

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ УКРАИНЫ



В. В. Болотов, Т. В. Жукова, Е. Е. Микитенко, Е. Н. Свечникова,  
Ю. В. Сыч, Т. А. Костина, И. Ю. Петухова, В. П. Мороз

# **АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ В СХЕМАХ И ТАБЛИЦАХ**

## **СПРАВОЧНИК**

Харьков  
Издательство НФАУ  
“Золотые страницы”  
2002

УДК 543.06(075)

ББК 24.44я2-2

А64

*Рекомендовано Научно-методической комиссией по фармации  
Министерства образования и науки Украины  
(протокол № 5 от 18.10.2001 г.)*

**Рецензенты:** доктор фармацевтических наук, профессор *В. И. Кабачный* (Национальная фармацевтическая академия Украины); доктор фармацевтических наук, профессор *В. С. Бондарь* (Национальная фармацевтическая академия Украины)

Довідник містить таблиці та схеми, що стосуються загальних і окремих питань якісного та кількісного аналізу, відомості про рівноваги в гомогенних та гетерогенних системах. Наведені приклади розв'язання типових задач, таблиці, які містять відомості для виконання розрахунків при розв'язанні задач і проведенні лабораторних робіт.

Призначено для студентів фармацевтичних вузів і факультетів за спеціальностями “Фармація”, “Технологія фармацевтичних препаратів”, “Клінічна фармація”, “Технологія парфумерно-косметичних засобів”, “Біотехнологія”, “Лабораторна діагностика”.

**Аналитическая химия в схемах и таблицах:** Справочник для студ. А64 фармац. вузов / В. В. Болотов, Т. В. Жукова, Е. Е. Микитенко и др.; Под общ. ред. В. В. Болотова. – Х.: Изд-во НФАУ: Золотые страницы, 2002 – 172 с.

ISBN 966-615-132-4

ISBN 966-80-32-36-5

Справочник содержит таблицы и схемы, касающиеся общих и частных вопросов качественного и количественного анализа, сведения о равновесиях в гомогенных и гетерогенных системах. Приведены примеры решения типовых задач, таблицы, содержащие сведения для выполнения расчетов при решении задач и проведении лабораторных работ.

Предназначен для студентов фармацевтических вузов и фармацевтических факультетов по специальностям «Фармация», «Технология фармацевтических препаратов», «Клиническая фармация», «Технология парфюмерно-косметических средств», «Биотехнология», «Лабораторная диагностика».

**УДК 543.06(075)**

**ББК 24.44я2-2**

ISBN 966-615-132-4  
ISBN 966-80-32-36-5

© Болотов В.В., Жукова Т.В.,  
Микитенко Е.Е. и др., 2002  
© НФАУ, 2002

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ</b> .....	7
Таблица 1. Структура современной аналитической химии.....	8
Таблица 2. Классификация методов анализа в зависимости от количества анализируемого вещества .....	9
Таблица 3. Типы качественного анализа .....	9
Таблица 4. Аналитические признаки реакций .....	10
Таблица 5. Методы аналитической классификации катионов.....	10
Таблица 5.1. Классификация катионов по сероводородному методу анализа.....	11
Таблица 5.2. Классификация катионов по кислотно-основному методу анализа.....	12
Таблица 5.3. Классификация катионов по аммиачно-фосфатному методу анализа.....	12
Таблица 6. Систематический ход анализа катионов I аналитической группы .....	13
Схема 1. Схема систематического хода анализа катионов I аналитической группы .....	14
Таблица 7. Систематический ход анализа катионов II аналитической группы .....	15
Схема 2. Схема систематического хода анализа катионов II аналитической группы.....	16
Таблица 8. Систематический ход анализа катионов III аналитической группы .....	17
Схема 3. Схема систематического хода анализа катионов III аналитической группы.....	19
Таблица 9. Систематический ход анализа катионов IV аналитической группы .....	20
Схема 4. Схема систематического хода анализа катионов IV аналитической группы .....	22
Таблица 10. Систематический ход анализа катионов V аналитической группы .....	23
Схема 5. Схема систематического хода анализа катионов V аналитической группы.....	25
Таблица 11. Систематический ход анализа катионов VI аналитической группы .....	26
Схема 6. Схема систематического хода анализа катионов VI аналитической группы .....	28
Таблица 12. Этапы систематического хода анализа смеси катионов I-VI аналитических групп без осадка .....	29
Схема 7. Схема анализа смеси катионов I- VI аналитических групп без осадка .....	36
Таблица 13. Аналитическая классификация анионов, основанная на различной растворимости солей $Ba^{2+}$ и $Ag^+$ .....	37
Таблица 14. Анионы, образующие газообразные продукты при действии сильных кислот .....	37
Таблица 15. Классификация анионов по окислительно-восстановительным свойствам.....	38

Таблица 16. Реагенты, используемые для дробного обнаружения анионов I-III группы и соответствующие продукты реакций .....	39
Таблица 17. Реакции катионов II-VI аналитических групп при приготовлении содовой вытяжки .....	42
Таблица 18. Систематический ход анализа смеси серусодержащих анионов .....	43
Схема 8. Схема анализа $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{SO}_3^{2-}$ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , $\text{S}^{2-}$ при их совместном присутствии .....	44
Таблица 19. Систематический ход анализа смеси галогенид-ионов .....	45
Схема 9. Схема анализа смеси галогенид-ионов ( $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ ) .....	46
Таблица 20. Систематический ход анализа смеси азотсодержащих анионов .....	47
Схема 10. Схема анализа смеси анионов: $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ .....	48
<b>Равновесия в растворах электролитов.....</b>	<b>49</b>
<b>Равновесия в растворах кислот и оснований .....</b>	<b>53</b>
<b>Равновесия в гетерогенных системах.....</b>	<b>57</b>
<b>Равновесия в растворах гидролизующихся солей .....</b>	<b>59</b>
<b>Равновесия в буферных растворах .....</b>	<b>62</b>
<b>Равновесия в растворах комплексных соединений.....</b>	<b>65</b>
<b>Окислительно-восстановительные процессы .....</b>	<b>67</b>
<b>КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ .....</b>	<b>71</b>
Схема 1. Классификация методов количественного анализа .....	72
Схема 2. Классификация титриметрических методов анализа по типу химической реакции, лежащей в основе метода .....	73
Схема 3. Классификация титриметрических методов анализа по способу титрования .....	74
Схема 4. Классификация титриметрических методов анализа по способу фиксирования точки эквивалентности .....	75
Таблица 1. Гравиметрический метод анализа.....	76
Таблица 2. Кислотно-основное титрование.....	78
Таблица 3. Осадительное титрование .....	79
Таблица 4. Меркуриметрическое титрование .....	81
Таблица 5. Комплексометрическое титрование .....	82
Схема 5. Методы окислительно-восстановительного титрования.....	84
Таблица 6. Перманганатометрическое титрование.....	85
Таблица 7. Йодометрическое титрование.....	86
Таблица 8. Йодхлориметрическое титрование.....	88
Таблица 9. Броматометрическое титрование .....	89
Таблица 10. Нитритометрическое титрование .....	90
Таблица 11. Хроматометрическое титрование .....	91
Таблица 12. Цериметрическое титрование .....	92
<b>Расчетные формулы в титриметрическом анализе.....</b>	<b>93</b>
<b>Примеры решения типовых задач по теме</b>	
<b>«Статистическая обработка результатов» .....</b>	<b>97</b>
<i>Основные статистические характеристики .....</i>	<i>97</i>
<i>Оценка доверительного интервала результатов анализа.....</i>	<i>97</i>
<b>Оптические методы анализа .....</b>	<b>102</b>
Схема 1. Классификация оптических методов анализа .....	102
Схема 2. Методы молекулярно-абсорбционного анализа.....	103

Таблица 1. Характеристика методов колориметрии и фотоэлектрocolориметрии.....	104
Таблица 2. Применение ИК- и УФ-спектроскопии в анализе.....	105
Схема 3. Классификация колебательных ИК-спектров .....	106
<b>Основные термины и понятия в методах спектроскопии.....</b>	<b>107</b>
Таблица 3. Характеристические частоты колебаний некоторых структурных элементов и углерод-углеродных связей в ИК-области .....	108
Таблица 4. Длины волн спектра и соответствующие им окраски.....	111
Таблица 5. ....	111
Таблица 5.1 .....	111
Схема 4. Эмиссионные методы анализа .....	112
Таблица 6. Эмиссионный спектральный анализ .....	113
Таблица 7. Эмиссионная пламенная фотометрия.....	114
Таблица 8. Флуориметрия .....	115
Схема 5. Методы, основанные на измерении интенсивности света при взаимодействии со взвешенными частицами в растворе .....	116
Таблица 9. Способы количественного определения в методах турбидиметрии и нефелометрии.....	117
Схема 6. Методы, основанные на явлении поляризации молекул под действием светового излучения.....	118
Таблица 10. Возможности методов рефрактометрии и поляриметрии.....	119
<b>Основные методы определения концентраций в фотометрии.....</b>	<b>120</b>
Таблица 11. Показатели преломления спирто-водных растворов, концентрация которых выражена в об.% .....	123
Таблица 12. Факторы показателей преломления (F) водных растворов лекарственных средств с весо-объемной концентрацией .....	124
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>129</b>
Таблица 1. Ионное произведение воды $K_{H_2O}$ при различной температуре .....	130
Таблица 2. Плотность и концентрация некоторых растворов кислот и щелочей ( $t=20^{\circ}C$ ) .....	130
Таблица 3. Константы ионизации кислот (константы кислотности) .....	134
Таблица 4. Константы ионизации оснований (константы основности) .....	136
Таблица 5. Буферные смеси.....	137
Таблица 6. Термодинамические ( $PP^T$ ) и концентрационные ( $PP^K$ ) произведения растворимости, растворимость (S) некоторых электролитов .....	140
Таблица 7. Стандартные окислительные потенциалы в водных растворах по отношению к водородному электроду .....	144
Таблица 8. Комплексы с неорганическими лигандами и их константы устойчивости ( $\beta$ ) .....	155
Таблица 9. Комплексы с органическими лигандами и их константы устойчивости ( $\beta$ ) .....	159
Таблица 10. Вычисление результатов титриметрических определений .....	161
Таблица 11. Характеристики кислотно-основных индикаторов.....	164
Таблица 12. Характеристики адсорбционных индикаторов .....	165
Таблица 13. Характеристики металлохромных индикаторов .....	166
Таблица 14. Характеристики окислительно-восстановительных индикаторов .....	170
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>171</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Аналитической химии отводится важное место в системе подготовки специалистов с высшим фармацевтическим образованием, т.к. она является основой для изучения таких специальных дисциплин, как фармацевтическая химия, фармакогнозия, технология лекарств и др.

Одним из факторов, способствующим усвоению материала по любой дисциплине, является наглядность в преподавании. При изучении аналитической химии значительная доля времени отводится разнообразным методам вычислений, относящихся к химическому анализу. Обучение этим методам сводится в основном к самостоятельной работе студентов и требует наличия разнообразного фактического справочного материала.

Справочники по аналитической химии (например, Ю.Ю.Лурье "Справочник по аналитической химии". – М.: Изд. «Химия», 1989) стали к настоящему времени библиографической редкостью.

Предлагаемый справочник составлен группой преподавателей кафедры аналитической химии Национальной фармацевтической академии Украины.

Справочник состоит из трех разделов: качественный анализ, количественный анализ, приложения.

В разделе **качественный анализ** приведены в виде схем данные, касающиеся общих вопросов аналитической химии, таблицы и схемы по систематическому качественному анализу катионов (кислотно-основный метод), анализу анионов, основные сведения и примеры расчетов равновесий в гомогенных и гетерогенных системах, а также задачи для самостоятельной работы.

Раздел **количественный анализ** включает схемы, отражающие классификацию методов анализа, и таблицы с основными сведениями о классической титриметрии и гравиметрии.

Приведены основные расчетные формулы по объемному и гравиметрическому анализу, основные сведения и примеры расчетов по статистической обработке результатов количественных определений. В заключительной части этого раздела приведены основные данные по оптическим методам анализа и необходимый для расчетов информационный материал.

В разделе **приложения** приведены таблицы, содержащие фактический материал, необходимый при проведении химико-аналитических определений.

Справочник содержит лишь минимум необходимых сведений по аналитической химии и для освоения предмета студенты должны пользоваться соответствующими учебниками, руководствами, монографиями.

# **КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ**

**СТРУКТУРА СОВРЕМЕННОЙ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**



Таблица 2

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ АНАЛИЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА АНАЛИЗИРУЕМОГО ВЕЩЕСТВА

Название метода анализа		Анализируемое вещество	
		масса пробы, г	объем пробы, мл
Макроанализ	Грамм-метод	1-10	10-100
Полумикроанализ	Сантиграмм-метод	0,05-0,5	1-10
Микроанализ	Миллиграмм-метод	$0,01-10^{-6}$	$0,1-10^{-4}$
Ультрамикроанализ	Микрограмм-метод	$10^{-6}-10^{-9}$	$10^{-4}-10^{-6}$
Субмикроанализ	Нанограмм-метод	$10^{-9}-10^{-12}$	$10^{-7}-10^{-10}$

Таблица 3

## ТИПЫ КАЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА

Дробный анализ	Систематический анализ
<p>В дробном анализе состав вещества определяют специфическими реакциями, которые позволяют обнаружить анализируемый ион в присутствии других ионов</p>	<p>В систематическом анализе сложную смесь ионов сначала разделяют с помощью <i>групповых реагентов</i> на несколько отдельных групп, затем в пределах каждой группы обнаруживают отдельные ионы характерными реакциями, в определенной последовательности</p> <p><i>Групповой реагент</i> – это реагент, который используют для обнаружения и отделения аналитической группы ионов</p> <p><i>Требования к групповому реагенту:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Должен отделять ионы группы практически полностью <math>C_{ост} \leq 10^{-5}</math> моль·л<sup>-1</sup></li> <li>2. Отделенная под действием группового реагента аналитическая группа должна легко подвергаться аналитической обработке</li> <li>3. Избыток группового реагента не должен мешать дальнейшему анализу</li> </ol>

Таблица 4

### АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РЕАКЦИЙ

Аналитические признаки	Пример
1. Образование характерного осадка	$3\text{Fe}^{2+} + 2[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \downarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ (свежеосажденный синий осадок)
2. Изменение окраски раствора	$\text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3 \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ (голубой раствор)
3. Выделение газа	$\text{FeS} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \uparrow \text{H}_2\text{S}$ (характерный запах)
4. Выделение или поглощение тепла	$\text{HCN} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}$ (с выделением тепла) $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (с поглощением тепла)

Таблица 5

### МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ КАТИОНОВ

Метод анализа	На чем основан метод анализа
Сероводородный метод анализа (табл.5.1)	На различной растворимости сульфидов металлов
Кислотно-основной метод анализа (табл.5.2)	На различном отношении катионов к кислотам (HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) и основаниям (NaOH, NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O)
Аммиачно-фосфатный метод анализа (табл.5.3)	На различной растворимости фосфатов катионов в воде и растворе аммиака

**КЛАССИФИКАЦИЯ КАТИОНОВ  
ПО СЕРОВОДОРОДНОМУ МЕТОДУ АНАЛИЗА**

Группа	Катионы	Групповой реагент	Растворимость соединений
I	$K^+$ , $Na^+$ , $NH_4^+$ , $Mg^{2+}$	Отсутствует	Сульфиды, карбонаты*, хлориды и гидроксиды*, растворяются в воде
II	$Ba^{2+}$ , $Sr^{2+}$ , $Ca^{2+}$	$(NH_4)_2CO_3$ , $NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl$ , pH=9,25	Карбонаты, не растворяются в воде
III	$Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ , $Cr^{3+}$ , $Al^{3+}$ , $Mn^{2+}$ , $Ni^{2+}$ , $Zn^{2+}$ , $Co^{2+}$ ,	$(NH_4)_2S$ , $NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl$ , pH=9,25	Сульфиды, не растворяются в воде**, но растворяются в разбавленных минеральных кислотах
IV	$Cu^{2+}$ , $Hg^{2+}$ , $Bi^{3+}$ , $Sn^{2+}$ , $Sn(IV)$ , $Sb(III)$ , $Sb(V)$ , $As(III)$ , $As(V)$	$H_2S$ , $HCl$ , pH=0,5	Сульфиды, не растворяются в воде и разбавленных минеральных кислотах
V	$Ag^+$ , $Pb^{2+}$ , $Hg_2^{2+}$	$HCl$	Хлориды, не растворяются в воде и разбавленных минеральных кислотах

\* – исключая  $Mg^{2+}$ .

\*\* – сульфиды  $Cr^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  разлагаются водой и в растворе не существуют.

Таблица 5.2

**КЛАССИФИКАЦИЯ КАТИОНОВ  
ПО КИСЛОТНО-ОСНОВНОМУ МЕТОДУ АНАЛИЗА**

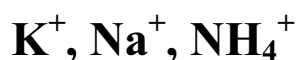
Группа	Катионы	Групповой реагент	Растворимость соединений
I	$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$	Отсутствует	Хлориды, сульфаты и гидроксиды, растворяются в воде
II	$\text{Ag}^+$ , $\text{Pb}^+$ , $\text{Hg}_2^{2+}$	$\text{HCl}$ 2M p-p	Хлориды, не растворяются в воде
III	$\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$ 1M p-p + $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	Сульфаты, не растворяются в воде
IV	$\text{Al}^{3+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Sn (II)}$ , $\text{Sn (IV)}$ , $\text{As (III)}$ , $\text{As (V)}$	Избыток конц. $\text{NaOH}$ 6M p-p + $+ 3\% \text{H}_2\text{O}_2$	Гидроксиды не растворяются в воде, но растворяются в избытке щелочи
V	$\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Bi}^{3+}$ , $\text{Sb (III)}$ , $\text{Sb (V)}$	Избыток конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Гидроксиды, не растворяются в воде, избытке щелочи и аммиаке
VI	$\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Hg}^{2+}$	Избыток конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Гидроксиды, не растворяются в воде, избытке щелочи, но растворяются в избытке аммиака

