ионов, реагируя в одних и тех же условиях, образуют соединения с близкими свойствами – малорастворимые осадки или устойчивые растворимые комплексы. Это и позволяет разделить сложную смесь на более простые составные части.

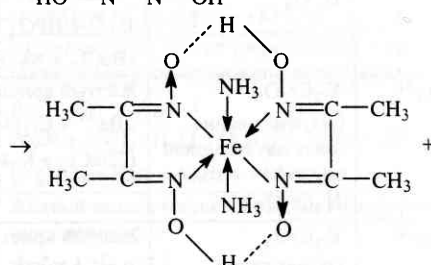
Для того, чтобы результат реакции был достоверным, необходимо четко соблюдать условия выполнения реакций: надлежащая среда (кислотность среды, pH); температура, достаточная концентрация обнаруживаемого иона.

Поэтому перед проведением соответствующей качественной реакции необходимо ознакомиться с методикой выполнения реакции на тот или иной определяемый ион, изучить условия ее выполнения и протекания. Для этого необходимо обратиться к специальной литературе (в частности, см. список рекомендуемой литературы).

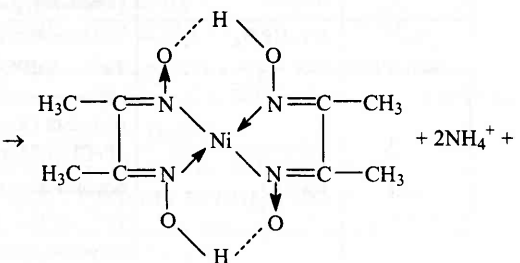
Качественные реакции в химии

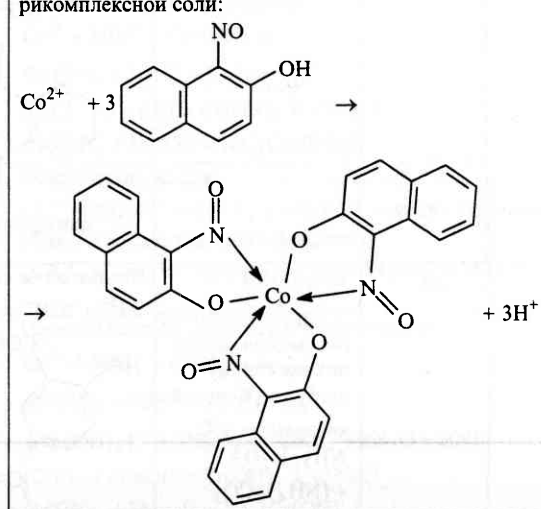
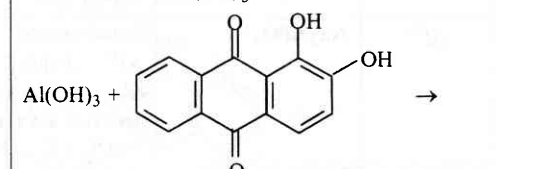
| Ион, вещество | Условия реакций, реагенты | Признаки реакций, уравнения реакций |
|------------------------------|---|---|
| H ⁺ | Лакмус (азолит-мин) C ₉ H ₁₀ NO ₅ | Красный цвет раствора:  → катионная форма соединения |
| H ⁺ | Метиловый оранжевый (гелиантин) C ₁₄ H ₁₄ N ₃ O ₃ Na | Розовый цвет раствора: NaO ₃ S-  -N=N-  + HCl → → HO ₃ S-  -N(CH ₃) ₂ ⁺ + NaCl |
| NH ₄ ⁺ | OH ⁻ , t°C | Выделение газа с резким запахом: NH ₄ ⁺ + OH ⁻ $\xrightarrow{t^\circ C}$ NH ₃ ↑ + H ₂ O (NH ₄ Cl + NaOH $\xrightarrow{t^\circ C}$ NH ₃ ↑ + H ₂ O + NaCl) |
| NH ₄ ⁺ | K ₂ [HgI ₄] + KOH реактив Несслера | Красно-бурый осадок: NH ₄ ⁺ + 2[HgI ₄] ²⁻ + 4OH ⁻ = =  I ↓ + 7I ⁻ + 3H ₂ O (NH ₄ Cl + 2K ₂ [HgI ₄] + 4NaOH = [Hg ₂ ONH ₂]I ↓ + 4NaI + 3KI + KCl) |
| Ag ⁺ | Cl ⁻ , NH ₃ · H ₂ O | Белый творожистый осадок (нерастворим в кислотах, но растворим в растворе аммиака): Ag ⁺ + Cl ⁻ = AgCl ↓ AgCl + 2NH ₃ · H ₂ O = [Ag(NH ₃) ₂]Cl + 2H ₂ O (AgNO ₃ + HCl = AgCl ↓ + KNO ₃) |
| Ag ⁺ | Br ⁻ , NH ₃ · H ₂ O | Бледно-жёлтый осадок (нерастворим в кислотах, но незначительно растворим в растворе аммиака): Ag ⁺ + Br ⁻ = AgBr ↓ AgBr + 2NH ₃ · H ₂ O = [Ag(NH ₃) ₂]Br + 2H ₂ O (AgNO ₃ + KBr = AgBr ↓ + KNO ₃) |
| Ag ⁺ | I ⁻ | Жёлтый осадок (нерастворим ни в кислотах, ни в растворе аммиака): Ag ⁺ + I ⁻ = AgI ↓ (AgNO ₃ + KI = AgI ↓ + KNO ₃) |