Таблица 5.3

**КЛАССИФИКАЦИЯ КАТИОНОВ  
ПО АММИАЧНО-ФОСФАТНОМУ МЕТОДУ АНАЛИЗА**

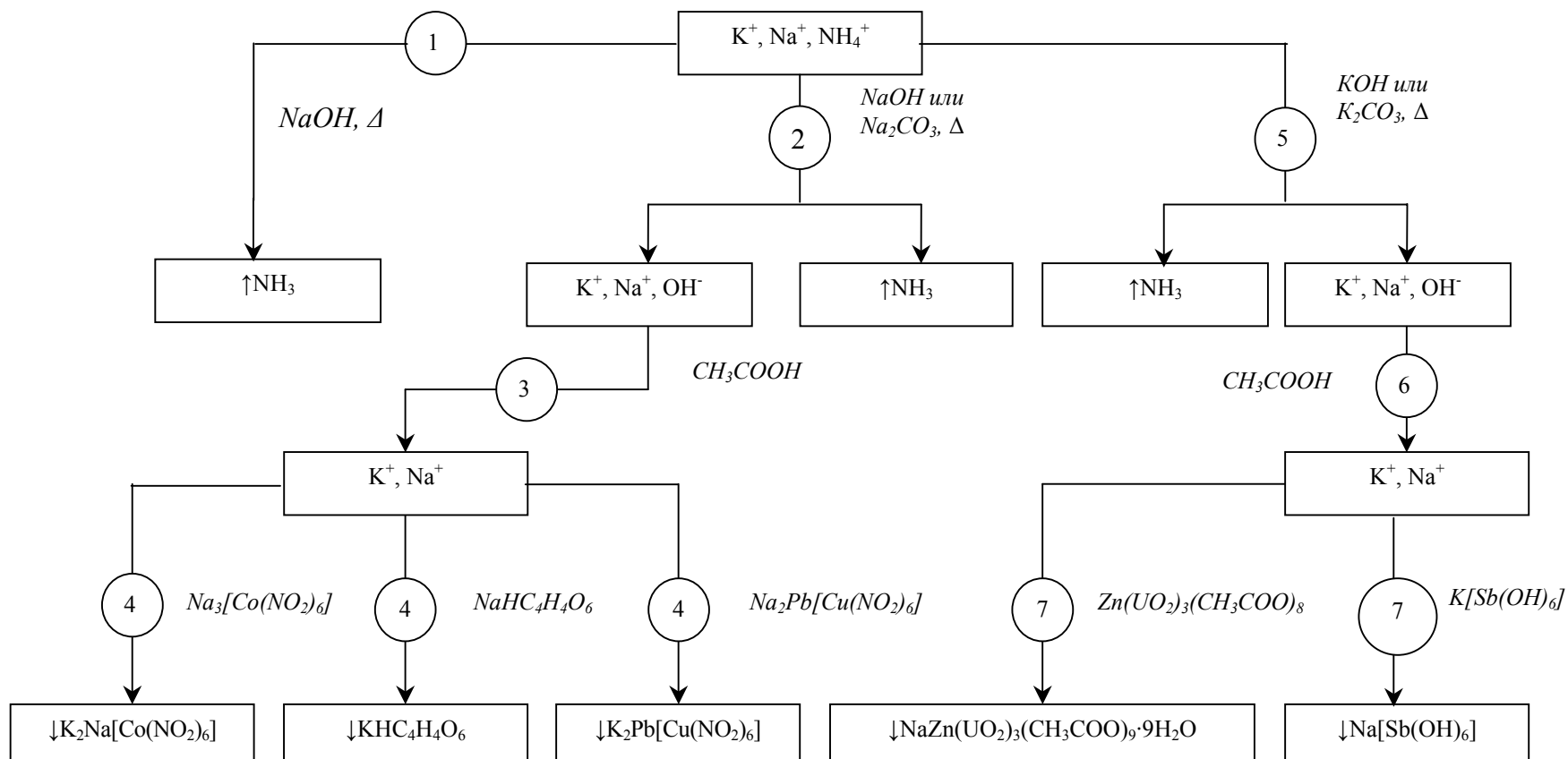
Группа	Катионы	Групповой реагент	Растворимость соединений
I	$\text{Ag}^+$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Hg}_2^{2+}$	$\text{HCl}$	Хлориды, не растворяются в воде
II	$\text{Sn}^{2+}$ , $\text{Sn (IV)}$ , $\text{Sb (III)}$ , $\text{Sb (V)}$	$\text{HNO}_3$	Метасурьмяная и метаоловянная кислоты, не растворяются в воде
III	$\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Fe}^{3+}$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Фосфаты, не растворяются в воде и в избытке раствора аммиака
IV	$\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Фосфаты, не растворяются в воде, но растворяются в избытке раствора аммиака
V	$\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$	Отсутствует	Хлориды, нитраты и фосфаты, растворяются в воде

**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ I АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**

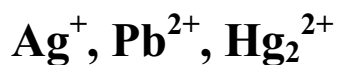


№ этапа	Этапы исследования
1	Обнаружение ионов $NH_4^+$ в отдельной пробе действием раствора щелочи при нагревании: $NH_4^+ \xrightarrow{NaOH, \Delta} NH_3 \uparrow$
2	Удаление ионов $NH_4^+$ из отдельной пробы перед обнаружением ионов $K^+$ действием раствора $NaOH$ или $Na_2CO_3$ при нагревании: $NH_4^+ \xrightarrow{NaOH (Na_2CO_3), \Delta} NH_3 \uparrow$
3	Нейтрализация раствора 2 уксусной кислотой.
4	Обнаружение ионов $K^+$ в растворе 3 реагентами $NaHC_4H_4O_6$ , $Na_3[Co(NO_2)_6]$ , $Na_2Pb[Cu(NO_2)_6]$ : $K^+ \xrightarrow{NaHC_4H_4O_6} KHC_4H_4O_6 \downarrow$ $K^+ \xrightarrow{Na_3[Co(NO_2)_6]} K_2Na[Co(NO_2)_6] \downarrow$ $K^+ \xrightarrow{Na_2Pb[Cu(NO_2)_6]} K_2Pb[Cu(NO_2)_6] \downarrow$
5	Удаление ионов $NH_4^+$ из отдельной пробы перед обнаружением ионов $Na^+$ действием раствора $KOH$ или $K_2CO_3$ при нагревании: $NH_4^+ \xrightarrow{KOH (K_2CO_3), \Delta} NH_3 \uparrow$
6	Нейтрализация раствора 5 уксусной кислотой.
7	Обнаружение ионов $Na^+$ в растворе 6 реагентами $K[Sb(OH)_6]$ , $Zn(UO_2)_3(CH_3COO)_8$ : $Na^+ \xrightarrow{K[Sb(OH)_6]} Na[Sb(OH)_6] \downarrow$ $Na^+ \xrightarrow{Zn(UO_2)_3(CH_3COO)_8} NaZn(UO_2)_3(CH_3COO)_9 \cdot 9H_2O \downarrow$

**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА КАТИОНОВ I АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**

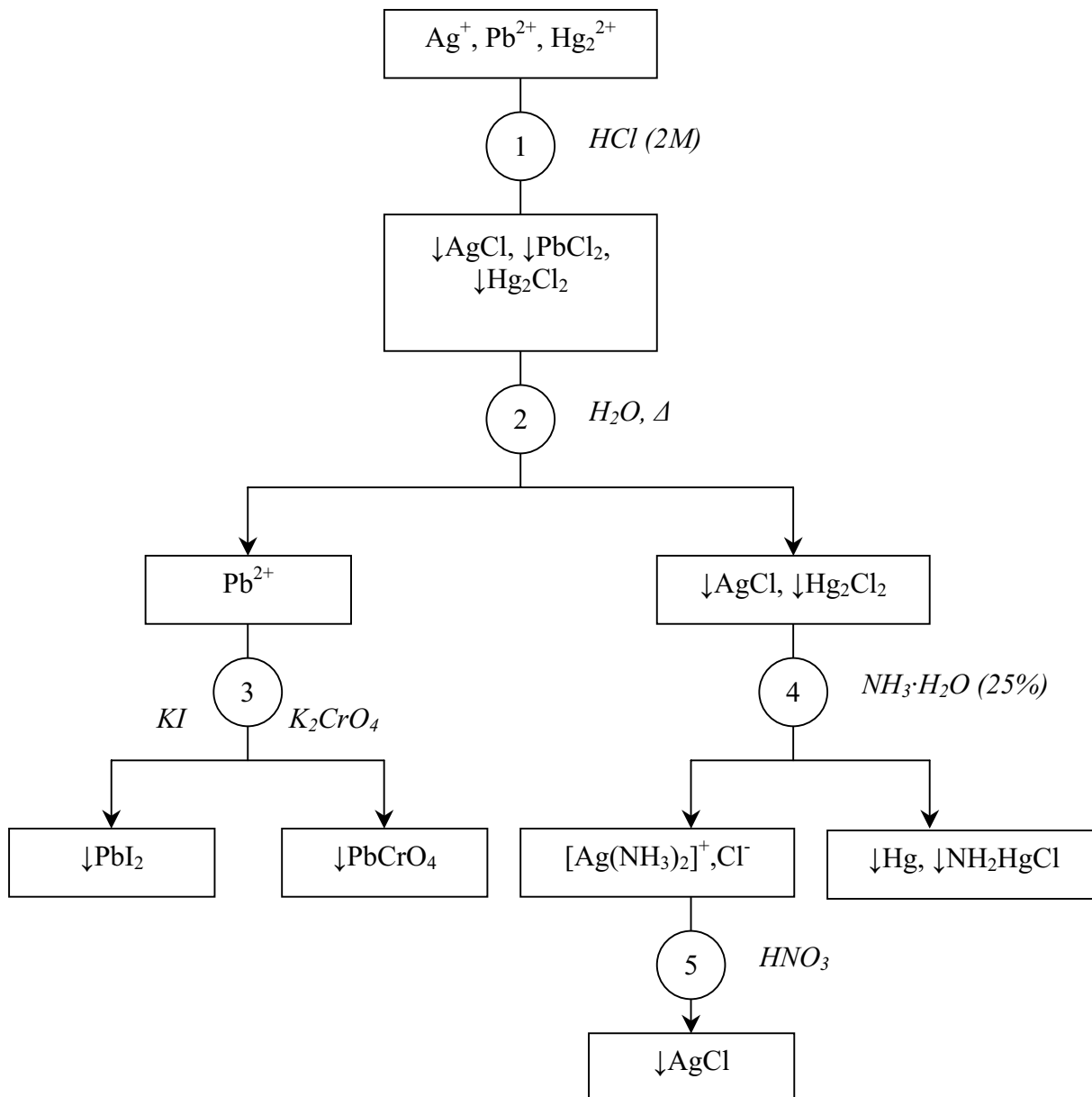


**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ II АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



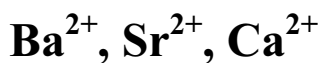
№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Осаждение катионов II аналитической группы действием 2М HCl:</p> <p align="center">HCl</p> $\text{Ag}^+ \longrightarrow \text{AgCl}\downarrow \quad \text{ПР}_{\text{AgCl}} = 1,78 \cdot 10^{-10}$ <p align="center">HCl</p> $\text{Pb}^{2+} \longrightarrow \text{PbCl}_2\downarrow \quad \text{ПР}_{\text{PbCl}_2} = 1,6 \cdot 10^{-5}$ <p align="center">HCl</p> $\text{Hg}_2^{2+} \longrightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow \quad \text{ПР}_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2} = 1,3 \cdot 10^{-18}$ <p>Промывание осадка водой, содержащей HCl</p>
2	<p>Отделение катионов свинца промыванием осадка 1 горячей водой:</p> <p align="center"><math>\text{H}_2\text{O}, \Delta</math></p> $\text{PbCl}_2\downarrow \longrightarrow \text{Pb}^{2+}$
3	<p>Обнаружение катионов <math>\text{Pb}^{2+}</math> в центрифугате 2 действием растворов <math>\text{K}_2\text{CrO}_4</math> или KI:</p> <p align="center"><math>\text{K}_2\text{CrO}_4</math></p> $\text{Pb}^{2+} \longrightarrow \text{PbCrO}_4\downarrow$ <p align="center">KI</p> $\text{Pb}^{2+} \longrightarrow \text{PbI}_2\downarrow$
4	<p>Отделение катионов <math>\text{Ag}^+</math> и обнаружение катионов <math>\text{Hg}_2^{2+}</math> действием на осадок 2 раствора <math>\text{NH}_3</math>:</p> <p align="center"><math>\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}</math></p> $\text{AgCl}\downarrow \longrightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^- \quad (\text{раствор})$ <p align="center"><math>\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}</math></p> $\text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow \longrightarrow [\text{HgNH}_2]\text{Cl}\downarrow + \text{Hg}\downarrow$
5	<p>Обнаружение катионов <math>\text{Ag}^+</math> действием на раствор 4 конц. <math>\text{HNO}_3</math>:</p> <p align="center">конц. <math>\text{HNO}_3</math></p> $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl}\downarrow$

**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ II АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**





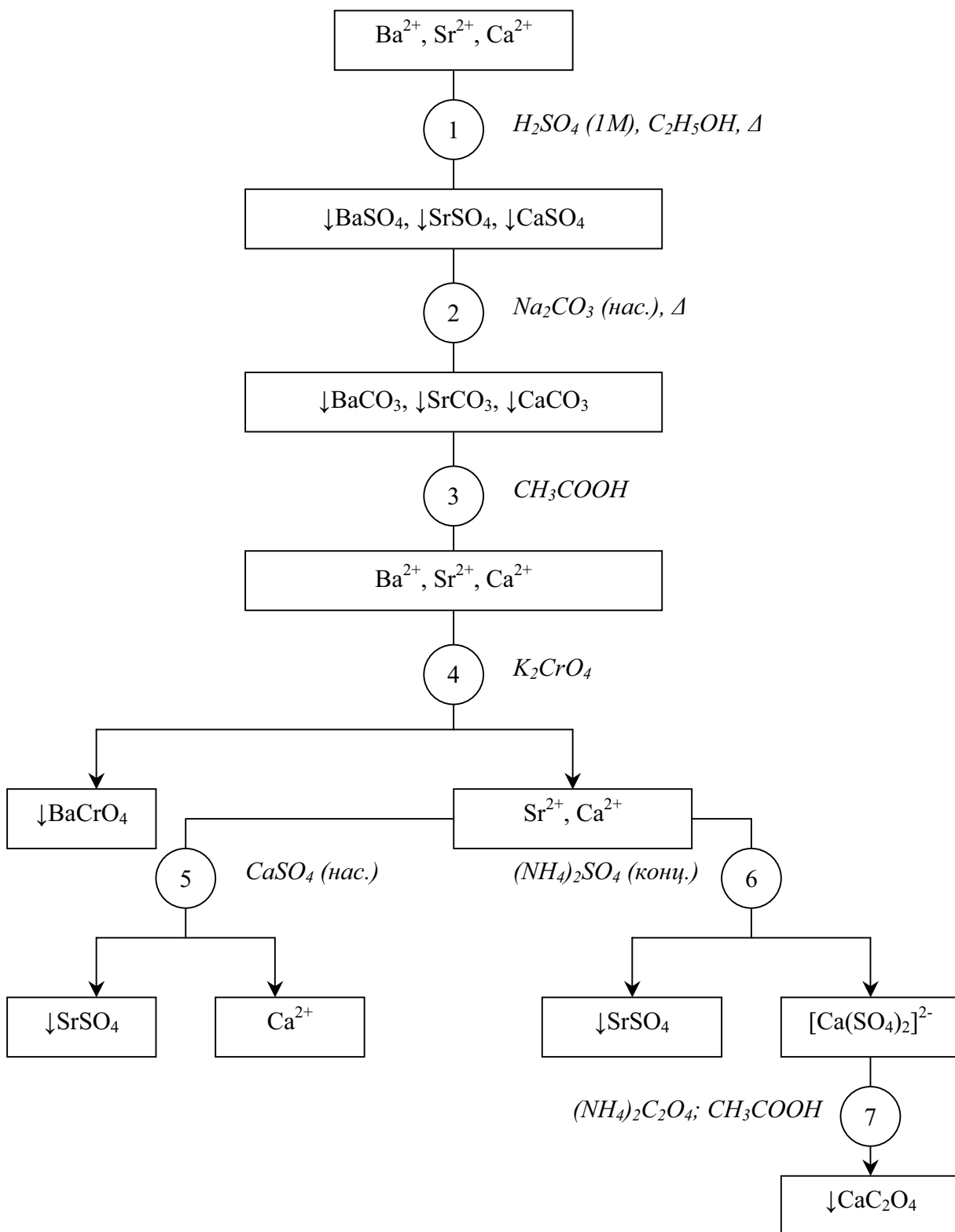
**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ III АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Осаждение катионов III аналитической группы действием 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в присутствии C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH при нагревании:</p> $\text{Ba}^{2+} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4, \Delta} \text{BaSO}_4 \downarrow$ <p>PP<sub>BaSO<sub>4</sub></sub> = 1,1 · 10<sup>-10</sup></p> $\text{Sr}^{2+} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4, \Delta} \text{SrSO}_4 \downarrow$ <p>PP<sub>SrSO<sub>4</sub></sub> = 3,2 · 10<sup>-7</sup></p> $\text{Ca}^{2+} \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4, \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}, \Delta} \text{CaSO}_4 \downarrow \quad \text{PP}_{\text{CaSO}_4} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ <p>Промывание осадка водой, содержащей H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></p>
2	<p>Переосаждение осадков сульфатов катионов III аналитической группы в осадки их карбонатов действием насыщенного раствора Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> при кипячении:</p> $\text{BaSO}_4 \downarrow \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{BaCO}_3 \downarrow \quad \text{PP}_{\text{BaCO}_3} = 4,0 \cdot 10^{-10}$ $\text{SrSO}_4 \downarrow \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{SrCO}_3 \downarrow \quad \text{PP}_{\text{SrCO}_3} = 1,1 \cdot 10^{-10}$ $\text{CaSO}_4 \downarrow \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{CaCO}_3 \downarrow \quad \text{PP}_{\text{CaCO}_3} = 3,8 \cdot 10^{-9}$ <p>Промывание осадка водой</p>
3	<p>Растворение осадка 2 действием раствора CH<sub>3</sub>COOH:</p> $\text{BaCO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}} \text{Ba}^{2+}$ $\text{SrCO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}} \text{Sr}^{2+}$ $\text{CaCO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}} \text{Ca}^{2+}$

№ этапа	Этапы исследования
4	<p>Обнаружение катионов <math>Ba^{2+}</math> в отдельной порции раствора 3 действием раствора <math>K_2CrO_4</math>:</p> $Ba^{2+} \xrightarrow{K_2CrO_4} BaCrO_4 \downarrow$ <p>Если присутствие <math>Ba^{2+}</math> доказано, то его отделяют из раствора 3 действием раствора <math>K_2CrO_4</math></p>
5	<p>Обнаружение катионов <math>Sr^{2+}</math> в отдельной порции центрифугата 4 действием насыщенного раствора кальция сульфата (гипсовая вода):</p> $Sr^{2+} \xrightarrow[\text{гипсовая вода}]{\text{нас. раствор } CaSO_4} SrSO_4 \downarrow$
6	<p>Отделение катионов <math>Sr^{2+}</math> из центрифугата 4 действием конц. раствора <math>(NH_4)_2SO_4</math>:</p> $Sr^{2+} \xrightarrow{\text{конц. } (NH_4)_2SO_4} SrSO_4 \downarrow$ $Ca^{2+} \xrightarrow{\text{конц. } (NH_4)_2SO_4} [Ca(SO_4)_2]^{2-}$
7	<p>Обнаружение катионов <math>Ca^{2+}</math> в центрифугате 6 действием раствора <math>(NH_4)_2C_2O_4</math>:</p> $Ca^{2+} \xrightarrow[\text{CH}_3\text{COOH}]{(NH_4)_2C_2O_4} CaC_2O_4 \downarrow$

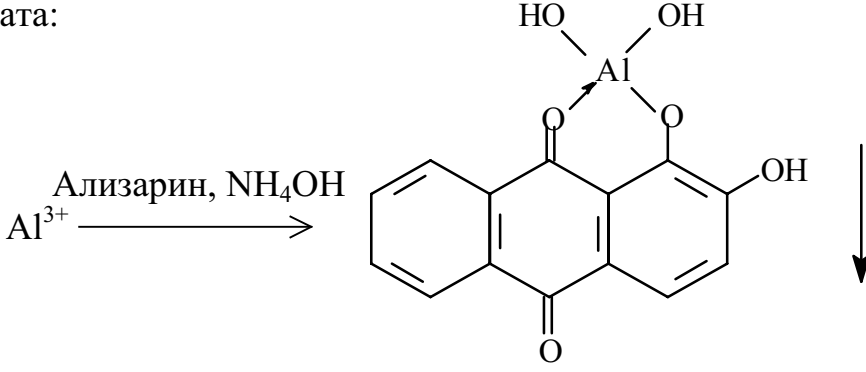
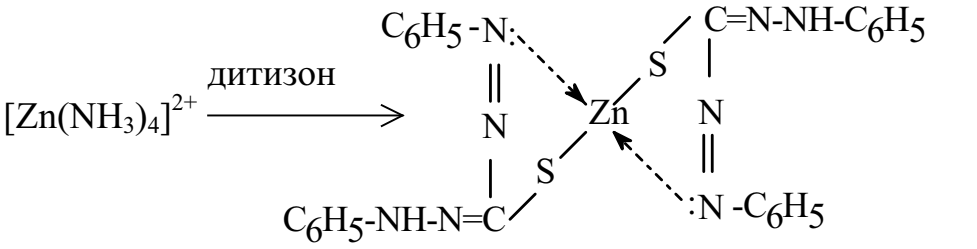
**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ III АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