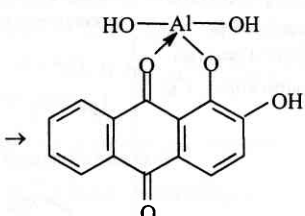
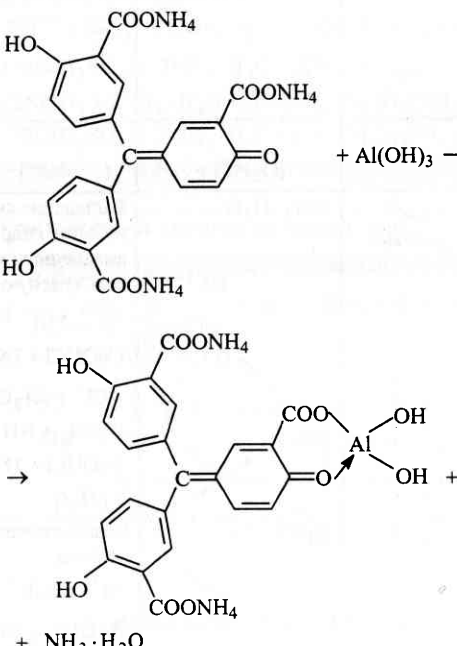
| | | |
|------------------|---|---|
| Ag ⁺ | OH ⁻ | Бурый осадок: 2Ag ⁺ + 2OH ⁻ = Ag ₂ O ↓ + H ₂ O (2AgNO ₃ + 2NaOH = Ag ₂ O ↓ + H ₂ O + 2NaNO ₃) |
| Na ⁺ | Пламя | Жёлтое окрашивание: Na ⁺ $\xrightarrow{t^\circ C}$ Na ⁺ * → Na ⁺ + hv |
| K ⁺ | Пламя | Бледно-фиолетовое окрашивание: K ⁺ $\xrightarrow{t^\circ C}$ K ⁺ * → K ⁺ + hv |
| K ⁺ | NaHC ₄ H ₄ O ₆ гидротартрат натрия (соль винной кислоты H ₂ C ₄ H ₄ O ₆) | Белый кристаллический осадок: K ⁺ + HC ₄ H ₄ O ₆ ⁻ = KHC ₄ H ₄ O ₆ ↓ (K ₂ SO ₄ + 2NaHC ₄ H ₄ O ₆ = 2KHC ₄ H ₄ O ₆ ↓ + Na ₂ SO ₄) |
| Li ⁺ | Пламя | Карминово-красное окрашивание: Li ⁺ $\xrightarrow{t^\circ C}$ Li ⁺ * → Li ⁺ + hv |
| Ca ²⁺ | CO ₃ ²⁻ | Белый осадок: Ca ²⁺ + CO ₃ ²⁻ = CaCO ₃ ↓ (CaCl ₂ + Na ₂ CO ₃ = CaCO ₃ ↓ + 2NaCl) |
| Ca ²⁺ | C ₂ O ₄ ²⁻ оксалат-анион (анион щавелевой кислоты H ₂ C ₂ O ₄) | Белый осадок: Ca ²⁺ + C ₂ O ₄ ²⁻ = CaC ₂ O ₄ ↓ (CaCl ₂ + (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ = CaC ₂ O ₄ ↓ + 2NH ₄ Cl) |
| Ca ²⁺ | HPO ₄ ²⁻ | Белый осадок: Ca ²⁺ + HPO ₄ ²⁻ = CaHPO ₄ ↓ (CaCl ₂ + Na ₂ HPO ₄ = CaHPO ₄ ↓ + 2NaCl) |
| Ca ²⁺ | Пламя | Кирпично-красное окрашивание: Ca ²⁺ $\xrightarrow{t^\circ C}$ Ca ²⁺ * → Ca ²⁺ + hv |
| Ba ²⁺ | SO ₄ ²⁻ | Белый мелкокристаллический осадок (нерастворим в кислотах и щелочах): Ba ²⁺ + SO ₄ ²⁻ = BaSO ₄ ↓ (BaCl ₂ + H ₂ SO ₄ = BaSO ₄ ↓ + 2HCl) |
| Ba ²⁺ | HPO ₄ ²⁻ | Белый осадок: Ba ²⁺ + HPO ₄ ²⁻ = BaHPO ₄ ↓ (BaCl ₂ + Na ₂ HPO ₄ = BaHPO ₄ ↓ + 2NaCl) |
| Ba ²⁺ | K ₂ Cr ₂ O ₇ бихромат калия (соль двуххромовой кислоты H ₂ Cr ₂ O ₇) | Жёлтый кристаллический осадок: 2Ba ²⁺ + Cr ₂ O ₇ ²⁻ + H ₂ O = 2BaCrO ₄ ↓ + 2H ⁺ (2BaCl ₂ + K ₂ Cr ₂ O ₇ + H ₂ O = 2BaCrO ₄ ↓ + 2HCl + 2KCl) |
| Ba ²⁺ | K ₂ CrO ₄ хромат калия | Жёлтый кристаллический осадок: Ba ²⁺ + CrO ₄ ²⁻ = BaCrO ₄ ↓ (BaCl ₂ + K ₂ CrO ₄ = BaCrO ₄ ↓ + 2KCl) |

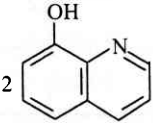
| | | |
|---|---|--|
| Ba ²⁺ | Пламя | Жёлто-зелёное окрашивание: $Ba^{2+} \xrightarrow{t^{\circ}} Ba^{2+*} \rightarrow Ba^{2+} + hv$ |
| Cu ²⁺ голубой или зеле- ный | ОН ⁻ , NH ₃ · H ₂ O | Голубой осадок, чернеющий при нагревании (растворим в растворе аммиака с образованием основной соли меди зеленого цвета, при избытке гидроксида аммония – интенсивно синяя окраска аммиачного комплекса меди): $Cu^{2+} + 2OH^{-} = Cu(OH)_2 \downarrow$ $Cu(OH)_2 \xrightarrow{t^{\circ}} CuO \downarrow + H_2O$ $Cu(OH)_2 + 4NH_3 \cdot H_2O = [Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 4H_2O$ ($CuSO_4 + 2NaOH = Cu(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4$) |
| Cu ²⁺ голубой или зеле- ный | NH ₃ · H ₂ O | Выпадение зеленоватого осадка основной соли меди, при избытке гидроксида аммония – интенсивно синяя окраска аммиачного комплекса меди: $2Cu^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2NH_3 \cdot H_2O = (CuOH)_2SO_4 \downarrow + 2NH_4^{+}$ ($Cu(OH)_2SO_4 + 8NH_3 \cdot H_2O = 2[Cu(NH_3)_4]^{2+} + SO_4^{2-} + 2OH^{-} + 8H_2O$) ($2CuSO_4 + 2NH_3 \cdot H_2O = (CuOH)_2SO_4 \downarrow + (NH_4)_2SO_4$) ($Cu(OH)_2SO_4 + 8NH_3 \cdot H_2O = [Cu(NH_3)_4]SO_4 + [Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 8H_2O$) |
| Cu ²⁺ голубой или зеле- ный | KI | Бурый осадок свободного йода в смеси с белым осадком иодида меди (I): $2Cu^{2+} + 4I^{-} = 2CuI \downarrow + I_2 \downarrow$ ($2CuSO_4 + 4KI = 2CuI \downarrow + I_2 \downarrow + 2K_2SO_4$) |
| Fe ²⁺ бледно- зеленый | ОН ⁻ | Грязно-зелёный осадок, быстро буреющий на воздухе: $Fe^{2+} + 2OH^{-} = Fe(OH)_2 \downarrow$ $4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3 \downarrow$ ($FeSO_4 + 2NaOH = Fe(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4$) |
| Fe ²⁺ бледно- зеленый | Диметилглиоксим (реактив Чугаева) C ₄ H ₈ N ₂ O ₂ + + NH ₃ · H ₂ O | Внутрикомплексная соль карминово-красного цвета: $2 \begin{array}{c} H_3C-C-C-CH_3 \\ \quad \\ HO-N \quad N-OH \end{array} + Fe^{2+} + (x-2) NH_3 \cdot H_2O \rightarrow$  $+ 2NH_4^{+} +$ $+ (x-2) H_2O$ |