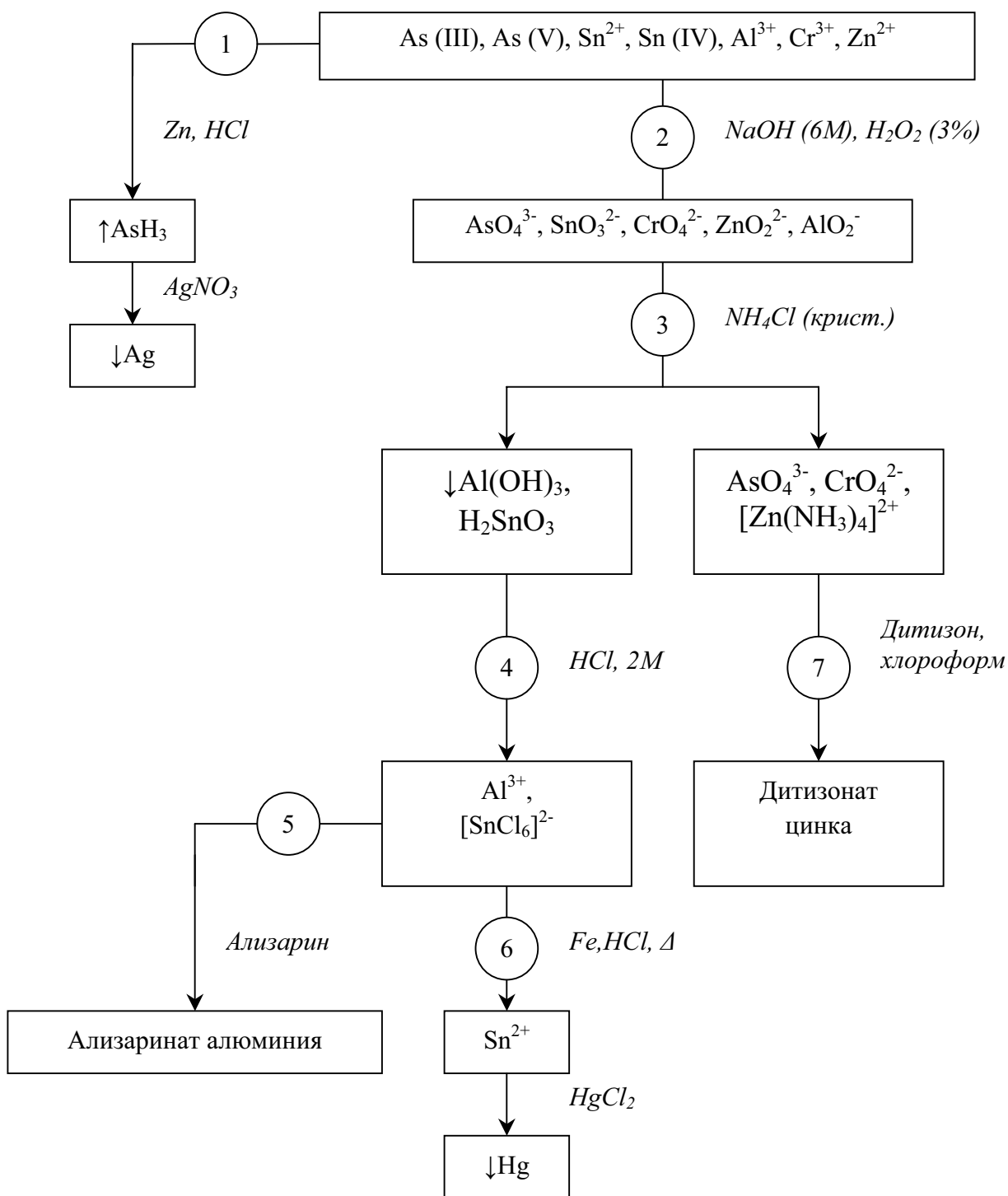
**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ IV АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Обнаружение ионов As (III), As (V) в отдельной пробе действием металлического цинка в среде HCl:</p> $\text{As (III), (V)} \xrightarrow{\text{Zn; HCl}} \text{AsH}_3 \uparrow$ <p>Бумажка, смоченная <math>\text{AgNO}_3 \xrightarrow{\text{AsH}_3 \uparrow} \text{Ag} \downarrow</math> (черный) (реакция Гутцайта)</p> <p>Бумажка, смоченная <math>[\text{HgCl}_2] \xrightarrow{\text{AsH}_3 \uparrow}</math> → <math>\text{AsH}_2(\text{HgCl}) \downarrow</math> (реакция Зангер-Блека) → <math>\text{AsH}(\text{HgCl})_2 \downarrow</math> → <math>\text{As}(\text{HgCl})_3 \downarrow</math> → <math>\text{As}_2\text{Hg}_3 \downarrow</math> (желто-бурый)</p>
2	<p>Действие избытка 6M NaOH в присутствии <math>\text{H}_2\text{O}_2</math> на катионы IV аналитической группы при нагревании:</p> $\text{Al}^{3+} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. NaOH}} [\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ $\text{Zn}^{2+} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Zn}(\text{OH})_2 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. NaOH}} [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$ $\text{Cr}^{3+} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Cr}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. NaOH, H}_2\text{O}_2, \Delta} \text{CrO}_4^{2-}$ $\text{Sn}^{2+} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Sn}(\text{OH})_2 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. NaOH, H}_2\text{O}_2, \Delta} [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ $\text{Sn (IV)} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. NaOH}} [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ $\text{As (III)} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{AsO}_3^{3-} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}_2, \Delta} \text{AsO}_4^{3-}$ $\text{As (V)} \xrightarrow{\text{NaOH}} \text{AsO}_4^{3-} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}_2, \Delta} \text{AsO}_4^{3-}$

№ этапа	Этапы исследования
3	Отделение гидроксоанионов $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ ; $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$ из раствора 2 действием кристаллического $\text{NH}_4\text{Cl}$ при нагревании: $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-} \xrightarrow[\text{NH}_4\text{Cl}, \Delta]{} \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-} \xrightarrow[\text{NH}_4\text{Cl}, \Delta]{} \text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow$
4	Растворение осадка 3 действием 2М $\text{HCl}$ : $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow[\text{HCl}]{} \text{Al}^{3+}$ $\text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow \xrightarrow[\text{HCl}]{} [\text{SnCl}_6]^{2-}$
5	Обнаружение ионов $\text{Al}^{3+}$ действием на раствор 4 ализарина или натрия ацетата: <div style="text-align: center;">  </div> $\text{Al}^{3+} \xrightarrow[\text{Ализарин, NH}_4\text{OH}]{} \text{Complex}$ $\text{Al}^{3+} \xrightarrow[\text{CH}_3\text{COONa}]{} \text{Al}(\text{OH})_2\text{CH}_3\text{COO} \downarrow$
6	Выявление ионов $\text{Sn}$ (IV) действием раствора соли ртути (II) на раствор 4, предварительно прокипяченный с железными стружками в среде $\text{HCl}$ : $[\text{SnCl}_6]^{2-} \xrightarrow[\text{Fe, HCl; } \Delta]{} \text{Sn}^{2+} \xrightarrow[\text{HgCl}_2]{} \text{Hg} \downarrow$
7	Обнаружение катионов $\text{Zn}^{2+}$ в центрифугате 3 действием раствора дитизона, или $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ : <div style="text-align: center;">  </div> $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \xrightarrow[\text{дитизон}]{} \text{Complex}$ $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \xrightarrow[\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]]{} \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow$

**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ IV АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ V АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**

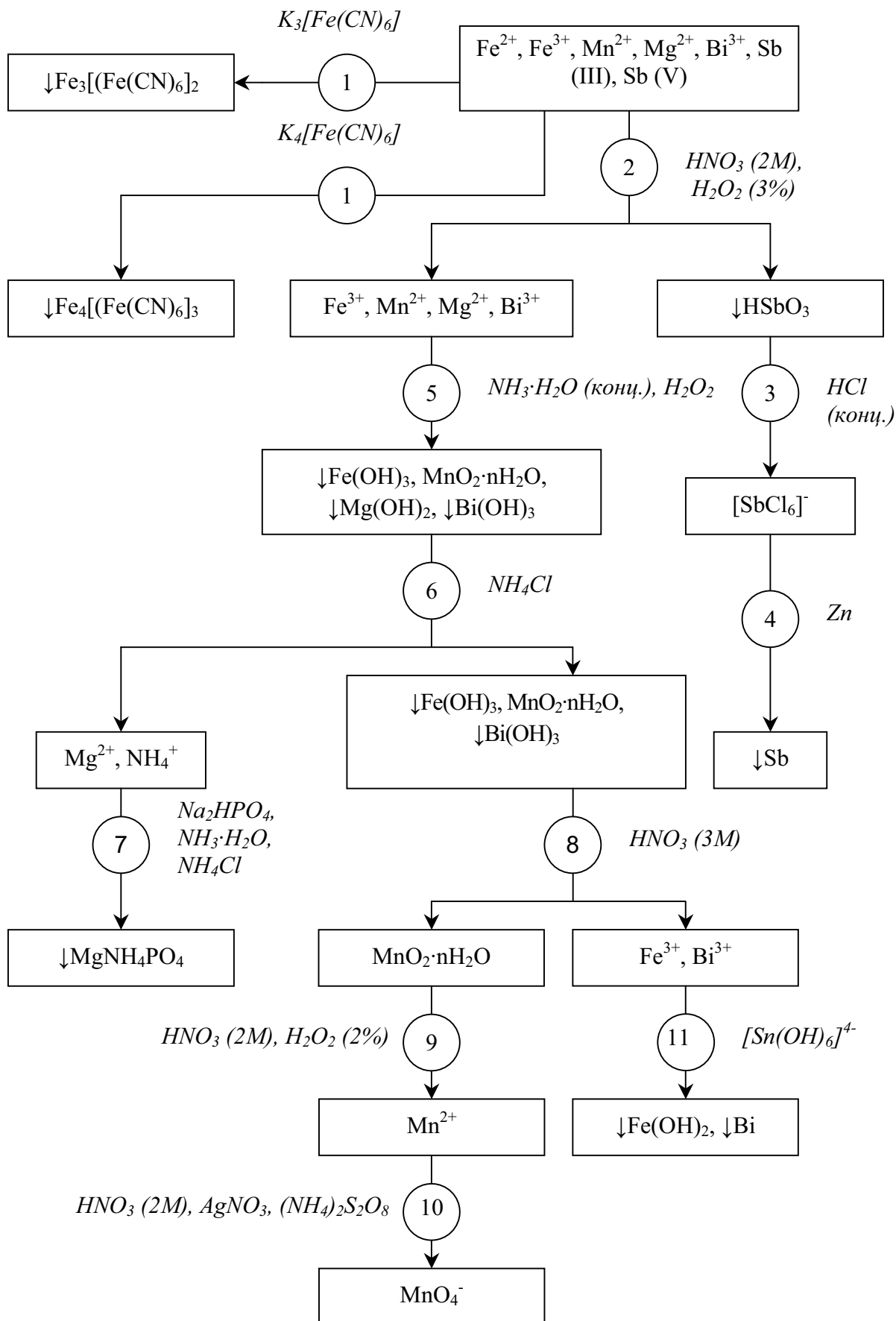
**Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Bi<sup>3+</sup>, Sb (III), Sb (V)**

№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Обнаружение ионов Fe (II), Fe (III) в отдельной пробе с реагентами K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] и K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] соответственно:</p> $\begin{array}{l} \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] \\ \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow \\ \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \\ \text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_4 \downarrow \end{array}$
2	<p>Отделение ионов Sb (III) и Sb (V) действием HNO<sub>3</sub> с H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:</p> $\begin{array}{l} \text{HNO}_3 \\ \text{Sb (III), Sb (V)} \longrightarrow \text{HSbO}_3 \downarrow \\ \text{HNO}_3 \\ \text{Fe}^{2+} \longrightarrow \text{Fe}^{3+} \end{array}$
3	<p>Растворение осадка 2 в растворе HCl:</p> $\begin{array}{l} \text{HCl} \\ \text{HSbO}_3 \downarrow \longrightarrow [\text{SbCl}_6]^- \end{array}$
4	<p>Обнаружение ионов Sb (V) в растворе 3 действием цинка на никелевой пластинке:</p> $\begin{array}{l} \text{Zn} \\ [\text{SbCl}_6]^- \longrightarrow \text{Sb} \downarrow \end{array}$
5	<p>Осаждение катионов V аналитической группы из центрифугата 2 действием конц. NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O:</p> $\begin{array}{l} \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Mg}^{2+} \longrightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow \\ \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Mn}^{2+} \longrightarrow \text{Mn}(\text{OH})_2 \downarrow \\ \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Fe}^{3+} \longrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow \\ \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Bi}^{3+} \longrightarrow \text{BiONO}_3 \downarrow \end{array}$

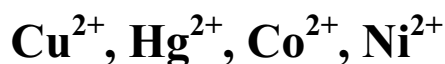
№ этапа	Этапы исследования
6	<p>Отделение катионов <math>Mg^{2+}</math> действием на осадок 5 раствором <math>NH_4Cl + 3\% \text{ p-p } H_2O_2</math>:</p> $\begin{array}{c} NH_4Cl \\ Mg(OH)_2 \downarrow \longrightarrow Mg^{2+} \\ 3\% H_2O_2 \\ Mn(OH)_2 \downarrow \longrightarrow MnO_2 \cdot nH_2O \downarrow \end{array}$ <p>Состав осадка 6: <math>MnO_2 \cdot nH_2O \downarrow, BiONO_3, Fe(OH)_3</math></p>
7	<p>Обнаружение ионов <math>Mg^{2+}</math> в центрифугате 6 действием <math>Na_2HPO_4</math> в присутствии аммиачного буферного раствора:</p> $Mg^{2+} \xrightarrow{Na_2HPO_4, NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl} MgNH_4PO_4 \downarrow$
8	<p>Отделение катионов <math>Bi^{3+}</math> и <math>Fe^{3+}</math> действием раствора <math>HNO_3</math> на осадок 6:</p> $\begin{array}{c} HNO_3 \\ BiONO_3 \downarrow \longrightarrow Bi^{3+} \\ HNO_3 \\ Fe(OH)_3 \downarrow \longrightarrow Fe^{3+} \end{array}$ <p>В осадке <math>MnO_2 \cdot nH_2O \downarrow</math></p>
9	<p>Растворение осадка <math>MnO_2 \cdot n H_2O</math>, полученного по п.8, действием раствора <math>HNO_3</math> в присутствии <math>H_2O_2</math>:</p> $MnO_2 \cdot n H_2O \downarrow \xrightarrow{HNO_3; H_2O_2} Mn^{2+}$
10	<p>Обнаружение ионов <math>Mn^{2+}</math> действием на раствор 9 <math>(NH_4)_2S_2O_8</math>:</p> $Mn^{2+} \xrightarrow{(NH_4)_2S_2O_8; HNO_3; AgNO_3} MnO_4^-$
11	<p>Обнаружение ионов <math>Bi^{3+}</math> в центрифугате 8 действием свежеприготовленного <math>[Sn(OH)_6]^{4-}</math>:</p> $Bi^{3+} \xrightarrow{[Sn(OH)_6]^{4-}} Bi \downarrow$



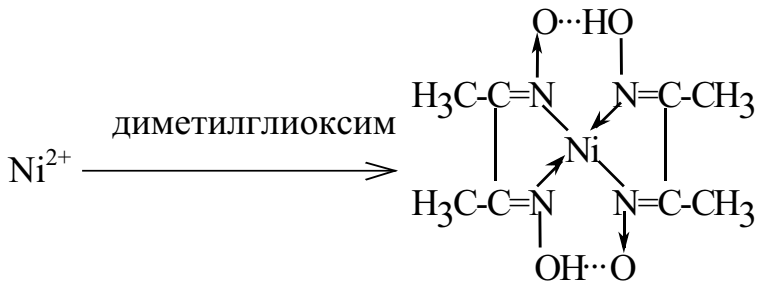
**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ V АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**



**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ VI АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ**

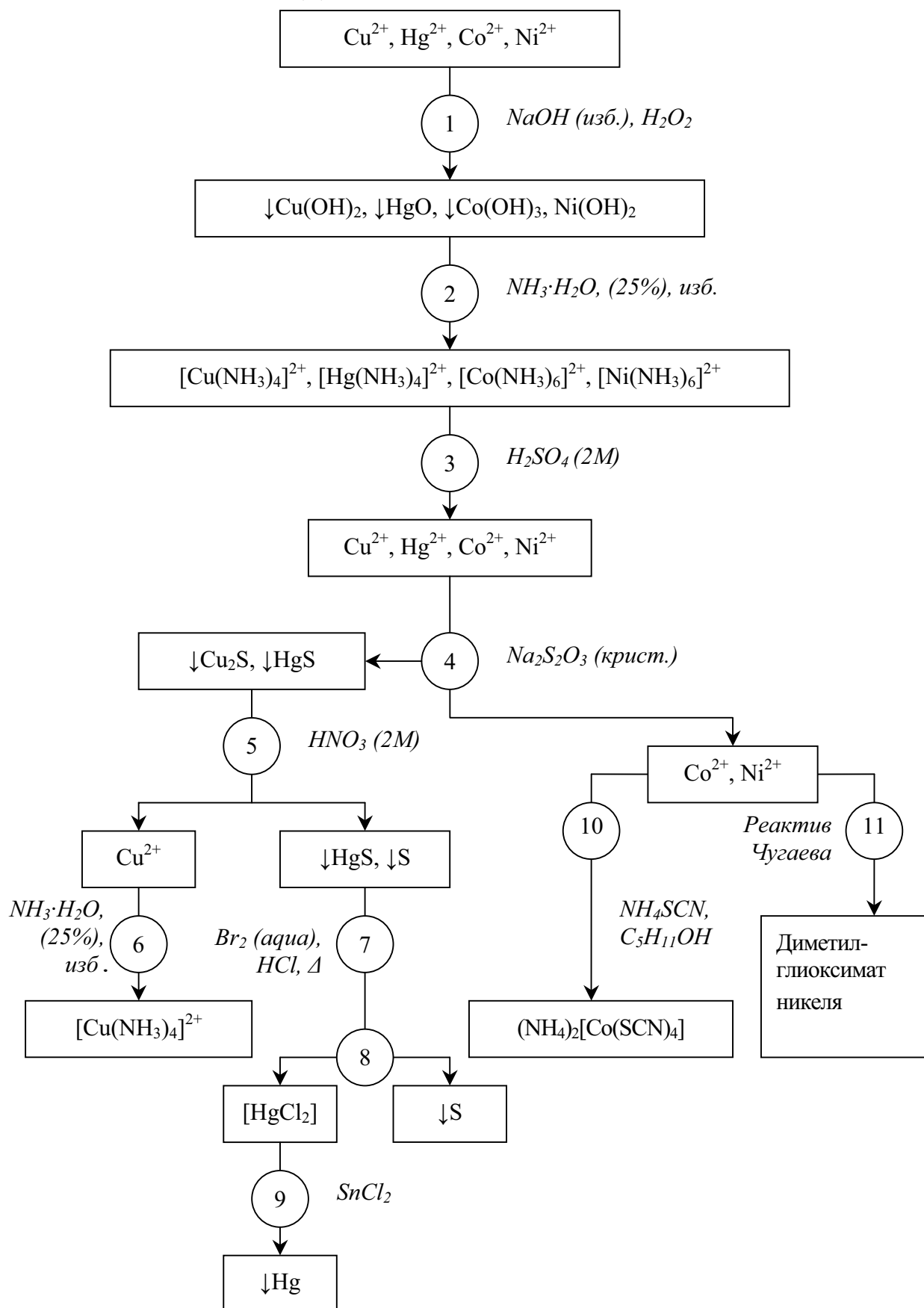


№ этапа	Этапы исследования
1*	Взаимодействие катионов VI аналитической группы с групповым реагентом (изб. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ): $\begin{array}{l} \text{изб. } \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Cu}^{2+} \longrightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \downarrow \\ \text{изб. } \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Hg}^{2+} \longrightarrow [\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \downarrow \\ \text{изб. } \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Co}^{2+} \longrightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \downarrow \\ \text{изб. } \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \\ \text{Ni}^{2+} \longrightarrow [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \downarrow \end{array}$
2*	Разрушение аммиакатов действием 2М $\text{H}_2\text{SO}_4$
3*	Отделение ионов $\text{Cu}^{2+}$ и $\text{Hg}^{2+}$ от других катионов VI аналитической группы действием $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ на раствор 2: $\begin{array}{l} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3; \Delta \\ \text{Cu}^{2+} \longrightarrow \text{Cu}_2\text{S} \downarrow \\ \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3; \Delta \\ \text{Hg}^{2+} \longrightarrow \text{HgS} \downarrow \end{array}$
4	Отделение $\text{Cu}_2\text{S}$ от $\text{HgS}$ при частичном растворении осадка 3 в разб. $\text{HNO}_3$ при нагревании: $\text{Cu}_2\text{S} \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3; \Delta} \text{Cu}^{2+}$
5	Обнаружение ионов $\text{Cu}^{2+}$ в растворе 4 действием конц. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ : $\text{Cu}^{2+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
6	Растворение осадка 4 действием бромной воды в присутствии $\text{HCl}$ , или в царской водке: $\begin{array}{l} \text{Br}_2; \text{HCl} \\ \text{HgS} \downarrow \longrightarrow [\text{HgCl}_2] + \text{S} \downarrow \\ \text{конц. } \text{HNO}_3, \text{ конц. } \text{HCl} \\ \text{HgS} \downarrow \longrightarrow [\text{HgCl}_2] \end{array}$
7	Отделение $[\text{HgCl}_2]$ от $\text{S} \downarrow$ центрифугированием