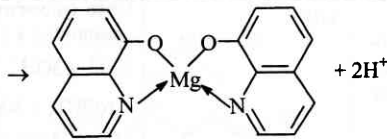
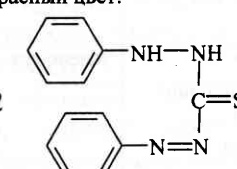
| | | |
|--|--|--|
| Fe ²⁺ бледно- зеленый | (Me ^I) ₂ CO ₃ | Белый осадок, быстро буреющий на воздухе (также образуется гидрокарбонат железа (II), сразу же окисляющийся): $Fe^{2+} + CO_3^{2-} = FeCO_3 \downarrow$ $4FeCO_3 + 6H_2O + O_2 = 4CO_2 \uparrow + 4Fe(OH)_3 \downarrow$ ($FeSO_4 + Na_2CO_3 = FeCO_3 \downarrow + Na_2SO_4$) |
| Fe ²⁺ бледно- зеленый | K ₃ [Fe(CN) ₆] гексацианоферрат (III) калия | Синий осадок («турбулева синь»): I вариант реакции: $Fe^{2+} + K^{+} + [Fe(CN)_6]^{3-} = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow$ ($FeSO_4 + K_3[Fe(CN)_6] = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow + K_2SO_4$) II вариант реакции: $3Fe^{2+} + 2[Fe(CN)_6]^{3-} = Fe_3[Fe(CN)_6]_2 \downarrow$ ($3FeSO_4 + 2K_3[Fe(CN)_6] = Fe_3[Fe(CN)_6]_2 \downarrow + 3K_2SO_4$) |
| Fe ³⁺ жёлтый | ОН ⁻ | Бурый осадок: $Fe^{3+} + 3OH^{-} = Fe(OH)_3 \downarrow$ ($FeCl_3 + 3NaOH = Fe(OH)_3 \downarrow + 3NaCl$) |
| Fe ³⁺ жёлтый | NH ₄ SCN KSCN роданид аммония или калия (соли роданистоводо- родной кислоты HSCN) | Ярко-красная окраска раствора, при избытке реагента переходит в кроваво-красную: $Fe^{3+} + 3SCN^{-} \rightleftharpoons [Fe(SCN)_3]$ $[Fe(SCN)_3] + 3SCN^{-} \rightleftharpoons [Fe(SCN)_6]^{3-}$ ($FeCl_3 + 3NH_4SCN \rightleftharpoons [Fe(SCN)_3] + 3NH_4Cl$) $[Fe(SCN)_3] + 3NH_4SCN \rightleftharpoons (NH_4)_3[Fe(SCN)_3]$ |
| Fe ³⁺ жёлтый | Na ₂ HPO ₄ | Бледно-жёлтый осадок: $Fe^{3+} + 2HPO_4^{2-} = FePO_4 \downarrow + H_2PO_4^{-}$ (реакция упрощена, образуется сложная смесь фосфатов, а также одновалентный катион) ($FeCl_3 + 2Na_2HPO_4 = FePO_4 \downarrow + NaH_2PO_4 + 3NaCl$) |
| Fe ³⁺ жёлтый | Na ₃ PO ₄ | Бледно-жёлтый осадок: $Fe^{3+} + PO_4^{3-} = FePO_4 \downarrow$ (реакция упрощена, образуется сложная смесь фосфатов) ($FeCl_3 + Na_3PO_4 = FePO_4 + 3NaCl$) |
| Fe ³⁺ жёлтый | CH ₃ COONa | Комплексное соединение красного цвета, при нагревании выпадает в осадок: $3Fe^{3+} + 9CH_3COO^{-} + 2H_2O =$ $= [Fe_3(CH_3COO)_6(OH)_2]CH_3COO + 2CH_3COOH$ ($3FeCl_3 + 9CH_3COONa + 2H_2O =$ $= [Fe_3(CH_3COO)_6(OH)_2]CH_3COO + 2CH_3COOH +$ $+ 9NaCl$) |
| Fe ³⁺ жёлтый | K ₄ [Fe(CN) ₆] гексацианоферрат (II) калия | Тёмно-синий осадок («берлинская лазурь»): I вариант реакции: $Fe^{3+} + K^{+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow$ ($Fe(NO_3)_3 + K_4[Fe(CN)_6] = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow + 3KNO_3$) |

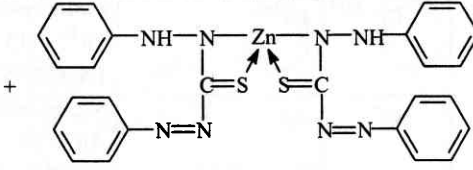
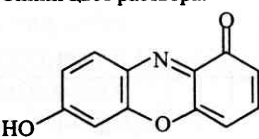
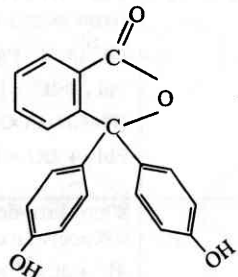
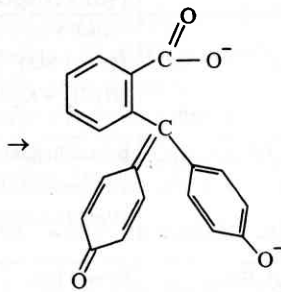
| | | |
|-----------------------------|--|--|
| | | <p>II вариант реакции:</p> $4\text{Fe}^{3+} + 3[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} = \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow$ $(4\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 3\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] = \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow + 12\text{KNO}_3)$ |
| Ni^{2+} зеленый | OH^- | <p>Зеленый осадок:</p> $\text{Ni}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow$ $(\text{NiSO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4)$ |
| Ni^{2+} зеленый | $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | <p>Выпадение зеленого осадка основной соли никеля, при избытке гидроксида аммония – синяя окраска аммиачного комплекса никеля:</p> $2\text{Ni}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = (\text{NiOH})_2\text{SO}_4 \downarrow + 2\text{NH}_4^+$ $(\text{NiOH})_2\text{SO}_4 + 12\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 2[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 12\text{H}_2\text{O}$ $(2\text{NiSO}_4 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = (\text{NiOH})_2\text{SO}_4 \downarrow + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ $(\text{NiOH})_2\text{SO}_4 + 12\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4 + [\text{Ni}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ |
| Ni^{2+} зеленый | Диметилглиоксим (реактив Чугаева) $\text{C}_4\text{H}_8\text{N}_2\text{O}_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | <p>Красный осадок внутрикомплексной соли:</p> $2 \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{CH}_3 \\ \text{HO}-\text{N} \quad \text{N}-\text{OH} \end{array} + \text{Ni}^{2+} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow$  $+ 2\text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ <p style="text-align: center;">диметилглиоксимат никеля</p> |
| Co^{2+} розовый | OH^- | <p>Выпадение синего осадка основной соли, при избытке щелочи образуется розовый осадок гидроксида кобальта (II), который постепенно буреет:</p> $\text{Co}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{OH}^- = \text{CoOHCl} \downarrow$ $\text{CoOHCl} + \text{OH}^- = \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{Cl}^-$ $4\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Co}(\text{OH})_3 \downarrow$ $(\text{CoCl}_2 + \text{NaOH} = \text{CoOHCl} \downarrow + \text{NaCl})$ $\text{CoOHCl} + \text{NaOH} = \text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{NaCl}$ |

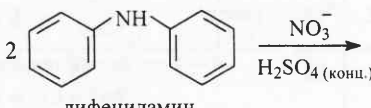
| | | |
|-----------------------------|---|--|
| Co^{2+} розовый | $\text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO})(\text{OH})$ α -нитрозо- β -нафтол (реактив Ильинского), $t^\circ\text{C}$ | <p>Образование объемистого красно-бурого осадка внутрикомплексной соли:</p>  $\text{Co}^{2+} + 3 \text{C}_{10}\text{H}_6(\text{NO})(\text{OH}) \rightarrow \text{Complex} + 3\text{H}^+$ |
| Co^{2+} розовый | $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | <p>Выпадение синего осадка основной соли кобальта, при избытке гидроксида аммония – грязно-желтая окраска аммиачного комплекса кобальта (при стоянии приобретает красную окраску из-за окисления):</p> $\text{Co}^{2+} + \text{Cl}^- + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CoOHCl} \downarrow + \text{NH}_4^+$ $\text{CoOHCl} + 7\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{OH}^- + \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^- + 6\text{H}_2\text{O}$ $(\text{CoCl}_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{CoOHCl} \downarrow + \text{NH}_4\text{Cl})$ $\text{CoOHCl} + 7\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = [\text{Co}(\text{NH}_3)_6](\text{OH})_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + 6\text{H}_2\text{O}$ |
| Al^{3+} | OH^- | <p>Белый студенистый осадок, растворяющийся в избытке щелочи:</p> $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{OH}^- = [\text{Al}(\text{OH})_4]^-$ $(\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH} = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow + 3\text{NaCl})$ $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{NaOH} = \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$ |
| Al^{3+} | $\text{C}_{12}\text{H}_6\text{O}_2\text{OH}$ (ализарин) + $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{конц}}$ | <p>Малорастворимое соединение ярко-красного цвета («алюминиевый лак»):</p> $\text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^- = \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$  $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{C}_{12}\text{H}_6\text{O}_2\text{OH} \rightarrow \text{Complex}$ |