№ этапа	Этапы исследования
8	Обнаружение ионов $\text{Hg}^{2+}$ в центрифугате 7 действием раствора $\text{SnCl}_2$ : $[\text{HgCl}_2] \xrightarrow{\text{SnCl}_2} \text{Hg}\downarrow$
9	Обнаружение ионов $\text{Co}^{2+}$ в центрифугате 3 действием раствора $\text{NH}_4\text{SCN}$ в присутствии амилового спирта: $\text{Co}^{2+} \xrightarrow[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}]{\text{NH}_4\text{SCN}} (\text{NH}_4)_2[\text{Co}(\text{SCN})_4]$
10	Обнаружение ионов $\text{Ni}^{2+}$ в центрифугате 3 действием реактива Чугаева (диметилглиоксима): $\text{Ni}^{2+} \xrightarrow{\text{диметилглиоксим}}$ 

\*Этапы 1-3 выполняют в систематическом ходе анализа смеси катионов I-IV аналитических групп.

**СХЕМА СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА  
КАТИОНОВ VI АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ В ПРИСУТСТВИИ  
КАТИОНОВ ДРУГИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП**

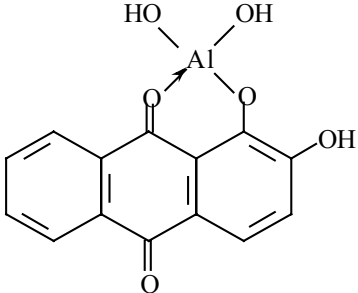


**ЭТАПЫ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ХОДА АНАЛИЗА СМЕСИ  
КАТИОНОВ I-VI АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП БЕЗ ОСАДКА**

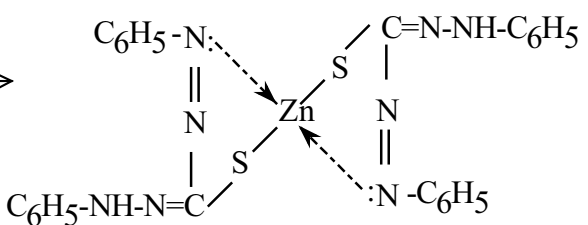
№ этапа	Этапы исследования
1	Обнаружение ионов $\text{NH}_4^+$ в отдельной пробе действием раствора щелочи при нагревании: $\text{NH}_4^+ \xrightarrow{\text{NaOH}, \Delta} \text{NH}_3 \uparrow$
2	Обнаружение ионов железа (II) в отдельной пробе действием раствора $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ : $\text{Fe}^{2+} \xrightarrow{\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]} \text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow$
3	Обнаружение ионов железа (III) в отдельной пробе действием раствора $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ : $\text{Fe}^{3+} \xrightarrow{\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]} \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 \downarrow$
4	Удаление ионов $\text{NH}_4^+$ из отдельной пробы перед обнаружением ионов $\text{K}^+$ действием раствора $\text{Na}_2\text{CO}_3$ при нагревании: $\text{NH}_4^+ \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{NH}_3 \uparrow$ $\text{Me}^{n+} \xrightarrow{\text{Na}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{осадки оксидов, гидроксидов, карбонатов и основных солей катионов II, III, V, VI аналитических групп}$
5	Нейтрализация раствора 4 раствором $\text{CH}_3\text{COOH}$ до $\text{pH} \sim 7$ . При этом разрушаются гидроксоанионы IV аналитической группы и образуют осадок, который отделяют центрифугированием и в дальнейшем анализе не используют: $[\text{Me}(\text{OH})_6]^{6-n} \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}} \text{Me}(\text{OH})_n \downarrow$
6	Обнаружение ионов $\text{K}^+$ в растворе 5 реагентами $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ , $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ , $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ : $\text{K}^+ \xrightarrow{\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6} \text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \downarrow$ $\text{K}^+ \xrightarrow{\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]} \text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow$ $\text{K}^+ \xrightarrow{\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]} \text{K}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6] \downarrow$

№ этапа	Этапы исследования
7	<p>Удаление ионов <math>\text{NH}_4^+</math> из отдельной пробы перед обнаружением ионов <math>\text{Na}^+</math> действием раствора <math>\text{K}_2\text{CO}_3</math> при нагревании:</p> $\text{NH}_4^+ \xrightarrow{\text{K}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{NH}_3 \uparrow$ $\text{Me}^{n+} \xrightarrow{\text{K}_2\text{CO}_3, \Delta} \text{осадки оксидов, гидроксидов, карбонатов и основных солей катионов II, III, V, VI аналитических групп}$
8	<p>Нейтрализация раствора 7 раствором <math>\text{CH}_3\text{COOH}</math> до <math>\text{pH} \sim 7</math>. При этом разрушаются гидроксоанионы IV аналитической группы и образуют осадок, который отделяют центрифугированием и в дальнейшем анализе не используют:</p> $[\text{Me}(\text{OH})_6]^{6-n} \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COOH}} \text{Me}(\text{OH})_n \downarrow$
9	<p>Обнаружение ионов <math>\text{Na}^+</math> в растворе 8 реагентами <math>\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]</math>, <math>\text{Zn}(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_8</math>:</p> $\text{Na}^+ \xrightarrow{\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]} \text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6] \downarrow$ $\text{Na}^+ \xrightarrow{\text{Zn}(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_8} \text{NaZn}(\text{UO}_2)_3(\text{CH}_3\text{COO})_9 \cdot 9\text{H}_2\text{O} \downarrow$
10	<p>Отделение катионов II аналитической группы из исходного раствора действием 2М раствора <math>\text{HCl}</math>:</p> $\text{Ag}^+ \xrightarrow{\text{HCl}} \text{AgCl} \downarrow$ $\text{Pb}^{2+} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{PbCl}_2 \downarrow$ $\text{Hg}_2^{2+} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{Hg}_2\text{Cl}_2 \downarrow$ <p>Промывание осадка водой, содержащей <math>\text{HCl}</math>.</p>
11	<p>Исследование осадка 10 проводят по схеме систематического хода анализа смеси катионов II аналитической группы</p>

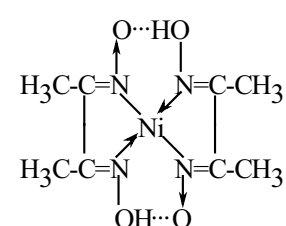
№ этапа	Этапы исследования
12	<p>Осаждение катионов III аналитической группы, и ионов <math>Pb^{2+}</math> из центрифугата 10 действием раствора <math>H_2SO_4</math> в присутствии <math>C_2H_5OH</math> при нагревании:</p> $Ba^{2+} \xrightarrow{H_2SO_4, \Delta} BaSO_4 \downarrow$ $Sr^{2+} \xrightarrow{H_2SO_4, \Delta} SrSO_4 \downarrow$ $Ca^{2+} \xrightarrow{H_2SO_4, C_2H_5OH, \Delta} CaSO_4 \downarrow$ $Pb^{2+} \xrightarrow{H_2SO_4, \Delta} PbSO_4 \downarrow$ <p>Промывание осадка водой, содержащей <math>H_2SO_4</math></p>
13	<p>Отделение <math>PbSO_4 \downarrow</math> от осадка 12 действием 30% раствора <math>NH_4CH_3COO</math> с последующим центрифугированием:</p> $PbSO_4 \downarrow \xrightarrow{NH_4CH_3COO} [PbSO_4 \cdot Pb(CH_3COO)_2]$ <p>После центрифугирования исследуют осадок сульфатов катионов III аналитической группы по схеме систематического хода анализа смеси катионов III аналитической группы</p>
14	Исследование осадка 13 по схеме систематического хода анализа смеси катионов III аналитической группы
15	<p>Отделение катионов IV группы от катионов V, VI аналитических групп действием избытка 6М раствора <math>NaOH</math> в присутствии 3% <math>H_2O_2</math>:</p> $Al^{3+} \xrightarrow{NaOH} Al(OH)_3 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. } NaOH} [Al(OH)_6]^{3-}$ $Zn^{2+} \xrightarrow{NaOH} Zn(OH)_2 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. } NaOH} [Zn(OH)_4]^{2-}$ $Cr^{3+} \xrightarrow{NaOH} Cr(OH)_3 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. } NaOH, H_2O_2} CrO_4^{2-}$ $Sn^{2+} \xrightarrow{NaOH} Sn(OH)_2 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. } NaOH, H_2O_2} [Sn(OH)_6]^{2-}$ $Sn(IV) \xrightarrow{NaOH} Sn(OH)_4 \downarrow \xrightarrow{\text{изб. } NaOH} [Sn(OH)_6]^{2-}$ $As(III) \xrightarrow{NaOH} AsO_3^{3-} \xrightarrow{H_2O_2} AsO_4^{3-}$ $As(V) \xrightarrow{NaOH} AsO_4^{3-} \xrightarrow{H_2O_2} AsO_4^{3-}$ <p>При этом катионы V, VI аналитических групп образуют осадки: <math>Fe(OH)_3</math>, <math>Mg(OH)_2</math>, <math>MnO_2 \cdot nH_2O</math>, <math>BiOCl</math>, <math>SbO_2Cl</math>, <math>Cu(OH)_2</math>, <math>HgO</math>, <math>Ni(OH)_2</math>, <math>Co(OH)_3</math></p>

№ этапа	Этапы исследования
16	<p>Обнаружение ионов As (V) в отдельной порции центрифугата 15 действием металлического цинка в среде HCl (обнаружению мешают ионы Sb (III), Sb (V)):</p> $\text{As (III), (V)} \xrightarrow{\text{Zn; HCl}} \text{AsH}_3 \uparrow$ <p>Бумажка, смоченная <math>\text{AgNO}_3 \xrightarrow{\text{AsH}_3} \text{Ag} \downarrow</math> (черный) (реакция Гутцайта)</p> <p>Бумажка, смоченная <math>[\text{HgCl}_2] \xrightarrow{\text{AsH}_3 \uparrow}</math></p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="margin-right: 10px;"> <math>\text{AsH}_3 \uparrow</math> </div> <div style="text-align: center;"> <math>\begin{matrix} \nearrow \text{AsH}_2(\text{HgCl}) \downarrow \\ \nearrow \text{AsH}(\text{HgCl})_2 \downarrow \\ \nearrow \text{As}(\text{HgCl})_3 \downarrow \\ \searrow \text{As}_2\text{Hg}_3 \downarrow \end{matrix}</math> </div> </div> <p style="text-align: center;">(желто-бурый)</p>
17	<p>Отделение гидроксоанионов <math>[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}</math>; <math>[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}</math> из центрифугата 15 действием кристаллического <math>\text{NH}_4\text{Cl}</math> при нагревании:</p> $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-} \xrightarrow{\text{NH}_4\text{Cl}, \Delta} \text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ $[\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-} \xrightarrow{\text{NH}_4\text{Cl}, \Delta} \text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow$
18	<p>Растворение осадка 17 действием 2М HCl:</p> $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HCl}} \text{Al}^{3+}$ $\text{Sn}(\text{OH})_4 \downarrow \xrightarrow{\text{HCl}} [\text{SnCl}_6]^{2-}$
19	<p>Обнаружение ионов <math>\text{Al}^{3+}</math> действием на центрифугат 18 растворов ализарина или натрия ацетата:</p> <div style="text-align: center;"> <math>\text{Al}^{3+} \xrightarrow{\text{Ализарин, NaOH}}</math>  </div> <p style="text-align: center;">↓</p> $\text{Al}^{3+} \xrightarrow{\text{CH}_3\text{COONa}} \text{Al}(\text{OH})_2\text{CH}_3\text{COO} \downarrow$



№ этапа	Этапы исследования
20	Обнаружение ионов Sn (IV) действием раствора соли ртути (II) на предварительно прокипяченный раствор 18 с железными стружками в среде HCl: $[\text{SnCl}_6]^{2-} \xrightarrow{\text{Fe, HCl; } \Delta} \text{Sn}^{2+} \xrightarrow{\text{HgCl}_2} \text{Hg} \downarrow$
21	Обнаружение катионов $\text{Zn}^{2+}$ в центрифугате 17 действием растворов дитизона, или $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ : $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \xrightarrow{\text{дитизон}}$  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \xrightarrow{\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]} \text{K}_2\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2 \downarrow$
22	Отделение ионов Sb (V) от других катионов V, VI аналитических групп действием $\text{HNO}_3$ с $\text{H}_2\text{O}_2$ на осадок 15: $\text{SbO}_2\text{Cl} \xrightarrow{\text{HNO}_3; \text{H}_2\text{O}_2} \text{HSbO}_3 \downarrow$ При этом другие нерастворимые соединения катионов V, VI групп растворяются с восстановлением следующих катионов: $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3, \text{H}_2\text{O}_2} \text{Mn}^{2+}$ $\text{Co}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3, \text{H}_2\text{O}_2} \text{Co}^{2+}$
23	Растворение осадка 22 в растворе HCl: $\text{HSbO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HCl}} [\text{SbCl}_6]^-$
24	Обнаружение Sb (V) в растворе 23 действием металлического цинка на никелевой пластинке: $[\text{SbCl}_6]^- \xrightarrow{\text{Zn}} \text{Sb} \downarrow$

№ этапа	Этапы исследования
25	<p>Осаждение катионов V аналитической группы из центрифугата 22 действием конц. <math>\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}</math>:</p> $\text{Mg}^{2+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow$ $\text{Mn}^{2+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \text{Mn}(\text{OH})_2 \downarrow$ $\text{Fe}^{3+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$ $\text{Bi}^{3+} \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} \text{BiONO}_3 \downarrow$ <p>При этом катионы VI аналитической группы остаются в растворе в виде аммиакатов:</p> $\text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ $\text{HgO} \downarrow \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ $\text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ $\text{Ni}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$
26	<p>Отделение катионов <math>\text{Mg}^{2+}</math> действием на осадок 25 раствора <math>\text{NH}_4\text{Cl} + 3\% \text{H}_2\text{O}_2</math>:</p> $\text{Mg}(\text{OH})_2 \downarrow \xrightarrow{\text{NH}_4\text{Cl}} \text{Mg}^{2+}$ $\text{Mn}(\text{OH})_2 \xrightarrow{3\% \text{H}_2\text{O}_2} \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \downarrow$ <p>Состав осадка: <math>\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \downarrow, \text{Fe}(\text{OH})_3</math></p>
27	<p>Обнаружение ионов <math>\text{Mg}^{2+}</math> в центрифугате 26 действием <math>\text{Na}_2\text{HPO}_4</math> в присутствии аммиачного буферного раствора:</p> $\text{Mg}^{2+} \xrightarrow{\text{Na}_2\text{HPO}_4, \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}} \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow$
28	<p>Отделение катионов <math>\text{Bi}^{3+}</math> и <math>\text{Fe}^{3+}</math> действием раствора <math>\text{HNO}_3</math> на осадок 26:</p> $\text{BiONO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3} \text{Bi}^{3+}$ $\text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3} \text{Fe}^{3+}$ <p>В осадке <math>\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \downarrow</math></p>
29	<p>Растворение осадка <math>\text{MnO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}</math>, полученного по п.28, действием раствора <math>\text{HNO}_3</math> в присутствии <math>\text{H}_2\text{O}_2</math>:</p> $\text{MnO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O} \downarrow \xrightarrow{\text{HNO}_3; \text{H}_2\text{O}_2} \text{Mn}^{2+}$

№ этапа	Этапы исследования
30	Обнаружение ионов $Mn^{2+}$ действием на раствор 29 $(NH_4)_2S_2O_8$ : $(NH_4)_2S_2O_8; HNO_3; AgNO_3$ $Mn^{2+} \xrightarrow{\hspace{10em}} MnO_4^-$
31	Обнаружение ионов $Bi^{3+}$ в центрифугате 28 действием свежеприготовленного $Na_4[Sn(OH)_6]$ : $Na_4[Sn(OH)_6]$ $Bi^{3+} \xrightarrow{\hspace{10em}} Bi\downarrow$
32	Разрушение аммиакатов в растворе 25 действием 2М $H_2SO_4$
33	Отделение ионов $Cu^{2+}$ и $Hg^{2+}$ от остальных катионов VI аналитической группы действием $Na_2S_2O_3$ на раствор 32: $Na_2S_2O_3; H_2O; \Delta$ $Cu^{2+} \xrightarrow{\hspace{10em}} Cu_2S\downarrow$ $Na_2S_2O_3; H_2O; \Delta$ $Hg^{2+} \xrightarrow{\hspace{10em}} HgS\downarrow$
34	Отделение $Cu_2S$ от $HgS$ из осадка 33 действием разб. $HNO_3$ при нагревании: $HNO_3; \Delta$ $Cu_2S\downarrow \xrightarrow{\hspace{10em}} Cu^{2+}$ $HgS\downarrow$ в этих условиях не растворяется.
35	Обнаружение ионов $Cu^{2+}$ в центрифугате 34 действием конц. $NH_3 \cdot H_2O$ : $NH_3 \cdot H_2O$ $Cu^{2+} \xrightarrow{\hspace{10em}} [Cu(NH_3)_4]^{2+}$
36	Растворение осадка 34 действием бромной воды в присутствии $HCl$ при нагревании, или в царской водке: $Br_2; HCl, \Delta$ $HgS\downarrow \xrightarrow{\hspace{10em}} [HgCl_2] + S\downarrow$ конц. $HNO_3$ , конц. $HCl$ $HgS\downarrow \xrightarrow{\hspace{10em}} [HgCl_2]$
37	Обнаружение ионов $Hg^{2+}$ в центрифугате 36 действием раствора $SnCl_2$ : $SnCl_2$ $[HgCl_2] \xrightarrow{\hspace{10em}} Hg\downarrow$
38	Обнаружение ионов $Co^{2+}$ в центрифугате 33 действием раствора $NH_4SCN$ в присутствии амилового спирта: $NH_4SCN$ $Co^{2+} \xrightarrow{\hspace{10em}} (NH_4)_2[Co(SCN)_4]$ $C_5H_{11}OH$
39	Обнаружение ионов $Ni^{2+}$ в центрифугате 33 действием реактива Чугаева (диметилглиоксима): $Ni^{2+} \xrightarrow{\text{р-в Чугаева}} \text{диметилглиоксим}$ 