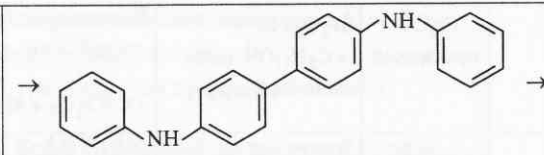
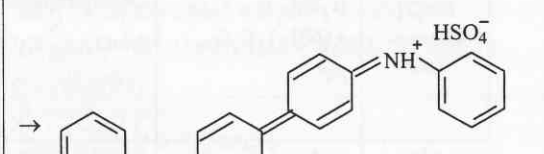
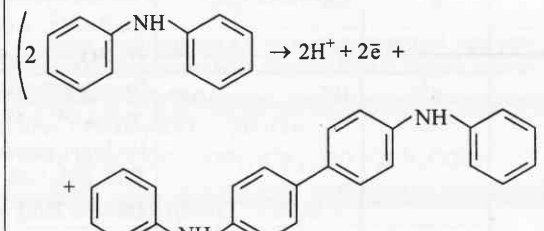
| | | |
|------------------|--|---|
| | |  <p style="text-align: center;">+ H₂O</p> <p style="text-align: center;">ализаринат алюминия</p> |
| Al ³⁺ | CH ₃ COOH + + C ₂₂ H ₁₁ O ₉ (NH ₄) ₃ (алюминон, аммонийная соль ауринтрикарбоновой кислоты) и t°C; NH ₃ · H ₂ O + + (NH ₄) ₂ CO ₃ | Комплексное соединение красного цвета: Al ³⁺ + 3OH ⁻ = Al(OH) ₃ ↓  <p style="text-align: center;">+ NH₃ · H₂O</p> |
| Al ³⁺ | Na ₂ CO ₃ | Белый студенистый осадок и газ: 3CO ₃ ²⁻ + 2Al ³⁺ + 3H ₂ O = 2Al(OH) ₃ ↓ + 3CO ₂ ↑ (3Na ₂ CO ₃ + 2AlCl ₃ + 3H ₂ O = 2Al(OH) ₃ ↓ + 3CO ₂ ↑ + 6NaCl) |
| Al ³⁺ | Na ₂ HPO ₄ | Белый осадок: Al ³⁺ + 2HPO ₄ ²⁻ = AlPO ₄ ↓ + H ₂ PO ₄ ⁻ (реакция упрощена, образуется сложная смесь фосфатов, а также одновалентный катион) (AlCl ₃ + 2Na ₂ HPO ₄ = AlPO ₄ ↓ + NaH ₂ PO ₄ + 3NaCl) |

| | | |
|--|--|--|
| Cr ³⁺ фиолетовый или зеленый | OH ⁻ | Серо-фиолетовый или серо-зеленый осадок, растворяющийся в избытке щелочи: Cr ³⁺ + 3OH ⁻ = Cr(OH) ₃ ↓ Cr(OH) ₃ + 3OH ⁻ = [Cr(OH) ₆] ³⁻ (CrCl ₃ + 3NaOH = Cr(OH) ₃ ↓ + 3NaCl Cr(OH) ₃ + 3NaOH = Na ₃ [Cr(OH) ₆]) |
| Cr ³⁺ фиолетовый или зеленый | Na ₂ HPO ₄ | Зеленоватый осадок: Cr ³⁺ + 2HPO ₄ ²⁻ = CrPO ₄ ↓ + H ₂ PO ₄ ⁻ (реакция упрощена, образуется сложная смесь фосфатов) (CrCl ₃ + 2Na ₂ HPO ₄ = CrPO ₄ ↓ + NaH ₂ PO ₄ + 3NaCl) |
| Cr ³⁺ фиолетовый или зеленый | H ₂ O ₂ , OH ⁻ | Переход зеленой окраски раствора в желтую: Cr ³⁺ + 3OH ⁻ = Cr(OH) ₃ ↓ Cr(OH) ₃ + 3OH ⁻ = [Cr(OH) ₆] ³⁻ 2[Cr(OH) ₆] ³⁻ + 3H ₂ O ₂ = 2CrO ₄ ²⁻ + 8H ₂ O + 2OH ⁻ (CrCl ₃ + 3NaOH = Cr(OH) ₃ ↓ + 3NaCl Cr(OH) ₃ + 3NaOH = Na ₃ [Cr(OH) ₆] 2Na ₃ [Cr(OH) ₆] + 3H ₂ O ₂ = 2Na ₂ CrO ₄ + 8H ₂ O + 2NaOH) |
| Mn ²⁺ бледно-розовый, почти бесцветный | OH ⁻ | Белый осадок, быстро буреющий на воздухе: Mn ²⁺ + 2OH ⁻ = Mn(OH) ₂ ↓ 2Mn(OH) ₂ + O ₂ = 2MnO(OH) ₂ ↓ (Mn(NO ₃) ₂ + 2KOH = Mn(OH) ₂ ↓ + 2KNO ₃) |
| Mn ²⁺ бледно-розовый, почти бесцветный | (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ (персульфат аммония, соль пероксодвухсерной кислоты H ₂ S ₂ O ₈) H ⁺ + H ₃ PO ₄ конц. + AgNO ₃ (кат.) | Появление малиновой окраски раствора: 2Mn ²⁺ + 5S ₂ O ₈ ²⁻ + 8H ₂ O = 2MnO ₄ ^{Ag+} + 10SO ₄ ²⁻ + 16H ⁺ (2MnSO ₄ + 5(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ + 8H ₂ O = 2NH ₄ MnO ₄ + 4(NH ₄) ₂ SO ₄ + 8H ₂ SO ₄) |
| Mg ²⁺ | OH ⁻ | Белый аморфный осадок: Mg ²⁺ + 2OH ⁻ = Mg(OH) ₂ ↓ (MgCl ₂ + NaOH = Mg(OH) ₂ ↓ + 2NaCl) |
| Mg ²⁺ | C ₉ H ₇ ON (8-оксихинолин) + NH ₄ Cl + + NH ₄ OH | Зеленовато-желтый кристаллический осадок:  <p style="text-align: center;">→</p> |

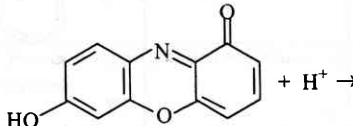
| | | |
|------------------|---|---|
| | |  <p style="text-align: center;">оксихинолят магния</p> |
| Mg ²⁺ | Na ₂ HPO ₄ + + NH ₄ Cl + + NH ₄ OH | <p>Белый кристаллический осадок:</p> $\text{Mg}^{2+} + \text{HPO}_4^{2-} + \text{NH}_4\text{OH} = \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $(\text{MgCl}_2 + \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl} =$ $= \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl})$ |
| Mg ²⁺ | CO ₃ ²⁻ | <p>Белый аморфный осадок:</p> $2\text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} = (\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$ $(2\text{MgCl}_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} = (\text{MgOH})_2\text{CO}_3 \downarrow + \text{CO}_2 \uparrow$ $+ 4\text{NaCl})$ |
| Zn ²⁺ | OH ⁻ | <p>Белый студенистый осадок, растворяющийся в избытке щелочи:</p> $\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow$ $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- = [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ $(\text{ZnCl}_2 + 2\text{NaOH} = \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaCl}$ $\text{Zn}(\text{OH})_2 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4])$ |
| Zn ²⁺ | S ²⁻ H ₂ S | <p>Белый осадок:</p> $\text{Zn}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{ZnS} \downarrow$ $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = \text{ZnS} \downarrow + 2\text{H}^+$ $(\text{ZnCl}_2 + \text{Na}_2\text{S} = \text{ZnS} \downarrow + 2\text{NaCl}$ $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{ZnS} \downarrow + 2\text{HCl})$ |
| Zn ²⁺ | K ₄ [Fe(CN) ₆] гексацианоферрат (II) калия | <p>Белый осадок:</p> $3\text{Zn}^{2+} + 2\text{K}^+ + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} = \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow$ $(3\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] = \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow +$ $+ 6\text{KNO}_3)$ |
| Zn ²⁺ | C ₁₃ H ₁₂ N ₄ S (дити- зон) в CHCl ₃ или CCl ₄ | <p>Внутрикомплексная соль, окрашенная в малиново- красный цвет:</p>  $2 \text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{N}_4\text{S} + \text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} +$ |

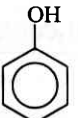
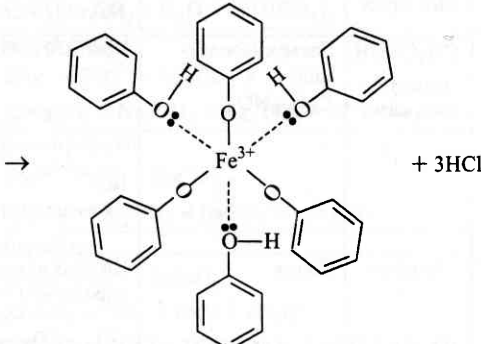
| | | |
|-----------------|--|--|
| | |  <p style="text-align: center;">дитизонат цинка</p> |
| OH ⁻ | Лакмус (азолит- мин) C ₉ H ₁₀ NO ₅ | <p>Синий цвет раствора:</p>  <p style="text-align: center;">→ анионная форма соединения</p> |
| OH ⁻ | Фенолфталеин C ₂₀ H ₁₄ O ₄ | <p>Малиновый цвет раствора:</p>  $+ 2\text{NaOH} \rightarrow$  $\left. \begin{array}{l} \text{C}_2\text{O} \\ \text{C} \\ \text{C} \end{array} \right\} 2\text{Na}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| OH ⁻ | Метилвый оранже- вый (гелиантин) C ₁₄ H ₁₄ N ₃ O ₃ SNa | <p>Жёлтый цвет раствора:</p> $\text{Na}^+ \left[\text{O}_3\text{S} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{N}=\text{N} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{N}(\text{CH}_3)_2 \right]^-$ |
| Cl ⁻ | Ag ⁺ | <p>Белый творожистый осадок:</p> $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl} \downarrow$ $(\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} = \text{AgCl} \downarrow + \text{NaNO}_3)$ |

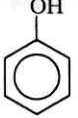
| | | |
|-------------------------------|---|--|
| Cl ⁻ | Pb ²⁺ | Белый кристаллический осадок: Pb ²⁺ + 2Cl ⁻ = PbCl ₂ ↓ (Pb(CH ₃ COO) ₂ + 2NaCl = PbCl ₂ ↓ + 2CH ₃ COONa) |
| Br ⁻ | Ag ⁺ | Бледно-жёлтый осадок: Ag ⁺ + Br ⁻ = AgBr ↓ (AgNO ₃ + KBr = AgBr ↓ + KNO ₃) |
| Br ⁻ | Pb ²⁺ | Белый осадок: Pb ²⁺ + 2Br ⁻ = PbBr ₂ ↓ (Pb(CH ₃ COO) ₂ + 2KBr = PbBr ₂ ↓ + 2CH ₃ COOK) |
| I ⁻ | Ag ⁺ | Жёлтый осадок: Ag ⁺ + I ⁻ = AgI ↓ (AgNO ₃ + KI = AgI ↓ + KNO ₃) |
| I ⁻ | Pb ²⁺ | Жёлтый или золотистый осадок, растворяющийся в избытке иодид-ионов: Pb ²⁺ + 2I ⁻ = PbI ₂ ↓ PbI ₂ + 2I ⁻ = [PbI ₄] ²⁻ (Pb(CH ₃ COO) ₂ + 2KI = PbI ₂ ↓ + 2CH ₃ COOK PbI ₂ + 2KI = K ₂ [PbI ₄]) |
| I ⁻ | Cu ²⁺ | Желтовато-белый осадок иодида меди (I) (цвета слоновой кости) и свободный йод бурого цвета: 4I ⁻ + 2Cu ²⁺ = 2CuI ↓ + I ₂ (4KI + 2CuSO ₄ = 2CuI ↓ + I ₂ + 2K ₂ SO ₄) |
| SO ₄ ²⁻ | Ba ²⁺ | Белый мелкокристаллический осадок: Ba ²⁺ + SO ₄ ²⁻ = BaSO ₄ ↓ (BaCl ₂ + K ₂ SO ₄ = BaSO ₄ ↓ + 2KCl) |
| SO ₄ ²⁻ | Pb ²⁺ | Белый осадок: Pb ²⁺ + SO ₄ ²⁻ = PbSO ₄ ↓ (Pb(CH ₃ COO) ₂ + K ₂ SO ₄ = PbSO ₄ ↓ + 2CH ₃ COOK) |
| NO ₃ ⁻ | Cu + H ₂ SO _{4(конц.)} | Бурый газ: 3Cu + 8H ⁺ + 2NO ₃ ⁻ = 3Cu ²⁺ + 2NO ↑ + 4H ₂ O 2NO + O ₂ = 2NO ₂ ↑ (3Cu + 8HNO ₃ = 3Cu(NO ₃) ₂ + 2NO ↑ + 4H ₂ O) |
| NO ₃ ⁻ | Дифениламин + H ₂ SO _{4(конц.)} |  дифениламин |