### СХЕМА АНАЛИЗА СМЕСИ КАТИОНОВ I-VI АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП БЕЗ ОСАДКА

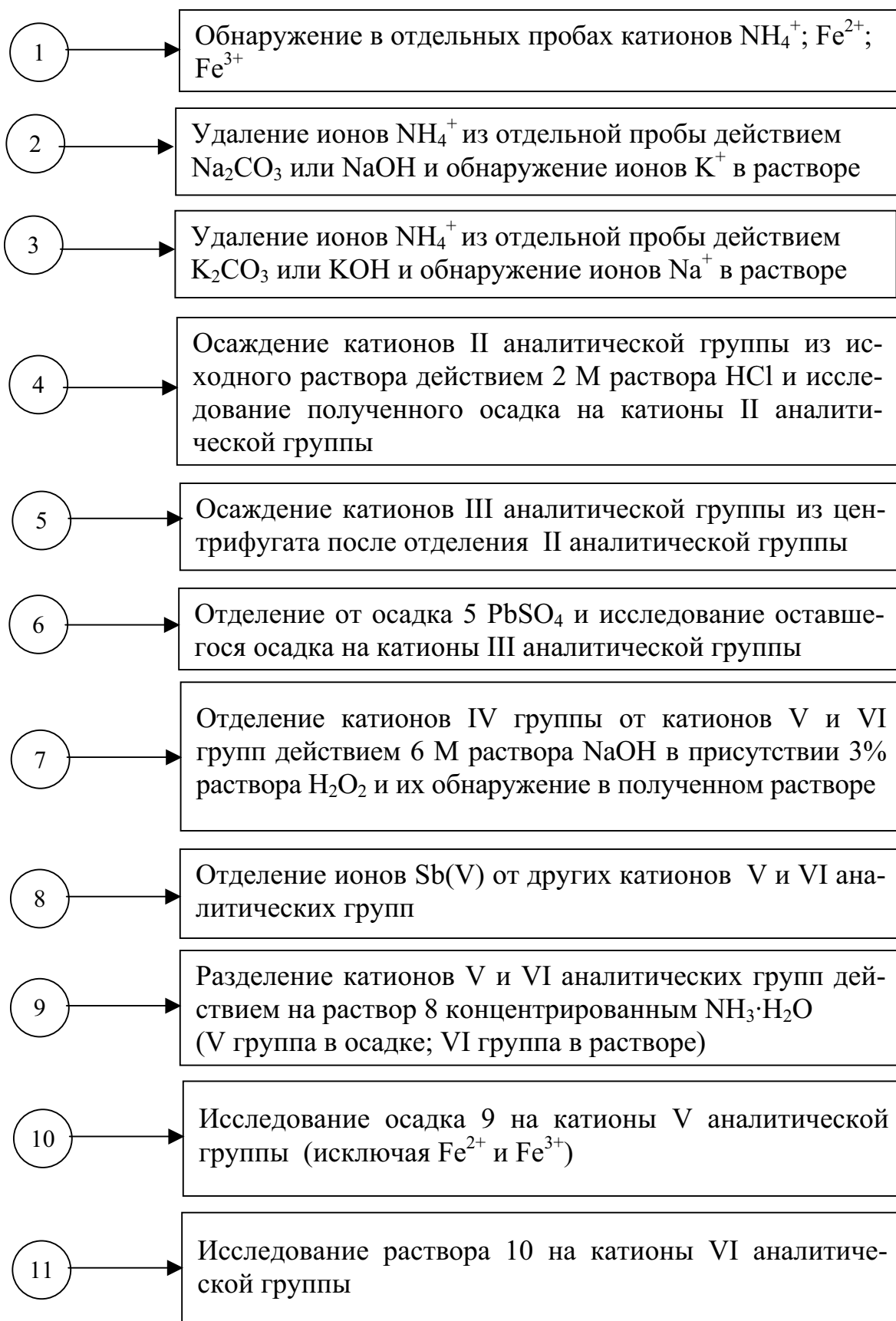


Таблица 13

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АНИОНОВ,  
ОСНОВАННАЯ НА РАЗЛИЧНОЙ РАСТВОРИМОСТИ  
СОЛЕЙ  $Ba^{2+}$  И  $Ag^+$**

Аналитическая группа	Анионы	Групповой реагент	Свойства осадков
I	$SO_4^{2-}$ , $SO_3^{2-}$ , $S_2O_3^{2-}$ , $CO_3^{2-}$ , $AsO_4^{3-}$ , $AsO_3^{3-}$ , $C_2O_4^{2-}$ , $CrO_4^{2-}$ , $(Cr_2O_7^{2-})$ , $SiO_3^{2-}$ , $BO_2^-$ ( $B_4O_7^{2-}$ ), $F^-$ , $IO_3^-$ , $IO_4^-$ , $PO_4^{3-}$ , $C_4H_4O_6^{2-}$	$BaCl_2$ или $Ba(NO_3)_2$	Осадки солей бария не растворимы в воде, но растворимы в кислотах (кроме $BaSO_4$ )
II	$Cl^-$ , $Br^-$ , $I^-$ , $CN^-$ , $SCN^-$ , $C_6H_5COO^-$ , $S^{2-}$	$AgNO_3$ в $HNO_3$	Осадки солей серебра не растворимы в воде и азотной кислоте
III	$NO_3^-$ , $NO_2^-$ , $CH_3COO^-$ , $ClO_4^-$ , $BrO_3^-$	нет	Осадки солей бария и серебра растворимы в воде

Таблица 14

**АНИОНЫ, ОБРАЗУЮЩИЕ ГАЗООБРАЗНЫЕ ПРОДУКТЫ  
ПРИ ДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ КИСЛОТ**

Анион, содержащийся в растворе	Выделяющийся газ (продукт)	Способ обнаружения
$CO_3^{2-}$ ; $HCO_3^-$	$CO_2$	Помутнение известковой воды
$SO_3^{2-}$ ; $S_2O_3^{2-}$	$SO_2$	Запах горящей серы
$NO_2^-$	$NO_2$	Красно-бурые пары
$S^{2-}$ ; $SO_3^{2-}$ ; $S_2O_3^{2-}$	$H_2S$	Запах тухлых яиц
$CH_3COO^-$	$CH_3COOH$	Запах уксуса
$Br^-$ (с окислителем)	$Br_2$	Красно-бурые пары
$Cl^-$	$HCl$	Удушливый газ, помутнение раствора $AgNO_3$

### КЛАССИФИКАЦИЯ АНИОНОВ ПО ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ

Анионы-окислители	Анионы-восстановители
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}; \text{AsO}_4^{3-}; \text{NO}_2^-; \text{IO}_4^-; \text{IO}_3^-$	$\text{Br}^-, \text{I}^-, \text{S}^{2-}, \text{C}_2\text{O}_4^{2-}, \text{AsO}_3^{3-}, \text{SO}_3^{2-}, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}, \text{NO}_2^-$
<i>Проба на присутствие в растворе</i>	
При действии KI появляется окраска I <sub>2</sub>	При действии I <sub>2</sub> или KMnO <sub>4</sub> раствор обесцвечивается
<i>Примеры</i>	
$\begin{array}{l} +2e + \text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 \\ -2e + 3\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- \quad   \quad 1 \\ \hline \text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}^+ + 3\text{I}^- \rightleftharpoons \text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O} + [\text{I}_3]^- \\ \text{(в среде конц. HCl)} \\ +6e + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 \\ -2e + 3\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- \quad   \quad 3 \\ \hline \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 9\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 3[\text{I}_3]^- \end{array}$	$\begin{array}{l} -2e + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \quad   \quad 1 \\ +2e + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons 3\text{I}^- \quad   \quad 1 \\ \hline \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 3\text{I}^- \\ -2e + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\uparrow \quad   \quad 5 \\ +5e + \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \quad   \quad 2 \\ \hline 5\text{C}_2\text{O}_4^{2-} + 2\text{MnO}_4^- + 16\text{H}^+ \rightleftharpoons 10\text{CO}_2\uparrow + 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O} \\ -2e + \text{AsO}_3^{3-} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{AsO}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 \\ +2e + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons 3\text{I}^- \quad   \quad 1 \\ \hline \text{AsO}_3^{3-} + 2\text{OH}^- + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons \text{AsO}_4^{3-} + 3\text{I}^- + \text{H}_2\text{O} \\ \text{(в среде NaHCO}_3\text{)} \\ \text{При действии конц. H}_2\text{SO}_4 \text{ выделяется I}_2 \text{ и Br}_2\text{:} \\ -2e + 2\text{I}^- \rightleftharpoons \text{I}_2 \quad   \quad 4 \\ +8e + \text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 \\ \hline 8\text{I}^- + \text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ \rightleftharpoons 4\text{I}_2\uparrow + \text{H}_2\text{S}\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} \\ -2e + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons \text{Br}_2 \quad   \quad 1 \\ +2e + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 \\ \hline 2\text{Br}^- + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Br}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \end{array}$

**РЕАГЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ДРОБНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ  
АНИОНОВ I-III ГРУПП И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ  
ПРОДУКТЫ РЕАКЦИЙ**

<b>Анионы</b>	<b>Реагенты (условия реакции)</b>	<b>Продукт реакции, аналитический эффект</b>
$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ba}^{2+}$ (в среде минеральной кислоты)	$\text{BaSO}_4\downarrow$ (белый осадок, нерастворим в кислотах и щелочах)
	$\text{Sr}^{2+}$ (в среде минеральной кислоты)	$\text{SrSO}_4\downarrow$ (белый осадок, нерастворим в кислотах)
$\text{SO}_3^{2-}$	$\text{H}^+$	$\text{SO}_2\uparrow$ (запах)
	$[\text{I}_3]^-$	$\text{I}^-$ (обесцвечивание раствора йода)
$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$\text{H}^+$	$\text{SO}_2\uparrow$ (запах) + $\text{S}\downarrow$ (белый осадок)
	$[\text{I}_3]^-$	$\text{I}^-$ (обесцвечивание раствора йода)
	$\text{Ag}^+$ (избыток)	$\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3\downarrow$ (белый осадок, при разложении чернеет $\text{Ag}_2\text{S}\downarrow$ )
$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{H}^+$	$\text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{MgCO}_3\downarrow$ (белый осадок)
	фенолфталеин	малиновое окрашивание
$\text{HCO}_3^-$	$\text{Mg}^{2+}$ (при кипячении)	$\text{MgCO}_3\downarrow$ (белый осадок) + $\text{CO}_2\uparrow$
	фенолфталеин	не дает окрашивания
$\text{PO}_4^{3-}$	$\text{MgCl}_2$ ; $\text{NH}_4\text{OH}$ ; $\text{NH}_4\text{Cl}$ (магнезиальная смесь)	$\text{MgNH}_4\text{PO}_4\downarrow$ (белый осадок)
	$\text{Ag}^+$	$\text{Ag}_3\text{PO}_4\downarrow$ (желтый осадок, растворим в $\text{HNO}_3$ ; $\text{NH}_4\text{OH}$ )
$\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$ (белый осадок, нерастворим в уксусной кислоте)
	$\text{MnO}_4^-$ (в среде $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	$\text{CO}_2\uparrow$ (обесцвечивание раствора $\text{KMnO}_4$ )

Анионы	Реагенты (условия реакции)	Продукт реакции, аналитический эффект
$\text{AsO}_4^{3-}$	$\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ (магнезиальная смесь)	$\text{MgNH}_4\text{AsO}_4 \downarrow$ (белый осадок)
	$\text{Ag}^+$	$\text{Ag}_3\text{AsO}_4 \downarrow$ (шоколадный осадок, растворим в $\text{HNO}_3$ и $\text{NH}_4\text{OH}$ )
	$\text{I}^-$ (в среде $\text{HCl}$ в присутствии $\text{CHCl}_3$ )	$[\text{I}_3]^-$ – красно-фиолетовый цвет хлороформного слоя
$\text{AsO}_3^{3-}$	$\text{S}^{2-}$	$\text{As}_2\text{S}_3 \downarrow$ (желтый осадок, нерастворим в конц. $\text{HCl}$ ; растворим в $\text{NH}_4\text{OH}$ )
	$\text{Ag}^+$	$\text{Ag}_3\text{AsO}_3 \downarrow$ (желтый, растворим в $\text{NH}_4\text{OH}$ и конц. $\text{HNO}_3$ )
	$[\text{I}_3]^-$ (в среде $\text{NaHCO}_3$ )	$\text{I}^-$ (обесцвечивание раствора йода)
$\text{CrO}_4^{2-}$ ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ )	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{BaCrO}_4 \downarrow$ (желтый осадок)
	$\text{I}^-$ (в среде $\text{HCl}$ в присутствии $\text{CHCl}_3$ )	$[\text{I}_3]^-$ – красно-фиолетовый цвет хлороформного слоя
$\text{SiO}_3^{2-}$	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{BaSiO}_3 \downarrow$ (белый осадок, при действии кислот разлагается с образованием $\text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow$ )
$\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	$\text{H}_2\text{SO}_4; \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_3\text{B}$ – окрашивает пламя в зеленый цвет
$\text{F}^-$	$\text{Ba}^{2+}$	$\text{BaF}_2 \downarrow$ (белый осадок, растворим в $\text{NH}_4\text{OH}$ , в минеральных кислотах)
	$\text{H}_2\text{SO}_4, (\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 \downarrow$ (гель)
$\text{Cl}^-$	$\text{Ag}^+$	$\text{AgCl} \downarrow$ (белый осадок, растворим в $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ и $\text{NH}_4\text{OH}$ )
$\text{Br}^-$	$\text{Ag}^+$	$\text{AgBr} \downarrow$ (желтый осадок, частично растворим в $\text{NH}_4\text{OH}$ )
	$\text{Cl}_2$ (в кислой среде в присутствии $\text{CHCl}_3$ )	$\text{Br}_2$ (хлороформный слой окрашивается в бурый цвет)



Анионы	Реагенты (условия реакции)	Продукт реакции, аналитический эффект
I <sup>-</sup>	Ag <sup>+</sup>	AgI↓ (желтый осадок, растворим в NH <sub>4</sub> OH)
	Cl <sub>2</sub> (в кислой среде в присутствии CHCl <sub>3</sub> ) изб. Cl <sub>2</sub>	[I <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> – хлороформный слой окрашивается в красно-фиолетовый цвет IO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – обесцвечивание хлороформного слоя
S <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Ag <sub>2</sub> S↓ (черный осадок)
	H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> S↑ (запах)
	Cd <sup>2+</sup>	CdS↓ (желтый осадок)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe (II) (в среде конц. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	[Fe(NO)]SO <sub>4</sub> (бурое кольцо)
	дифениламин	 (синее окрашивание)
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> ↑ + NO↑ (бурый газ)
	антипирин	нитрозоантипирин (изумрудно-зеленый цвет)
	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (в кислой среде)	обесцвечивание раствора KMnO <sub>4</sub>
	NH <sub>4</sub> Cl, t°	N <sub>2</sub> ↑
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	H <sup>+</sup>	CH <sub>3</sub> COOH (запах уксуса)
	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH; H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> (запах яблок)
	Fe (III)	[(CH <sub>3</sub> COO) <sub>6</sub> Fe(OH) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> (красно-бурый цвет)

**РЕАКЦИИ КАТИОНОВ II-VI АНАЛИТИЧЕСКИХ ГРУПП ПРИ  
ПРИГОТОВЛЕНИИ “СОДОВОЙ ВЫТЯЖКИ”**

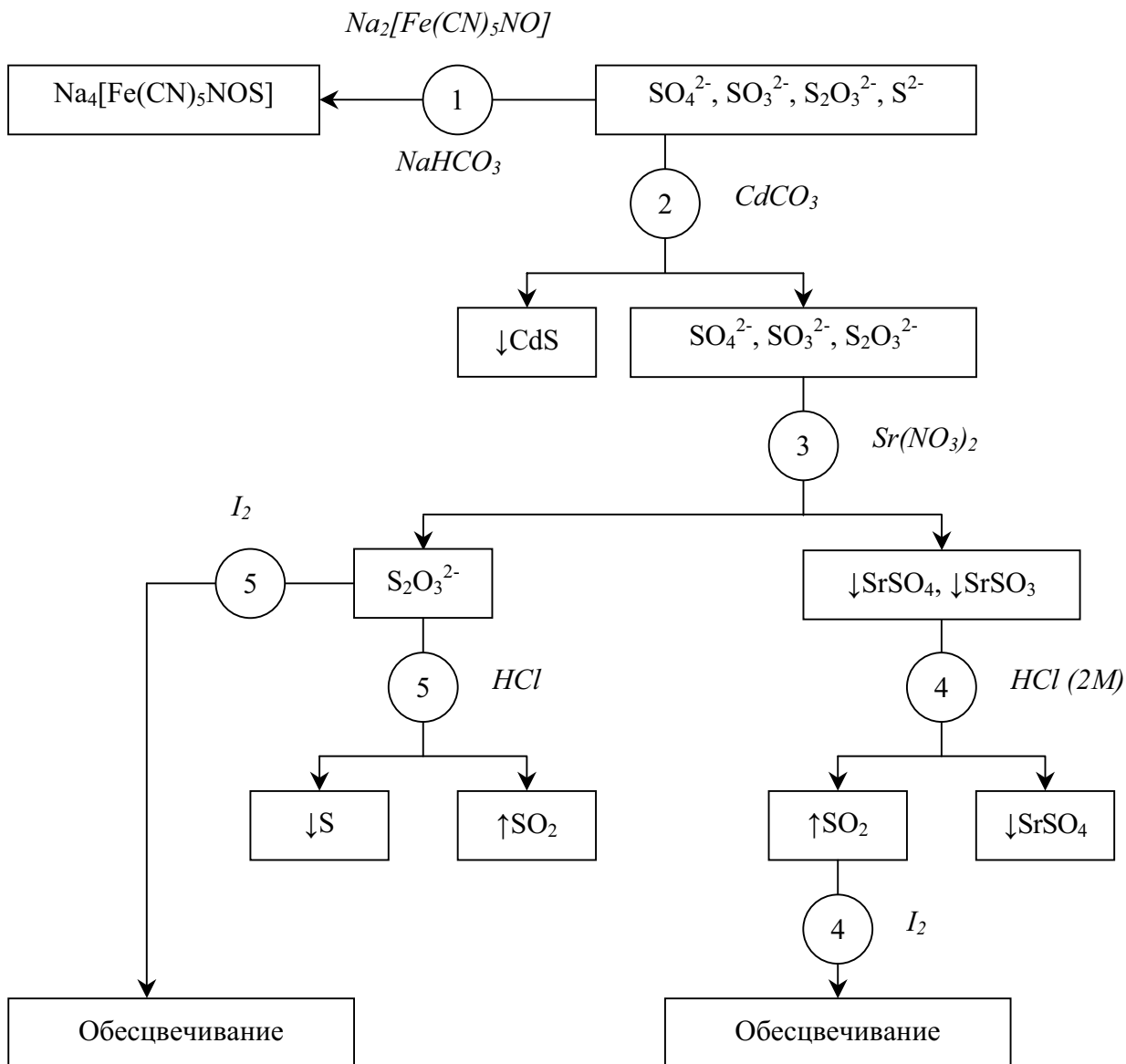
Аналитическая группа	Уравнение реакции
II	$2\text{Ag}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{CO}_3\downarrow \xrightarrow{\Delta} \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$2\text{Pb}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{PbOH})_2\text{CO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
III	$\text{Hg}_2^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}_2\text{CO}_3\downarrow \rightleftharpoons \text{HgO}\downarrow + \text{Hg}\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Ba}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{BaCO}_3\downarrow$
IV	$\text{Sr}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{SrCO}_3\downarrow$
	$\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{CaCO}_3\downarrow$
V	$2\text{Al}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{OH}^- \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$
	$2\text{Cr}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{OH}^- \rightarrow [\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-}$
	$\text{Sn}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Sn}(\text{OH})_2\downarrow + 4\text{OH}^- \rightarrow [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{4-}$
	$[\text{SnCl}_6]^{2-} + 2\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Sn}(\text{OH})_4\downarrow + 2\text{CO}_2\uparrow + 6\text{Cl}^-$
	$\text{Sn}(\text{OH})_4\downarrow + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Sn}(\text{OH})_6]^{2-}$
	$\text{Zn}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{OH}^- \rightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$
VI	$\text{Fe}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{FeCO}_3\downarrow \text{ быстро бурет на воздухе с образованием } \text{Fe}(\text{OH})_3 \text{ по уравнению:}$
	$4\text{FeCO}_3\downarrow + 6\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 4\text{CO}_2\uparrow$
	$2\text{Fe}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Mn}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{MnCO}_3\downarrow$
	$2\text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{MgOH})_2\text{CO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$2\text{Bi}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons 2\text{BiOHCO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$2[\text{SbCl}_6]^{3-} + 3\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons 2\text{Sb}(\text{OH})_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + 12\text{Cl}^-$
$[\text{SbCl}_6]^- + 3\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HSbO}_3\downarrow + 6\text{Cl}^- + 2\text{CO}_2\uparrow + \text{HCO}_3^-$	
VI	$2\text{Co}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CoOH})_2\text{CO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$\text{Ni}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{NiCO}_3\downarrow$
	$2\text{Cu}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{CuOH})_2\text{CO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$2\text{Hg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons (\text{HgOH})_2\text{CO}_3\downarrow + \text{CO}_2\uparrow$
	$(\text{HgOH})_2\text{CO}_3\downarrow \rightleftharpoons 2\text{HgO}\downarrow + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$