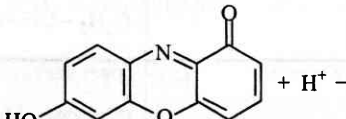
| | | |
|---------------------------------------|---|---|
| | |   иониевая соль дифенилбензидина интенсивно синего цвета $2 \left(\text{C}_6\text{H}_5\text{NH-C}_6\text{H}_5 \right) \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- +$  |
| PO ₄ ³⁻ | Ba ²⁺ | Белый осадок: Ba ²⁺ + HPO ₄ ²⁻ = BaHPO ₄ ↓ (BaCl ₂ + Na ₂ HPO ₄ = BaHPO ₄ ↓ + 2NaCl) |
| PO ₄ ³⁻ | Ag ⁺ | Ярко-жёлтый осадок: 3Ag ⁺ + PO ₄ ³⁻ = Ag ₃ PO ₄ ↓ (3AgNO ₃ + Na ₃ PO ₄ = Ag ₃ PO ₄ ↓ + 3NaNO ₃) |
| PO ₄ ³⁻ | Молибденовая жидкость (раствор молибдата аммония (NH ₄) ₂ MoO ₄ в азотной кислоте, содержащий нитрат аммония), t ^o C | Жёлтый кристаллический осадок: PO ₄ ³⁻ + 3NH ₄ ⁺ + 12MoO ₄ ²⁻ + 24H ⁺ $\xrightarrow{t^oC}$ = (NH ₄) ₃ [PMo ₁₂ O ₄₀] ↓ + 12H ₂ O (Na ₃ PO ₄ + 12(NH ₄) ₂ MoO ₄ + 24HNO ₃ $\xrightarrow{t^oC}$ = (NH ₄) ₃ [PMo ₁₂ O ₄₀] ↓ + 21NH ₄ NO ₃ + 3NaNO ₃ + 12H ₂ O) |
| CrO ₄ ²⁻ жёлтый | Ba ²⁺ | Жёлтый осадок: Ba ²⁺ + CrO ₄ ²⁻ = BaCrO ₄ ↓ (BaCl ₂ + K ₂ CrO ₄ = BaCrO ₄ ↓ + 2KCl) |

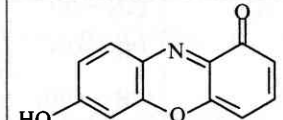

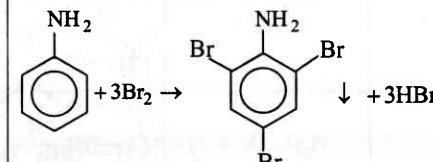

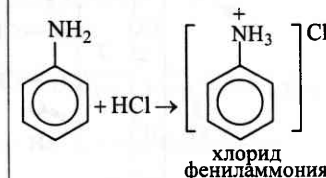
| | | |
|---|---|---|
| $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ оранжевый | $\text{H}_2\text{O}_2, \text{H}^+ +$ $+ \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ (изо- амиловый спирт) | Раствор приобретает интенсивно синюю окраску: $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ = 2\text{H}_2\text{CrO}_6 + 3\text{H}_2\text{O}$ надхромовая кислота $(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 4\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}_2\text{CrO}_6 + 3\text{H}_2\text{O} +$ $+ \text{K}_2\text{SO}_4)$ |
| MnO_4^- малино- вый | $\text{H}_2\text{SO}_4 +$ $+ (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4,$ $t^\circ\text{C}$ | Обесцвечивание малиновой окраски раствора: $\text{MnO}_4^- + \frac{5}{2}\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 5\text{CO}_2 \uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ $(2\text{KMnO}_4 + 5(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{MnSO}_4 +$ $+ 10\text{CO}_2 \uparrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O})$ |
| S^{2-} | Ag^+ | Чёрный осадок: $2\text{Ag}^+ + \text{S}^{2-} = \text{Ag}_2\text{S} \downarrow$ $(2\text{AgNO}_3 + \text{Na}_2\text{S} = \text{Ag}_2\text{S} \downarrow + 2\text{NaNO}_3)$ |
| S^{2-} | Cu^{2+} | Чёрный осадок: $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} \downarrow$ $(\text{CuSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} = \text{CuS} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4)$ |
| S^{2-} | H^+ | Выделение газа с запахом тухлых яиц: $2\text{H}^+ + \text{S}^{2-} = \text{H}_2\text{S} \uparrow$ или $\text{FeS} + 2\text{H}^+ = \text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{S} \uparrow$ Не будут растворяться в растворах кислот: $\text{CuS}, \text{NiS}, \text{CoS}, \text{HgS}$ и некоторые другие. $(\text{Na}_2\text{S} + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{S} \uparrow)$ |
| CO_3^{2-} | H^+ | Выделение газа, не поддерживающего процесс горения и вызывающего помутнение известковой или баритовой воды: $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $(\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} = 2\text{NaCl} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O})$ $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 = \text{CaCO}_3 \downarrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2)$ |
| CO_3^{2-} | Ag^+ | Белый осадок: $2\text{Ag}^+ + \text{CO}_3^{2-} = \text{Ag}_2\text{CO}_3 \downarrow$ $(2\text{AgNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{Ag}_2\text{CO}_3 \downarrow + 2\text{NaNO}_3)$ |
| CO_3^{2-} | Ba^{2+} | Белый осадок: $\text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{BaCO}_3 \downarrow$ $(\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{BaCO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl})$ |
| NO_2^- | H^+ | Бурый газ: $2\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ = 2\text{HNO}_2$ $2\text{HNO}_2 = \text{NO}_2 \uparrow + \text{NO} \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $(2\text{KNO}_2 + 2\text{HCl} = 2\text{KCl} + \text{NO}_2 \uparrow + \text{NO} \uparrow + \text{H}_2\text{O})$ |
| NO_2^- | KI в присутствии раствора мине- ральной кислоты или CH_3COOH | Пожелтение раствора: $2\text{NO}_2^- + 2\text{I}^- + 4\text{H}^+ = 2\text{NO} \uparrow + \text{I}_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $(2\text{NaNO}_2 + 2\text{KI} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO} \uparrow +$ $+ \text{I}_2 \downarrow + 2\text{H}_2\text{O})$ |