**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД АНАЛИЗА  
СМЕСИ СЕРУСОДЕРЖАЩИХ АНИОНОВ**



№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Обнаружение <math>\text{S}^{2-}</math>-ионов в отдельной порции исходного раствора действием <math>\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]</math> в слабощелочной среде:</p> $\text{S}^{2-} \xrightarrow{\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]} \text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NOS}]^{4-}$ <p>Красно-фиолетовое окрашивание свидетельствует о присутствии <math>\text{S}^{2-}</math>-ионов</p>
2	<p>Отделение <math>\text{S}^{2-}</math>-ионов из отдельной порции исходного раствора действием раствора <math>\text{CdCO}_3</math>:</p> $\text{S}^{2-} \xrightarrow{\text{CdCO}_3} \text{CdS} \downarrow$ <p>Осадок <math>\text{CdS}</math> отделяют центрифугированием</p>
3	<p>Разделение <math>\text{S}_2\text{O}_3^{2-}</math> и <math>\text{SO}_3^{2-}</math>, <math>\text{SO}_4^{2-}</math>-ионов действием раствора соли стронция на центрифугат 2:</p> $\text{SO}_3^{2-} \xrightarrow{\text{Sr}(\text{NO}_3)_2} \text{SrSO}_3 \downarrow$ $\text{SO}_4^{2-} \xrightarrow{\text{Sr}(\text{NO}_3)_2} \text{SrSO}_4 \downarrow$ <p>Осадок <math>\text{SrSO}_3</math>, <math>\text{SrSO}_4</math> отделяют центрифугированием</p>
4	<p>Обнаружение <math>\text{SO}_3^{2-}</math> и <math>\text{SO}_4^{2-}</math>-ионов действием 2М раствора <math>\text{HCl}</math> на осадок 3:</p> $\text{SrSO}_3 \downarrow \xrightarrow{\text{HCl}} \text{SO}_2 \uparrow$ <p>Определение <math>\text{SO}_3^{2-}</math>-ионов действием раствора йода:</p> $\text{SO}_2 \uparrow \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{I}_2} \text{SO}_4^{2-}$ <p>Раствор йода обесцвечивается. Неполное растворение осадка 3 свидетельствует о присутствии <math>\text{SO}_4^{2-}</math>-ионов</p>
5	<p>Обнаружение <math>\text{S}_2\text{O}_3^{2-}</math>-ионов действием раствора <math>\text{HCl}</math> и раствора йода на центрифугат 3:</p> $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \downarrow \xrightarrow{\text{HCl}} \text{S} \downarrow$ $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \downarrow \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{I}_2} \text{раствор йода обесцвечивается}$

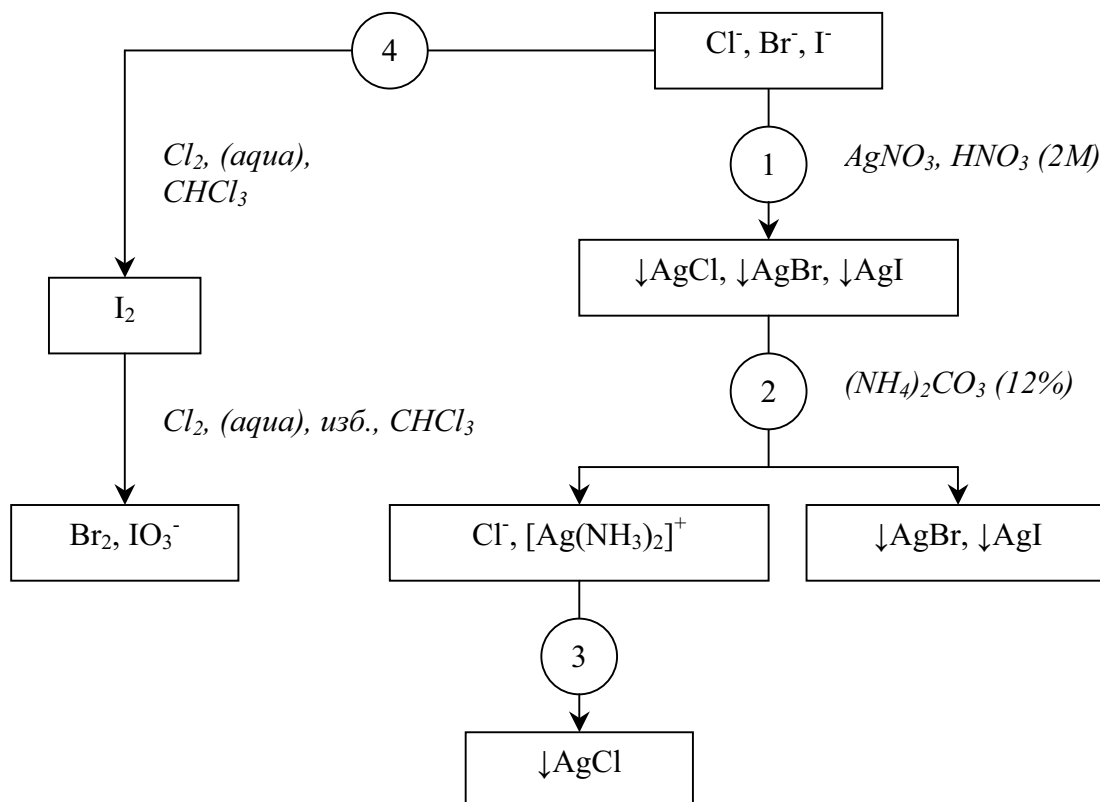
**СХЕМА АНАЛИЗА  $SO_4^{2-}$ ,  $SO_3^{2-}$ ,  $S_2O_3^{2-}$ ,  $S^{2-}$   
ПРИ ИХ СОВМЕШНОМ ПРИСУТСТВИИ**



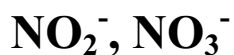
**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД  
АНАЛИЗА СМЕСИ ГАЛОГЕНИД-ИОНОВ**

**Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>**

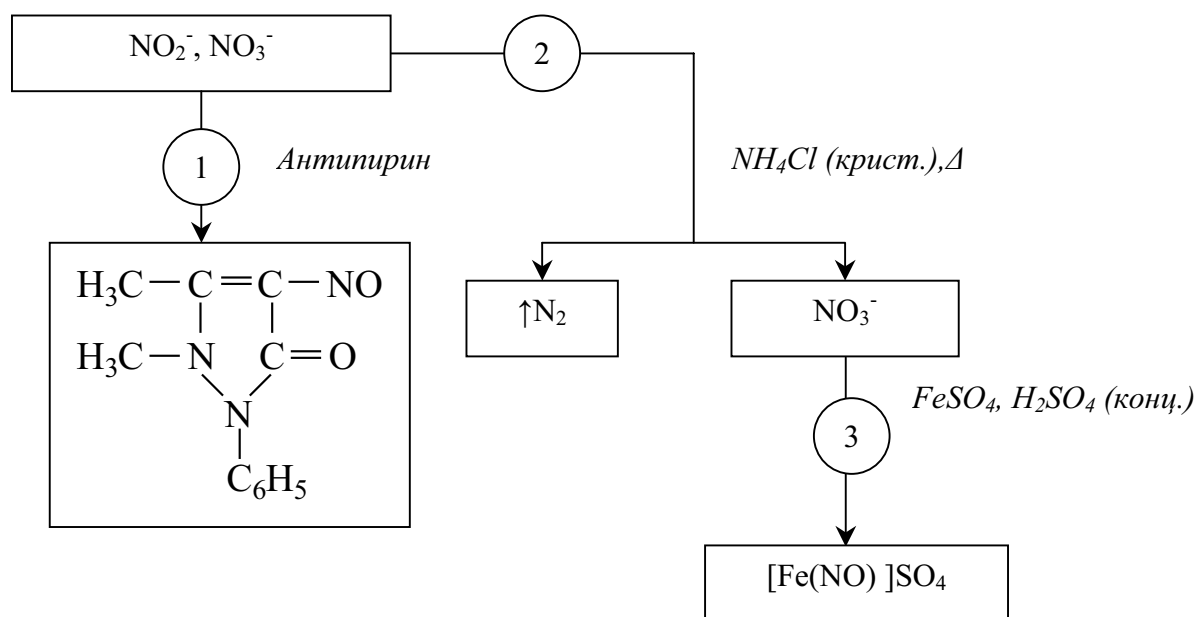
№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Осаждение в отдельной порции исходного раствора Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>-ионов действием подкисленного HNO<sub>3</sub> раствора AgNO<sub>3</sub>:</p> $\begin{array}{l} \text{AgNO}_3 \\ \text{Cl}^- \longrightarrow \text{AgCl} \downarrow \\ \text{HNO}_3 \\ \text{AgNO}_3 \\ \text{Br}^- \longrightarrow \text{AgBr} \downarrow \\ \text{HNO}_3 \\ \text{AgNO}_3 \\ \text{I}^- \longrightarrow \text{AgI} \downarrow \\ \text{HNO}_3 \end{array}$ <p>Осадок отделяют центрифугированием. Центрифугат не анализируют</p>
2	<p>Отделение Cl<sup>-</sup>-ионов действием на осадок 1 12% раствора (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>:</p> $\text{AgCl} \downarrow \xrightarrow{\text{(NH}_4\text{)}_2\text{CO}_3, 12\%} [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+, \text{Cl}^-$ <p>Осадок AgBr, AgI отделяют центрифугированием и не анализируют</p>
3	<p>Обнаружение Cl<sup>-</sup>-ионов действием раствора HNO<sub>3</sub> на центрифугат 2:</p> $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+, \text{Cl}^- \xrightarrow{\text{HNO}_3} \text{AgCl} \downarrow$
4	<p>Обнаружение I<sup>-</sup> и Br<sup>-</sup>-ионов из отдельной порции исходного раствора действием хлорной воды в присутствии хлороформа:</p> $\begin{array}{l} \text{Cl}_2 \\ \text{I}^- \longrightarrow \text{I}_2 \text{ (красно-фиолетовая окраска} \\ \text{хлороформного слоя)} \\ \text{Cl}_2 \\ \text{Br}^- \longrightarrow \text{Br}_2 \text{ (исчезновение красно-фиолетовой} \\ \text{окраски и появление оранжевой} \\ \text{окраски хлороформного слоя)} \end{array}$

СХЕМА АНАЛИЗА СМЕСИ ГАЛОГЕНИД-ИОНОВ ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ )

**СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ХОД  
АНАЛИЗА СМЕСИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ АНИОНОВ**



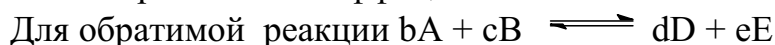
№ этапа	Этапы исследования
1	<p>Обнаружение <math>\text{NO}_2^-</math>-ионов в отдельной порции подкисленного исходного раствора действием кристаллического антипирина:</p> $\text{NO}_2^- \xrightarrow[\text{H}^+]{\text{антипирин}} \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{C}=\text{C}-\text{NO} \\   \quad \quad   \\ \text{H}_3\text{C}-\text{N} \quad \quad \text{C}=\text{O} \\   \quad \quad   \\ \quad \quad \quad \text{N} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>Изумрудно-зеленая окраска</p>
2	<p>Удаление <math>\text{NO}_2^-</math>-ионов из отдельной порции исходного раствора действием кристаллического <math>\text{NH}_4\text{Cl}</math> при нагревании:</p> $\text{NO}_2^- \xrightarrow[\Delta]{\text{NH}_4\text{Cl}} \text{N}_2 \uparrow$
3	<p>Обнаружение <math>\text{NO}_3^-</math>-ионов в растворе 2 действием <math>\text{FeSO}_4</math> в присутствии конц. <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>:</p> $\text{NO}_3^- \xrightarrow[\text{бурое кольцо}]{\text{FeSO}_4, \text{H}_2\text{SO}_4} [\text{Fe}(\text{NO})]\text{SO}_4$ <p>Если в растворе присутствуют <math>\text{Br}^-</math> или <math>\text{I}^-</math>-ионы, их предварительно удаляют действием хлорной воды в присутствии раствора <math>\text{HCl}</math> при нагревании:</p> $\text{Br}^- \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{Cl}_2, \Delta} \text{Br}_2 \uparrow$ $\text{I}^- \xrightarrow[\text{HCl}]{\text{Cl}_2, \Delta} \text{I}_2 \uparrow$

СХЕМА АНАЛИЗА СМЕСИ АНИОНОВ:  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ 



## Равновесия в растворах электролитов

В основе теоретического обоснования равновесных процессов в растворах электролитов лежит закон действующих масс, который в наиболее общем виде формулируют следующим образом: скорость химической реакции в каждый момент времени пропорциональна произведению действующих, активных масс (концентраций) реагирующих веществ в степенях, равных соответствующим стехиометрическим коэффициентам.



скорость прямой реакции ( $v_1$ ) выражают уравнением:

$$v_1 = K_1 \cdot a_A^b \cdot a_B^c,$$

а скорость обратной реакции ( $v_2$ ) уравнением:

$$v_2 = K_2 \cdot a_D^d \cdot a_E^e,$$

где:  $K_1$  – константа скорости прямой реакции;

$K_2$  – константа скорости обратной реакции;

$a$  – активность (эффективная действующая концентрация), проявляющая себя в химических процессах в качестве реально действующей концентрации в отличие от теоретической концентрации ( $C$ ) вещества в растворе.

$$a = C \cdot f,$$

где:

$f$  – коэффициент активности,  $f = \frac{a}{c}$ .

Коэффициент активности учитывает взаимодействие частиц данного вещества с окружающей средой. Величина  $f$  как правило меньше единицы и лишь при бесконечном разбавлении ( $c \leq 10^{-6}$  моль·л<sup>-1</sup>) приближается к единице.

Активность иона зависит не только от его концентрации, но также от концентрации всех других ионов, находящихся в растворе.

Для характеристики зависимости активности иона от концентрации всех находящихся в растворе электролитов введено понятие – ионная сила раствора ( $\mu$ ). Ионная сила раствора равна полусумме произведений концентраций ионов на квадрат их зарядов:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2,$$

где:  $C_i$  – концентрация  $i$ -того иона в растворе,

$Z_i$  – заряд указанного иона.

С увеличением ионной силы раствора коэффициент активности данного иона уменьшается. Зависимость коэффициента активности очень разбавленного раствора от ионной силы раствора выражается формулой:

$$\lg f = -0,5 Z^2 \sqrt{\mu}.$$

С увеличением концентрации раствора эта зависимость усложняется. В случае обратимых процессов в момент равновесия скорость прямой реакции ( $v_1$ ) становится равной скорости обратной реакции ( $v_2$ ):

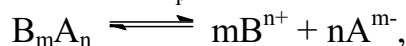
$$v_1 = v_2;$$

$$K_1 \cdot a_A^b \cdot a_B^c = K_2 \cdot a_D^d \cdot a_E^e.$$

Отношение  $\frac{K_2}{K_1} = \frac{a_D^d \cdot a_E^e}{a_A^b \cdot a_B^c}$  называют константой равновесия и обозначают

$K_p$ .  $K_p$  показывает во сколько раз скорость прямой реакции больше скорости обратной реакции.

Состояние химического равновесия в растворах электролитов характеризуют с помощью константы равновесия  $K_p$ :



$$K_p = \frac{[B^{n+}]^m [A^{m-}]^n}{[B_m A_n]}.$$

Константу равновесия для воды выражают формулой:

$$K_p = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}, \text{ так как вода является очень слабым электролитом, то}$$

$[H_2O]$  является величиной практически постоянной.

В связи с этим процесс ионизации воды характеризуют ионным произведением воды  $K_w$ :

$$K_w = K_p[H_2O] = [H^+][OH^-].$$

При комнатной температуре ( $25^\circ\text{C}$ )  $K_w = 1 \cdot 10^{-14}$ .

В нейтральном водном растворе

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Так как концентрации  $[H^+]$  и  $[OH^-]$  в водных растворах выражаются малыми величинами, которыми неудобно пользоваться, то введена логарифмическая форма их выражения:

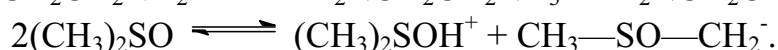
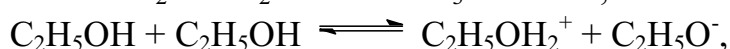
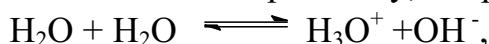
$$-\lg[H^+] = \text{pH},$$

$$-\lg[OH^-] = \text{pOH},$$

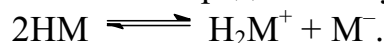
$$\lg K_w = -\lg[H^+] - \lg[OH^-],$$

$$\lg K_w = \text{pH} + \text{pOH}.$$

Многие растворители, применяемые в аналитической химии неводных растворов, подвергаются подобно воде автопротолизу, например:



В общем виде эти процессы можно представить уравнением:



Катионы, образующиеся в процессе самодиссоциации растворителей, ведут себя по отношению к сильным основаниям как кислоты, анионы по отношению к сильным кислотам – как основания. Равновесие, устанавливающееся в процессе самодиссоциации растворителя, характеризуется константой автопротолиза  $K_s$ :

$$K_s = a_{\text{H}_2\text{M}^+} \cdot a_{\text{M}^-} \text{ (термодинамическая константа автопротолиза)}$$

или

$$K_s = [\text{H}_2\text{M}^+][\text{M}^-] \text{ (концентрационная константа автопротолиза)}$$

Кислотно-основное равновесие автопротолиза зависит от природы растворителя и его склонности к образованию водородных связей, от донорно-акцепторного характера, сольватирующей способности и т.д.

Показатель константы автопротолиза ( $\text{p}K_s = -\lg K_s$ ) служит мерой протяженности шкалы кислотности данного растворителя (для воды – 14, для этанола – 18,75, для диметилформаида – 27,0, для ацетонитрила – 33,3 и т.д.), представляющей собой предельный диапазон значений рН данного растворителя) от  $\text{pH}=0$  ( $a_{\text{H}_2\text{M}^+} = 1$ ) до  $\text{pH}$ , численно достигающего значения  $\text{p}K_s$  ( $a_{\text{M}^-} = 1$ ).

С увеличением кислотности одного и того же типа растворителя закономерно уменьшается его  $\text{p}K_s$ . Например, для группы растворителей, представленных ниже,  $\text{p}K_s$  изменяется в таком порядке:  $\text{CH}_3\text{COOC}_6\text{H}_{13} > \text{CH}_3\text{COOC}_5\text{H}_{11} > \text{CH}_3\text{COOC}_4\text{H}_9 > \text{CH}_3\text{COOC}_3\text{H}_7 > \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 > \text{CH}_3\text{COOCH}_3 > \text{CH}_3\text{COOH} > \text{HCOOH}$ . Интересно, что в том же порядке увеличивается диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon^*$ ) этих растворителей (табл.).

Константу равновесия в растворах слабых кислот выражают через  $K_a$ :



$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

Константу равновесия в растворах слабых оснований выражают через  $K_b$ :



$$K_b = \frac{[\text{B}^+][\text{OH}^-]}{[\text{BOH}]}$$

Для оснований состояние ионного равновесия также может быть описано кислотной константой ионизации. Например, аммиак – основание, которое, присоединяя протон, образует ион аммония.

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ( $\epsilon^*$ ) И ПОКАЗАТЕЛИ  
 КОНСТАНТ АВТОПРОТОЛИЗА ( $pK_s$ ) НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫХ  
 НЕВОДНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
 В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

Растворитель	$\epsilon^*$ при 25°C	$pK_s$
<b>Спирты</b>		
Метанол	32,6	17,31
Этанол	24,3	18,54
<i>n</i> -Пропанол	20,1	19,46
Изопропанол	18,3	20,30
<b>Эфиры</b>		
Метилацетат	6,7	22,50
Этилацетат	6,0	22,83
<b>Кетоны</b>		
Ацетон (диметилкетон)	20,9	21,40
Метилэтилкетон	18,4	21,53
<b>Кислоты</b>		
Жидкий HF	84(0°C)	11,7
Серная кислота	100,5	3,62
Уксусная кислота	6,2	12,22
Муравьиная кислота	57,0 (20°C)	14,45
		6,66
<b>Азотсодержащие соединения</b>		
Формаид	109,5	17,0
N,N-Диметилформаид	36,71	23,10
Аммиак	22,7(-50°C)	32,72
<b>Серусодержащие соединения</b>		
Диметилсульфоксид	45,0	33,3
Сульфолан	42,0	25,45

Однако ион аммония ( $NH_4^+$ ) можно рассматривать и как слабую кислоту, которая способна частично ионизировать в водном растворе, давая ионы водорода и молекулы аммиака:



Поэтому:

$$K_a = \frac{[H^+][NH_3]}{[NH_4^+]}$$

Экспериментально было найдено, что эта константа равна  $5,5 \cdot 10^{-10}$  (при  $25^\circ\text{C}$ ). Приведенное уравнение может быть изображено в более общем виде:

$$K_a = \frac{[H^+][B]}{[BH^+]}$$

Такое использование констант кислотности для характеристики оснований было введено в 1923 г. Бренстедом, который показал, насколько удобно выражать степень ионизации кислот и оснований в одной шкале, подобно тому, как значение рН одинаково хорошо характеризует и кислотность, и основность. Следовательно, кислоты и основания могут быть количественно охарактеризованы по их сродству к протону. Эта взаимосвязь требует использования единых констант кислотности ( $K_a$ ) для кислот и оснований.

Для растворов электролитов показательной является величина степени ионизации ( $\alpha$ ), которая количественно характеризует состояние электролита и определяется соотношением:

$$\alpha = \frac{\text{число ионизированных молекул}}{\text{общее число растворенных молекул}}$$

Между величинами константы ионизации ( $K_i$ ), степенью ионизации ( $\alpha$ ) и концентрацией ( $C$ ) существует зависимость, которая выражается законом разбавления Оствальда:

$$K_i = \frac{C \alpha^2}{1 - \alpha}$$

У очень слабых электролитов ( $\alpha < 0,05$ , т.е. 5%) величина  $\alpha$  очень мала и разность  $1 - \alpha$  можно принять равной единице. Поэтому для их растворов принимают сокращенный вид закона разбавления Оствальда:  $K_i = C \alpha^2$ . Из закона разбавления Оствальда следует, что при разбавлении растворов слабых электролитов их степень ионизации увеличивается.

## Равновесия в растворах кислот и оснований

Кислотность водных растворов определяется концентрацией в них ионов водорода и характеризуется величиной рН, связанной с концентрацией ионов водорода следующим выражением:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\lg[H^+], \text{аналогично:} \\ \text{pOH} &= -\lg[OH^-]. \end{aligned}$$

Обе эти величины связаны между собой соотношением:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \text{ (при } 25^\circ\text{C)}.$$

Сильные кислоты и основания в водных растворах ионизируют полностью. Например:



или



Следовательно, в таких растворах:

$$[\text{H}^+] = C_a = [\text{An}^-] \text{ (для одноосновной кислоты)}$$

$$[\text{OH}^-] = C_b = [\text{Kat}^+] \text{ (для однокислотного основания)}$$

*Расчет концентрации ионов  $[\text{H}^+]$  в 0,001М водном растворе HCl:*



В 0,001М водном растворе HCl концентрация ионов  $[\text{H}^+]$  равняется  $10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup>, но так как произведение равновесных концентраций  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$  остается величиной постоянной, концентрация  $[\text{OH}^-]$  в водном растворе уменьшается и равняется  $[\text{OH}^-] = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11}$  моль·л<sup>-1</sup>.

Следовательно, в любом водном растворе кислоты  $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$  – среда раствора кислая.

*Расчет концентрации ионов  $[\text{H}^+]$  в 0,001М растворе NaOH:*



Учитывая рассуждение, приведенное выше, в 0,001М растворе NaOH концентрация ионов  $[\text{OH}^-]$  равняется  $10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup>, но произведение равновесных концентраций  $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$  остается постоянным, тогда концентрация  $[\text{H}^+]$  уменьшается и равняется  $[\text{H}^+] = \frac{10^{-14}}{10^{-3}} = 10^{-11}$  моль·л<sup>-1</sup>.

Следовательно, в водном растворе щелочи  $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$  – среда раствора щелочная.

Среду водного раствора удобно характеризовать не  $[\text{H}^+]$ , а pH.

Расчет значений pH: в воде  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$  моль·л<sup>-1</sup>,

тогда pH = 7 - среда нейтральная.

В 0,001М растворе HCl:  $[\text{H}^+] = 10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup>, pH =  $-\lg 10^{-3} = 3$ .

Произошло резкое изменение pH раствора на 4 единицы, что отвечает изменению  $[\text{H}^+] = \frac{10^{-3}}{10^{-7}} = 10^4 = 10000$  раз,

pH < 7 – среда кислая.

В 0,001М растворе NaOH:  $[H^+] = 10^{-11}$  моль·л<sup>-1</sup>,  $pH = -\lg 10^{-11} = 11$ .  
 Произошло резкое изменение pH раствора также на 4 единицы, что отвечает из-

менению  $[H^+] = \frac{10^{-7}}{10^{-11}} = 10^4 = 10000$  раз,

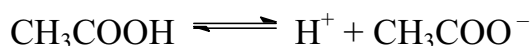
$pH > 7$  – среда щелочная.

Следовательно, если:  $pH = 7$  – среда нейтральная,

$pH < 7$  – среда кислая,

$pH > 7$  – среда щелочная.

Слабые кислоты и основания в водных растворах ионизируют частично.  
 Например:



или



Равновесия в растворах таких кислот и оснований характеризуются соответствующими константами равновесия. Для приведенных выше кислоты и основания:

$$K_{CH_3COOH} = \frac{[H^+] \cdot [CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]};$$

$$K_{NH_3 \cdot H_2O} = \frac{[OH^-] \cdot [NH_4^+]}{[NH_3 \cdot H_2O]}.$$

Из выражения для констант равновесия слабой кислоты или слабого основания могут быть получены формулы для расчета равновесных концентраций  $[H^+]$  и  $[OH^-]$ :

$$[H^+] = \sqrt{K_a \cdot C_a};$$

$$[OH^-] = \sqrt{K_b \cdot C_b}.$$

Значения  $K_a$  и  $K_b$  для многих кислот ( $K_a$ ) и оснований ( $K_b$ ) приведены в справочниках, в том числе в настоящем издании.

При известных начальных концентрациях кислоты ( $C_a$ ) или основания ( $C_b$ ) и их степени ионизации ( $\alpha$ ) значения  $[H^+]$  или  $[OH^-]$  в их растворах могут быть вычислены по формуле:

$$[H^+] = \alpha \cdot C_a;$$

$$[OH^-] = \alpha \cdot C_b.$$

В буферных растворах, представляющих собой смесь слабой кислоты и соли этой же кислоты или слабого основания и соли этого же основания, значения  $[H^+]$  или  $[OH^-]$  зависят не только от констант ионизации кислоты и основания, но и от соотношения концентраций кислоты и ее соли или основания и его соли:

$$[H^+] = K_a \cdot \frac{C_a}{C_{\text{соли}}};$$

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{C_b}{C_{\text{соли}}}$$

Следует помнить, что при решении задач по указанным выше формулам концентрации кислот, оснований и ионов должны быть выражены в моль·л<sup>-1</sup>.

**Задача 1.** Константа ионизации циановодородной кислоты равна  $7,9 \cdot 10^{-10}$ . Рассчитать степень ионизации кислоты в 0,001М растворе, рН раствора и долю неионизированной части кислоты.

**Пример решения.** Поскольку константа ионизации HCN очень мала, то для вычисления степени ионизации воспользуемся формулой закона разбавления Оствальда в сокращенном виде:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C_a}} = \sqrt{\frac{7,9 \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10^{-3}}} = 8,9 \cdot 10^{-4}, \text{ или } 8,9 \cdot 10^{-2}\%$$

Доля неионизированной части, очевидно, равна  $100\% - \alpha = 100 - 0,089 = 99,91\%$ .

Расчет  $[\text{H}^+]$  удобно в данном случае вести по формуле  $[\text{H}^+] = \alpha \cdot C_a$ :

$$[\text{H}^+] = 8,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 8,9 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$$

$$\text{Отсюда, рН} = -\lg 8,9 \cdot 10^{-7} = 6,05$$

**Задача 2.** Вычислить рН 0,4% раствора натрия гидроксида.

**Пример решения.** Рассчитаем концентрацию NaOH в моль·л<sup>-1</sup>:

$$C_{\text{NaOH}} = \frac{10 \cdot W \cdot \rho}{M_M} = \frac{10 \cdot 0,4 \cdot 1}{40} = 0,1 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1},$$

где:  $\rho$  – плотность раствора NaOH (г/см<sup>3</sup>), принятая равной единице из-за малой концентрации раствора;

$W$  – концентрация раствора, %;

$M_M$  – молярная масса NaOH, г.

Так как NaOH сильное основание, то  $[\text{OH}^-] = C_{\text{NaOH}} = 0,1 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ .

$$\text{Тогда рОН} = -\lg 0,1 = 1,0. \text{ рН} = 14 - \text{рОН} = 14 - 1 = 13.$$

**Задача 3.** Чему равна концентрация гидроксид-ионов в растворе, рН которого равно 10,80?

**Пример решения.** Рассчитываем рОН:

$$\text{рОН} = 14 - \text{рН} = 14 - 10,80 = 3,20.$$

$$\text{Отсюда, } -\lg[\text{OH}^-] = 3,20, \text{ или } \lg[\text{OH}^-] = -3,20; [\text{OH}^-] = 10^{-3,2}$$

$$\text{Отсюда: } [\text{OH}^-] = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Решить самостоятельно следующие задачи.

**Задача 4.** Степень ионизации муравьиной кислоты в 0,2М растворе равна 3%. Определить константу ионизации кислоты и значение рН.

**Задача 5.** Сколько воды нужно прибавить к 600 мл 0,2М раствора уксусной кислоты, чтобы степень ионизации кислоты удвоилась?



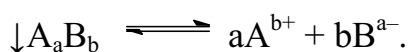
Задача 6. Вычислить рН раствора уксусной кислоты, если ее концентрация равна 0,01М, а степень ионизации 4,2%.

Задача 7. Во сколько раз концентрация ионов водорода в крови (рН = 7,36) больше, чем в спинномозговой жидкости (рН = 7,53)?

Задача 8. Чему равна концентрация раствора уксусной кислоты, рН которого равен 4,8?

## Равновесия в гетерогенных системах

В водных растворах, насыщенных относительно малорастворимого электролита  $A_aB_b$ , устанавливается равновесие между твердой фазой и раствором ее ионизированной части:



Это равновесие описывается константой равновесия, называемой произведением растворимости:

$$ПР = [A^{b+}]^a \cdot [B^{a-}]^b.$$

Приведенное уравнение позволяет рассчитать растворимость электролита ( $S$ , моль·л<sup>-1</sup>) по величине ПР:

$$S = \sqrt[a+b]{\frac{ПР}{a^a b^b}},$$

а также по известной растворимости электролита рассчитать значение его ПР. Кроме того, знание значений величин ПР позволяет решить вопрос о возможности образования осадка или его растворения.

*Условие образования осадка:* произведение концентраций ионов в степенях, соответствующих их стехиометрическим коэффициентам должно превысить произведение растворимости:

$$C_{A^{b+}}^a \cdot C_{B^{a-}}^b > ПР.$$

*Условие растворения осадка:* произведение концентраций ионов в степенях соответствующих их стехиометрическим коэффициентам должно стать меньше ПР за счет связывания одного из ионов в менее растворимое соединение, слабый электролит или газообразный продукт, что описывается следующим соотношением:

$$C_{A^{b+}}^a \cdot C_{B^{a-}}^b < ПР.$$

Значения ПР большинства малорастворимых электролитов приведены в справочниках, в том числе в настоящем издании.

При решении задач с использованием приведенных формул следует помнить, что концентрация малорастворимых электролитов и ионов в растворах должна быть выражена в моль·л<sup>-1</sup>.

Задача 1. Произведение растворимости свинца йодида при 20°C равна  $8,0 \cdot 10^{-9}$ . Вычислить растворимость соли в моль·л<sup>-1</sup> и г·л<sup>-1</sup> при указанной температуре.

Пример решения. В насыщенном растворе свинца йодида устанавливается равновесие между осадком и ионами:



Обозначим искомую растворимость  $S$  моль·л<sup>-1</sup>. В соответствии с приведенным уравнением равновесия в насыщенном растворе свинца йодида содержится  $S$  моль·л<sup>-1</sup> ионов свинца и  $2S$  моль·л<sup>-1</sup> йодид-ионов.

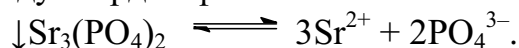
$$\text{Тогда, } \text{ПР}_{\text{PbI}_2} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = S(2S)^2 = 4S^3.$$

$$\text{Отсюда, } S = \sqrt[3]{\text{ПР}_{\text{PbI}_2}/4} = \sqrt[3]{8 \cdot 10^{-9}/4} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$$

Молярная масса свинца йодида равна  $461 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ . Тогда растворимость осадка в г·л<sup>-1</sup> будет равна:  $461 \cdot 1,3 \cdot 10^{-3} = 0,6 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ .

Задача 2. В 250 мл насыщенного раствора содержится  $2,60 \cdot 10^{-5} \text{ г}$  стронция фосфата. Вычислить произведение растворимости данной соли.

Пример решения. В насыщенном растворе стронция фосфата устанавливается равновесие между твердой фазой соли и ее ионизированной частью:



Тогда выражение для произведения растворимости данной соли имеет следующий вид:

$$\text{ПР}_{\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2} = [\text{Sr}^{2+}]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}]^2.$$

Рассчитаем растворимость стронция фосфата в г·л<sup>-1</sup> из пропорции:

0,25 л содержит  $2,60 \cdot 10^{-5} \text{ г}$  стронция фосфата;

1 л содержит  $x \text{ г}$  стронция фосфата.

$$x = \frac{2,60 \cdot 10^{-5} \cdot 1}{0,25} = 1,04 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Выразим полученную концентрацию в моль·л<sup>-1</sup>:

$$S_x = \frac{x}{M_{\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2}} = \frac{1,121 \cdot 10^{-4}}{452,803} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Здесь  $M_{\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2}$  – молярная масса стронция фосфата, равная  $452,803 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ .

Из уравнения равновесия стронция фосфата в его насыщенном растворе следует, что из  $S$  моль·л<sup>-1</sup> стронция фосфата образуется  $3S$  моль·л<sup>-1</sup> ионов стронция и  $2S$  моль·л<sup>-1</sup> фосфат-ионов. Тогда,  $\text{ПР}_{\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2} = (3S)^3 (2S)^2 = 108 S^5$ .

Подставим значение  $S$  в уравнение ПР:

$$\text{ПР} = 108 \cdot (2,3 \cdot 10^{-7})^5 = 0,7 \cdot 10^{-31}.$$

Задача 3. Во сколько раз растворимость свинца йодида в 0,1М растворе калия йодида меньше, чем в воде?

Пример решения. Растворимость свинца йодида в воде была вычислена в задаче 1. Рассчитаем растворимость той же соли в 0,1М растворе калия йодида, обозначив ее  $x$ . Тогда, как следует из уравнения (см. задачу 1), концентрация ионов свинца тоже будет равна  $x$ , а концентрация йодид-ионов составит

$2x + 0,1$ . Предположим, что  $2x \ll 0,1$ , тогда величиной  $2x$  по сравнению с  $0,1$  можно пренебречь и  $[I^-] = 0,1$  моль·л<sup>-1</sup>.

Подставив полученные значения концентраций ионов свинца и йодид-ионов в выражение для ПР свинца йодида, получим:

$$\text{ПР}_{\text{PbI}_2} = x \cdot (0,1)^2.$$

$$\text{Отсюда, } X = \frac{\text{ПР}_{\text{PbI}_2}}{(0,1)^2} = \frac{8 \cdot 10^{-9}}{0,01} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Следовательно, растворимость свинца йодида в присутствии калия йодида уменьшилась в  $1,3 \cdot 10^{-3} / 8 \cdot 10^{-7} = 1,6 \cdot 10^3$  раз.

**Задача 4.** Смешаны равные объемы  $5 \cdot 10^{-3}$  М раствора кальция хлорида и натрия сульфата. Образуется ли осадок кальция сульфата ( $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4} = 2,5 \cdot 10^{-5}$ )?

**Пример решения.** Для ответа на этот вопрос необходимо сравнить произведение концентраций ионов  $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}}$  и  $\text{C}_{\text{SO}_4^{2-}}$  с произведением растворимости кальция сульфата, т.е. проверить выполнимость условия  $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \text{C}_{\text{SO}_4^{2-}} > \text{ПР}_{\text{CaSO}_4}$ .

При смешении равных объемов растворов кальция хлорида и натрия сульфата концентрации ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  по сравнению с исходными уменьшаются вдвое и станут равными  $2,5 \cdot 10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup> для каждого иона. Тогда  $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}} \cdot \text{C}_{\text{SO}_4^{2-}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} = 6,25 \cdot 10^{-6}$ , т.е. полученная величина меньше  $\text{ПР}_{\text{CaSO}_4}$ , и, следовательно, осадок не образуется.