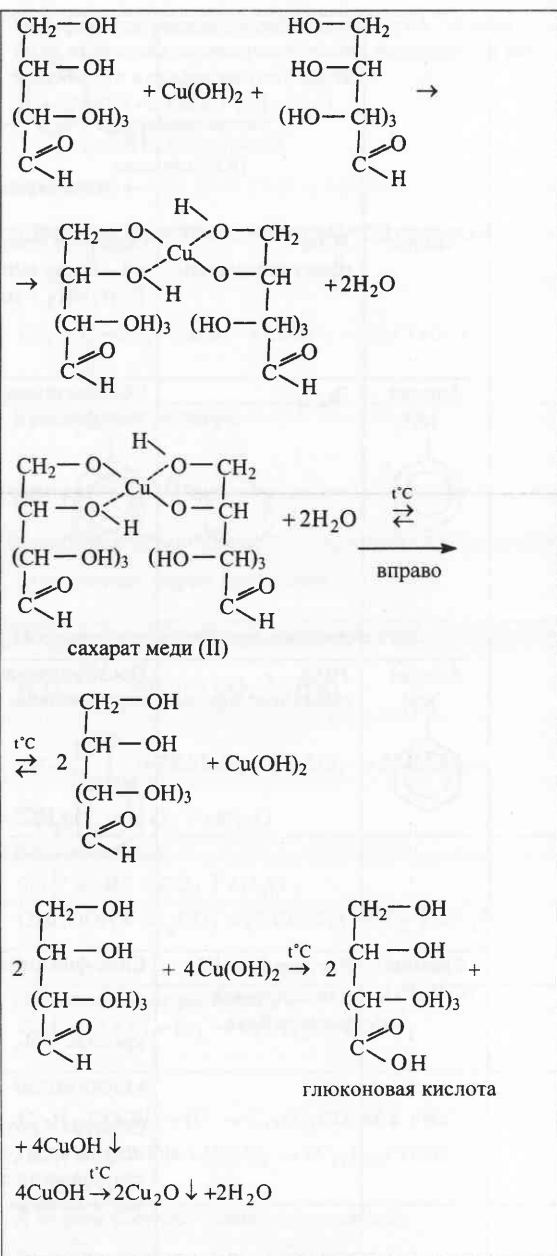
| | | |
|--|---|---|
| SiO_3^{2-} | H^+ | Белый студенистый (желеобразный) осадок: $2\text{H}^+ + \text{SiO}_3^{2-} = \text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow$ $(\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{HCl} = \text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl})$ |
| SiO_3^{2-} | NH_4^+ | Белый студенистый (желеобразный) осадок: $\text{SiO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4^+ = \text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{OH}$ $(\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_4\text{Cl} = \text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow + 2\text{NaCl} +$ $+ 2\text{NH}_4\text{OH})$ |
| SiO_3^{2-} | Ag^+ | Жёлтый осадок: $2\text{Ag}^+ + \text{SiO}_3^{2-} = \text{Ag}_2\text{SiO}_3 \downarrow$ $(2\text{AgNO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 = \text{Ag}_2\text{SiO}_3 \downarrow + 2\text{NaNO}_3)$ |
| CH_3COO^- | $\text{H}_2\text{SO}_4, t^\circ\text{C}$ | Характерный запах: $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ = \text{CH}_3\text{COOH} \uparrow$ |
| CH_3COO^- | FeCl_3 | Раствор, окрашенный в интенсивно-красный, при раз- бавлении и нагревании выпадает бурый осадок основ- ного ацетата железа: $3\text{Fe}^{3+} + 9\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{H}_2\text{O} =$ $= [\text{Fe}_3(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{OH})_2]\text{CH}_3\text{COO} + 2\text{CH}_3\text{COOH}$ $[\text{Fe}(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{OH})_2]^+ + 3\text{H}_2\text{O} =$ $t^\circ\text{C}$ $= \text{Fe}_3(\text{OH})_2\text{O}_3\text{CH}_3\text{COO} \downarrow + 5\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}^+$ $(3\text{FeCl}_3 + 9\text{CH}_3\text{COONa} + 2\text{H}_2\text{O} =$ $= [\text{Fe}_3(\text{CH}_3\text{COO})_6(\text{OH})_2]\text{CH}_3\text{COO} + 2\text{CH}_3\text{COOH} + 9\text{NaCl})$ |
| CH_3COOH характер- ный запах | CO_3^{2-} | Выделение газа: $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CH}_3\text{COONa}$ |
| CH_3COOH характер- ный запах | Лакмус (азолит- мин) $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{NO}_5$ | Красный цвет раствора:  \rightarrow катионная форма соединения |
| Алканы | Пламя | Низшие алканы горят голубоватым пламенем. Обычно определяют путём исключения: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{CO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Алкены $\text{C} = \text{C}$ | Br_2 аq | Обесцвечивание раствора: $\text{CH}_2 = \text{CH}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{BrCH}_2 - \text{CH}_2\text{Br}$ |

| | | |
|---|------------------------------------|--|
| Алкены C = C | KMnO ₄ , H ⁺ | Обесцвечивание раствора: $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 \xrightarrow{[\text{O}]} 2\text{CH}_3-\text{COOH} \text{ или}$ $5\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3 + 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ $\rightarrow 10\text{CH}_3-\text{COOH} + 8\text{MnSO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$ |
| Алкены C = C | KMnO ₄ | Обесцвечивание раствора, выпадение бурого осадка диоксида марганца: $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + [\text{O}] + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \\ \text{этиленгликоль} \end{array}$ $3\text{CH}_2=\text{CH}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} +$ $+ 2\text{MnO}_2 \downarrow + 2\text{KOH}$ |
| Алкены C = C | Горение | Горят слегка желтоватым пламенем (частицы углерода): $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + 3\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ\text{C}} 2\text{CO}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Фенол OH  специфический запах гуаши | FeCl ₃ | Фиолетовое (аметистовое) окрашивание: $6 \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{FeCl}_3 \rightarrow$  <p>(Продукты взаимодействия фенола с ионами железа имеют очень сложную структуру, поэтому в общем случае комплекс можно обозначить (C₆H₅-O)_nFe³⁺).</p> |

| | | |
|---|---|---|
| Фенол OH  специфический запах гуаши | Br ₂ aq | Белый осадок, обесцвечивание: $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 3\text{Br}_2 \rightarrow \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_2 \\ \\ \text{Br} \end{array} + 3\text{HBr}$ <p>2, 4, 6-трибромфенол</p> |
| Спирты C _n H _{2n+1} OH | Na _{мет.} | Выделение водорода: $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2 \uparrow$ |
| Спирты C _n H _{2n+1} OH | CuO, t ^o C | Запах ацетальдегида (этиловый спирт); медная проволока, покрытая чёрным налётом, становится блестящей: $\text{C}_2\text{H}_5-\text{OH} + \text{CuO} \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + \text{Cu} + \text{H}_2\text{O}$ |
| Спирты C _n H _{2n+1} OH | Горение | Горят светлым голубоватым пламенем: $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ\text{C}} 2\text{CO}_2 \uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ |
| Многоатомные спирты | Свежеприготовленный Cu(OH) ₂ | 2NaOH + CuSO ₄ = Cu(OH) ₂ ↓ + Na ₂ SO ₄ Ярко-синее окрашивание: $2 \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} + \text{Cu(OH)}_2 \rightarrow \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\ \quad / \quad \backslash \quad \\ \text{CH}_2-\text{O} \quad \text{Cu} \quad \text{O}-\text{CH}_2 \\ \quad \backslash \quad / \quad \\ \text{CH}_2-\text{O} \quad \text{H} \end{array} +$ <p>этиленгликолят</p> $+ 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Альдегиды R-C(=O)-H | Свежеприготовленный Cu(OH) ₂ , t ^o C | Красный мелкокристаллический осадок: $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + 2\text{Cu(OH)}_2 \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + \text{Cu}_2\text{O} \downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Альдегиды R-C(=O)-H | [Ag(NH ₃) ₂]OH аммиачный раствор оксида серебра, t ^o C | Реакция «серебряного зеркала», серебряный налёт на стекле: $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + 2[\text{Ag(NH}_3)_2]\text{OH} \xrightarrow{t^\circ\text{C}} \text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{ONH}_4 +$ $+ 2\text{Ag} \downarrow + 3\text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ |
| Альдегиды R-C(=O)-H | NaHSO ₃ , гидросульфит натрия (бисульфит натрия) | Кристаллический осадок натриевой соли α-оксисульфокислот: $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{H} + \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{SO}_3\text{Na} \downarrow$ |

| | | |
|--|--|--|
| Метилкетоны $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$ | Конц. раствор I_2 , OH^- | Йодоформная реакция: исчезновение бурой окраски йода, появление характерного запаха йодоформа и выпадение его в осадок желтого цвета: $\text{I}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaOI} + \text{NaI} + \text{H}_2\text{O}$ гипоиодид натрия (соль иодноватистой кислоты HOI) $\text{CH}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 + 3\text{NaOI} \rightarrow \text{Cl}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 + 3\text{NaOH}$ $\text{Cl}_3-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{CHI}_3 \downarrow + \text{CH}_3\text{COONa}$ |
| Муравьиная кислота $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | Лакмус (азолитмин) $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{NO}_5$ | Красный цвет раствора:  + $\text{H}^+ \rightarrow$ → катионная форма соединения |
| Муравьиная кислота $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | KMnO_4 , H^+ | Обесцвечивание раствора, выделение газа: $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + [\text{O}] \rightarrow \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $5\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 5\text{CO}_2 \uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ |
| Муравьиная кислота $\text{H}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OH}$ | Na_2CO_3 | Выделение газа: $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ = \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$ $(2\text{HCOOH} + \text{Na}_2\text{CO}_3 = 2\text{HCOONa} + \text{CO}_2 \uparrow + \text{H}_2\text{O})$ |
| Олеиновая кислота | Br_2 аq | Обесцвечивание раствора: $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{Br}_2\text{COOH}$ |
| Стеарат натрия, раствор мыла | H^+ | Белые хлопья: $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa} + \text{H}^+ \rightarrow \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} \downarrow + \text{Na}^+$ $(2\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4)$ |
| Амины | Лакмус (азолитмин) $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{NO}_5$ | В водном растворе – синее окрашивание: $\text{R}-\ddot{\text{N}}\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{R}-\overset{+}{\text{N}}\text{H}_3\text{OH}^-$ |

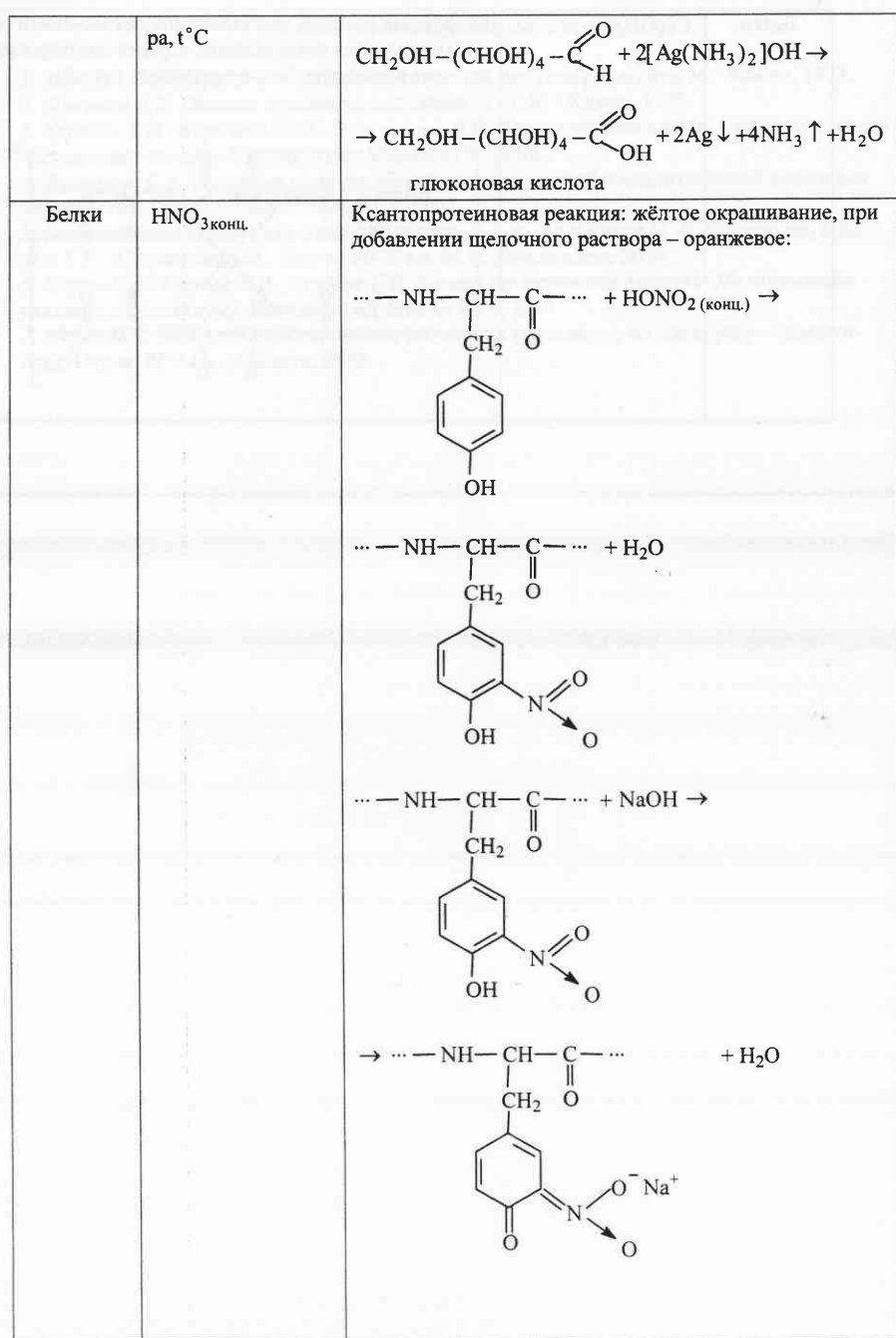
| | | |
|---|---|---|
| | |  + $\text{R}-\overset{+}{\text{N}}\text{H}_3\text{OH}^- \rightarrow$ → синее окрашивание |
| Амины | HNaI галогеноводороды | Образуют алкиламмониевые соли с галогеноводородами – после выпаривания твёрдый осадок: $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{HCl} \rightarrow [\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3]\text{Cl}$ хлорид этиламмония |
| Анилин  | Br_2 аq | Обесцвечивание, белый осадок:  2, 4, 6 – триброманилин |
| Анилин  | HNaI галогеноводороды | После упаривания твёрдый осадок – соль гидрогалогенида анилина:  хлорид фениламмония |
| Крахмал $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ | Раствор I_2 в KI или спиртовой раствор йода | Сине-фиолетовое окрашивание: $\text{крахмал} + n\text{I}_2 \xrightleftharpoons[\text{Нагревание}]{\text{Охлаждение}} \text{Соединение включения (клатрат)}$ (Клатрат – это комплексное соединение, в котором молекулы йода («молекулы-гости») внедряются в структуру молекул амилозы (составляющей крахмала) – «молекул-хозяев».) |
| Глюкоза $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | $\text{Cu}(\text{OH})_2$, затем $t^\circ\text{C}$ | Ярко-синий раствор, при нагревании выпадает красный осадок оксида меди (I): |



Глюкоза
C₆H₁₂O₆

[Ag(NH₃)₂]OH
аммиачный рас-
твор оксида сереб-

Реакция «серебряного зеркала», серебряный налёт на
стекле:



| | | |
|-------|--------------------------|--|
| Белки | $\text{Cu}(\text{OH})_2$ | <p>Биуретовая реакция: появление фиолетово-синей окраски (не является качественной, служит подтверждением наличия в молекуле белка пептидных связей):</p>  |
|-------|--------------------------|--|

Список рекомендуемой литературы:

1. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. М.: Химия, 1973.
2. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Т. 1. М.: Химия, 1970.
3. Куркова Т.Н., Королева Ю.В., Веремейчик Я.В. Аналитическая химия. Практикум по качественному анализу. Калининград: Изд-во КГУ, 2002.
4. Фунтиков В.А. Основные понятия общей, неорганической и аналитической химии для биоэкологов. Калининград: Изд-во КГУ, 2002.
5. Качественный химический анализ. Практикум для школьников / Г.В. Прохорова; Под ред. Т.Н. Шеховцовой. М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2006.
6. Мороз Н.Е., Мазова О.В., Дундене Г.В. Анализ органических веществ: Методические указания к практикуму. Калининград: Изд-во КГУ, 2001.
7. Мороз Н.Е. Биохимия: Методические указания к практикуму по спецкурсу. Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2005.

Андрей Игоревич Павлютенко
Качественные реакции в химии
Изд-во МАОУ СОШ № 31 г. Калининграда, 2013 год, 26 с.