Решить самостоятельно следующие задачи.

**Задача 5.** Для растворения 1,16 г  $\text{PbI}_2$  потребовалось 2 л воды. Найти произведение растворимости соли.

**Задача 6.** Вычислить объем воды, необходимой для растворения 2 г бария сульфата при температуре 25°C.

**Задача 7.** Образуется ли осадок свинца хлорида, если к 0,1 М раствору свинца нитрата добавить равный объем 0,3 М раствора натрия хлорида?

**Задача 8.** Как изменится растворимость кальция фторида в 0,05М растворе кальция хлорида по сравнению с растворимостью в воде ( $\text{ПР}_{\text{CaF}_2} = 4 \cdot 10^{-11}$ )?

**Задача 9.** Произведение растворимости магния гидроксида равно  $6 \cdot 10^{-10}$ . При каком значении рН начнет осаждаться магния гидроксид из  $1,6 \cdot 10^{-4}$  М раствора магния хлорида?

## Равновесия в растворах гидролизующихся солей

Многие растворимые соли в водных растворах подвергаются гидролизу, что приводит к возникновению кислой или щелочной реакции раствора.

Если гидролизу подвергается соль, образованная слабым основанием и сильной кислотой (например,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), то среда раствора станет кислой. При

гидролизе соли, образованной слабой кислотой и сильным основанием (например,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ ), среда раствора будет щелочной. При гидролизе соли, образованной слабым основанием и слабой кислотой, среда раствора определяется соотношением констант ионизации соответствующих кислот и оснований и может быть нейтральной (например, при гидролизе  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ), слабощелочной ( $\text{NH}_4\text{CN}$ ) или слабокислой ( $\text{NH}_4\text{F}$ ).

При решении задач необходимо определить, к какому типу относится гидролизующаяся соль.

Следует помнить, что при расчетах концентрации ионов и солей должны быть выражены в моль·л<sup>-1</sup> (таблица).

Задача 1. Вычислить степень гидролиза и pH раствора калия ацетата, в 100 мл которого содержится 0,9814 г соли.

Пример решения. Калия ацетат диссоциирует по уравнению:



Так как калия ацетат образован слабой кислотой и сильным основанием, гидролиз идет по аниону:



### ТАБЛИЦА ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА

Соль	Константа гидролиза $K_f$	Степень гидролиза $h$	$[\text{H}^+]$	$[\text{OH}^-]$
Образованная сильной кислотой и слабым основанием	$\frac{K_w}{K_b}$	$\sqrt{\frac{K_w}{K_b \cdot C_{\text{BA}}}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot C_{\text{BA}}}{K_b}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot K_b}{C_{\text{BA}}}}$
Образованная слабой кислотой и сильным основанием	$\frac{K_w}{K_a}$	$\sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot C_{\text{BA}}}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot K_a}{C_{\text{BA}}}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot C_{\text{BA}}}{K_a}}$
Образованная слабой кислотой и слабым основанием	$\frac{K_w}{K_a \cdot K_b}$	$\frac{\sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot K_b}}}{1 + \sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot K_b}}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot K_a}{K_b}}$	$\sqrt{\frac{K_w \cdot K_b}{K_a}}$

Примечание:  $K_w$  – ионное произведение воды,  
 $C_{\text{BA}}$  – концентрация соли, моль·л<sup>-1</sup>.

Степень гидролиза определяется по формуле:

$$h = \sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot C_{\text{BA}}}}.$$

Рассчитываем концентрацию соли в моль·л<sup>-1</sup>:

$$C_{\text{соли}} = \frac{m}{M \cdot V} = \frac{0,9814}{98,143 \cdot 0,1} = 0,1 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1},$$

где:  $m$  – масса соли, г;  
 $V$  – объем раствора, л;  
 $M$  – молярная масса соли, г·моль<sup>-1</sup>.

Находим значение  $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,74 \cdot 10^{-5}$ . Подставим полученные значения в формулу для расчета степени гидролиза:

$$h = \sqrt{\frac{1 \cdot 10^{-14}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}} = 7,58 \cdot 10^{-5} \approx 7,6 \cdot 10^{-5}.$$

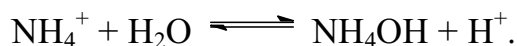
Из приведенного выше уравнения гидролиза ацетат-ионов следует, что концентрация образующихся гидроксид-ионов равна концентрации ацетат-ионов. Тогда,  $[\text{OH}^-] = [\text{CH}_3\text{COO}^-] = h \cdot C_{\text{соли}} = 7,6 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ . Отсюда,  $\text{pOH} = -\lg 7,6 \cdot 10^{-6} = 5,12$  и  $\text{pH} = 14 - 5,12 = 8,88$ .

Задача 2. Вычислить константу гидролиза аммония хлорида и pH его 0,1 моль·л<sup>-1</sup> раствора.

Пример решения. Аммония хлорид ионизирует по уравнению:



Так как данная соль образована слабым основанием и сильной кислотой, гидролиз идет по катиону:



Для расчета константы гидролиза соли подобного типа следует воспользоваться формулой:

$$K_r = \frac{K_w}{K_{\text{NH}_4\text{OH}}} = \frac{10^{-14}}{1,76 \cdot 10^{-5}} = 5,68 \cdot 10^{-10}.$$

Значение величины  $[\text{H}^+]$  в растворе аммония хлорида найдем по формуле:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_r \cdot C_{\text{соли}}} = \sqrt{5,68 \cdot 10^{-10} \cdot 0,1} = 7,63 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

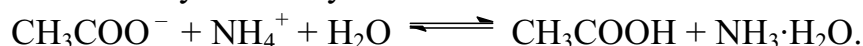
Тогда,  $\text{pH} = -\lg 7,53 \cdot 10^{-6} = 5,12$ .

Задача 3. Во сколько раз увеличится степень гидролиза аммония ацетата, если его раствор нагреть с 25° до 60°С? ( $K_w = 10^{-13}$  при 60°С. Константы ионизации уксусной кислоты и аммония гидроксида считать не изменяющимися с температурой).

Пример решения. Ацетат аммония ионизирует по уравнению:



Так как данная соль образована слабым основанием и слабой кислотой, то гидролиз идет по катиону и аниону:



Из таблицы следует, что для расчета степени гидролиза таких солей следует воспользоваться формулой:

$$h = \frac{\sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot K_b}}}{1 + \sqrt{\frac{K_w}{K_a \cdot K_b}}}$$

Рассчитаем степень гидролиза при температурах:

$$25^\circ\text{C} \quad h_{25^\circ\text{C}} = \frac{\sqrt{\frac{10^{-14}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 1,76 \cdot 10^{-5}}}}{1 + \sqrt{\frac{10^{-14}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 1,76 \cdot 10^{-5}}}} = 5,74 \cdot 10^{-3};$$

$$60^\circ\text{C} \quad h_{60^\circ\text{C}} = \frac{\sqrt{\frac{10^{-13}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 1,76 \cdot 10^{-5}}}}{1 + \sqrt{\frac{10^{-13}}{1,74 \cdot 10^{-5} \cdot 1,76 \cdot 10^{-5}}}} = 1,82 \cdot 10^{-2}.$$

Следовательно, степень гидролиза возросла в  $\frac{h_{60^\circ\text{C}}}{h_{25^\circ\text{C}}} = \frac{1,82 \cdot 10^{-2}}{5,74 \cdot 10^{-3}} = 3,17$  раза.

Решить самостоятельно следующие задачи.

Задача 4. Вычислить рН 0,01 М раствора аммония хлорида.

Задача 5. При 60°C ионное произведение воды равно  $10^{-13}$ . Считая, что константа ионизации хлорноватистой кислоты не изменяется с температурой, вычислить рН 0,001М раствора  $\text{KOCl}$  при 25° и 60°C и рассчитать, во сколько раз возросла степень гидролиза соли.

Задача 6. Сколько граммов аммония хлорида нужно взять, чтобы получить 100 мл раствора, имеющего величину рН = 5,12?

### Равновесия в буферных растворах

В самом широком смысле буферными называют системы, поддерживающие определенное значение какого-либо параметра при изменении состава. Буферные растворы могут быть кислотно-основными – поддерживают постоянное значение рН при введении кислот или оснований; окислительно-восстановительными – сохраняют постоянным потенциал систем при введении окислителей или восстановителей; известны металобуферные растворы, в ко-

торых поддерживается постоянное значение рМе. Буферный раствор представляет собой сопряженную пару; в частности кислотнo-основнoе – сопряженную кислотнo-основную пару. Например, ацетатный буферный раствор состоит из  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , аммонийный – из  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , фосфатный – из  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .

рН буферных растворов, состоящих из слабой кислоты и ее соли рассчитывают по уравнению:

$$\text{pH} = \text{pK}_a - \lg \frac{C_{\text{кислоты}}}{C_{\text{соли}}}.$$

рН буферных растворов, состоящих из слабого основания и его соли рассчитывают по уравнению:

$$\text{pH} = 14 - \text{pK}_b + \lg \frac{C_{\text{основания}}}{C_{\text{соли}}}.$$

Задача. Вычислить рН ацетатной буферной смеси, содержащей в 1 л раствора по 0,2 моль каждого компонента. Как изменится рН при добавлении к 1 л смеси:

а) 0,01 моль  $\text{HCl}$ ;

б) 0,01 моль  $\text{NaOH}$ .

Пример решения. В состав ацетатной буферной смеси входят  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ .

$\text{CH}_3\text{COOH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$  (слабый электролит: ионизирует обратимо)

$\text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Na}^+$  (сильный электролит: диссоциирует нацело)

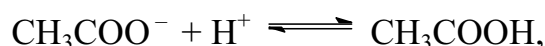
В присутствии одноименных ионов ( $\text{CH}_3\text{COO}^-$ ) ионизация  $\text{CH}_3\text{COOH}$  глубоко подавлена. Поэтому концентрацию неионизированной части кислоты можно принять равной ее начальной концентрации, т.е.

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = C_{\text{кислоты}}.$$

Практически все ацетат-ионы образуются вследствие диссоциации соли, т.е.  $[\text{CH}_3\text{COO}^-] = C_{\text{соли}}$ .

$$\text{pH} = \text{pK}_a - \lg \frac{C_{\text{кислоты}}}{C_{\text{соли}}}; \quad \text{pH} = 4,76 - \lg \frac{0,2}{0,2} = 4,76$$

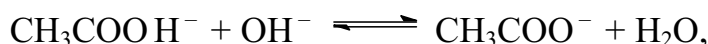
а) если прибавить 0,01 моль  $\text{HCl}$ , то произойдет реакция между  $\text{HCl}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ :



и концентрация уксусной кислоты возрастет и станет равной  $0,2 + 0,01 = 0,21$  моль·л<sup>-1</sup>, а концентрация соли понизится до:  $0,2 - 0,01 = 0,19$  моль·л<sup>-1</sup>.

$$\text{pH} = 4,76 - \lg \frac{0,21}{0,19} = 4,72$$

б) если прибавить 0,01 моль NaOH, то произойдет реакция между NaOH и CH<sub>3</sub>COOH:



и концентрация уксусной кислоты станет равной  $0,2 - 0,01 = 0,19$  моль·л<sup>-1</sup>, а концентрация соли увеличится:  $0,2 + 0,01 = 0,21$  моль·л<sup>-1</sup>.

$$\text{pH} = 4,76 - \lg \frac{0,19}{0,21} = 4,80$$

Отв.т. pH = 4,76; а) pH = 4,72; б) pH = 4,80.

Очевидно, что добавлять сильную кислоту или сильное основание к буферному раствору и надеяться на несущественное изменение pH можно лишь в определенных пределах. Каждый буферный раствор характеризуется сопротивляемостью к изменениям. Количественно ее выражают *буферной емкостью*  $\pi$ . Она определяется числом молей эквивалентов сильной кислоты или основания, которые нужно добавить к 1 л раствора, чтобы изменить pH раствора на единицу:

$$\pi = -\frac{dc_{\text{кисл.}}}{dpH} \quad \text{и} \quad \pi = \frac{dc_{\text{осн.}}}{dpH},$$

где  $dc$  – прирост концентрации сильной кислоты ( $dc_{\text{кисл.}}$ ) или основания ( $dc_{\text{осн.}}$ ), вызвавший изменение  $dpH$  (знак минус указывает на уменьшение pH при добавлении сильной кислоты HA). Бесконечно малый прирост концентрации сильной кислоты ( $dc_{\text{кисл.}}$ ) приводит к образованию такого же количества слабой кислоты  $d[\text{HA}]$ , а бесконечно малый прирост концентрации сильного основания ( $dc_{\text{осн.}}$ ) приводит к появлению такого же количества слабого основания  $d[\text{A}^-]$ , только в первом случае pH немного уменьшается, а во втором увеличивается. Суммарная концентрация компонентов смеси  $c_{\text{буф}}$  не меняется.

Буферную емкость рассчитывают по формулам:

$$\pi = 2,3 \cdot [\text{H}^+] \frac{K_i^1 \cdot C_{\text{буф}}}{(K_i^1 + [\text{H}^+])^2}, \quad \text{или}$$

$$\pi = 2,3 \frac{c_{\text{HA}} c_{\text{A}^-}}{c_{\text{HA}} + c_{\text{A}^-}},$$

где:  $C_{\text{HA}}$  и  $C_{\text{A}^-}$  — концентрации компонентов сопряженной кислотно-основной пары;

$$C_{\text{буф.}} = C_{\text{соли}} + C_{\text{к-ты(осн.)}}$$

$$K_i^1 = K_a \quad (\text{для слабых кислот}),$$

$$K_i^1 = \frac{K_a}{K_b} \quad (\text{для слабых оснований}).$$

Зная буферную емкость, можно найти изменение pH раствора при добавлении сильной кислоты или основания, определить состав буферной смеси и решать другие вопросы.



Задача. Рассчитать буферную емкость аммонийной буферной смеси, содержащей 0,10М NH<sub>3</sub> и 0,20М NH<sub>4</sub>Cl (рН = 8,96). Как изменится рН при добавлении к 1 л буферной смеси 1·10<sup>-2</sup> моль HCl?

Пример решения.

рН = 8,96 соответствует [H<sup>+</sup>] = 1,1·10<sup>-9</sup> моль·л<sup>-1</sup>

Рассчитываем буферную емкость раствора:

$$\pi = 2,3 \cdot 1,1 \cdot 10^{-9} \frac{5,7 \cdot 10^{-10} \cdot 0,30}{(5,7 \cdot 10^{-10} + 1,1 \cdot 10^{-9})^2} = 0,15 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$$

$$\text{или } \pi = 2,3 \cdot \frac{0,10 \cdot 0,20}{0,10 + 0,20} = 0,15 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

При добавлении к 1 л этого раствора 1,0·10<sup>-2</sup> моль HCl:

$$\Delta \text{рН} = -\frac{\Delta c_{\text{HCl}}}{\pi} = \frac{1,0 \cdot 10^{-2}}{0,15} = -6,7 \cdot 10^{-2}.$$

рН раствора после введения HCl стал 8,96 – 6,7·10<sup>-2</sup> = 8,89.

Ответ.  $\pi = 0,15 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ ; рН = 8,89.

Решить самостоятельно следующие задачи.

Задача 1. Вычислить рН ацетатной буферной смеси, содержащей в 1 л раствора 0,2М CH<sub>3</sub>COONa, 0,2М CH<sub>3</sub>COOH. Как изменится рН этого раствора при добавлении 0,01М HCl?

Задача 2. Бензоатная буферная смесь содержит 0,35 моль C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH и 0,35 моль C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COONa в 1 л раствора. Вычислить рН буферного раствора.

Задача 3. К 25 мл 0,1М раствора CH<sub>3</sub>COOH прибавили 25 мл 0,1М раствора CH<sub>3</sub>COONa. Вычислить рН полученного раствора. Как изменится рН этого раствора при добавлении 0,01М NaOH?

Задача 4. Вычислить рН аммиачной буферной смеси, содержащей по 0,5 моль NH<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O и NH<sub>4</sub>Cl в 1 л раствора. Как изменится рН этого раствора при добавлении 0,2М NaOH?

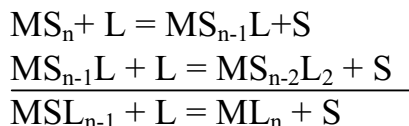
Задача 5. Вычислить рН раствора, содержащего 0,5 моль муравьиной кислоты и 0,5 моль натрия формиата в 1 л.

Задача 6. Каким должно быть соотношение между компонентами в ацетатном буферном растворе, рН которого равно 5,0?

## Равновесия в растворах комплексных соединений

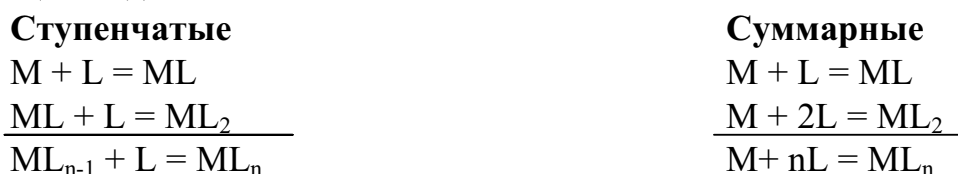
Комплексы – химические соединения состоящие из центральной частицы (комплексообразователь), которая связана с одним или несколькими ионами (молекулами), называемыми лигандами.

При описании равновесий комплексообразования следует помнить, что ионы в растворе всегда сольватированы. Поэтому образование комплексов можно представить как последовательное замещение молекул растворителя (S) на молекулы или ионы лиганда (L):



Необходимым условием возможности таких процессов является более высокая по сравнению с растворителем донорная способность лиганда и стерическая доступность.

Поскольку в разбавленных растворах активность растворителя практически постоянна, а точное число молекул растворителя, сольватирующего ион, не всегда известно, то равновесия комплексообразования обычно представляют в следующем виде:



В соответствии с законом действующих масс ступенчатое образование комплексов можно представить набором соответствующих термодинамических ступенчатых констант устойчивости:

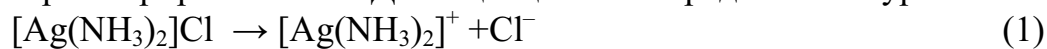
$$\begin{aligned} K_1^0 &= \frac{a_{ML}}{a_M a_L} \\ K_2^0 &= \frac{a_{ML_2}}{a_{ML} a_L} \\ K_n^0 &= \frac{a_{ML_n}}{a_{ML_{n-1}} a_L} \end{aligned}$$

Константы соответствующих суммарных равновесий называют общими (суммарными) константами устойчивости и обозначают символом  $\beta$ :

$$\begin{aligned} \beta_1^0 &= K_1^0 = \frac{a_{ML}}{a_M a_L} \\ \beta_2^0 &= K_1^0 K_2^0 = \frac{a_{ML_2}}{a_M a_L^2} \\ \beta_n^0 &= K_1^0 K_2^0 \dots K_n^0 = \frac{a_{ML_n}}{a_M a_L^n} \end{aligned}$$

Задача. Вычислить равновесные концентрации ионов серебра (I) и молекул аммиака в 0,05 М растворе  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ .

Пример решения. Диссоциация соли представлена уравнениями:



Для второго обратимого процесса запишем выражение константы равновесия (константы нестойкости):

$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Ag}^+] \cdot [\text{NH}_3]^2}{[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+]}$$

$$\lg \beta = 7,23, \text{ следовательно, } \beta = 10^{7,23} = 1,7 \cdot 10^7, \quad K_{\text{нест}} = \frac{1}{\beta} = 5,9 \cdot 10^{-8}.$$

Обозначим  $[\text{Ag}^+] = x$  моль·л<sup>-1</sup>, тогда из уравнения (2)  $[\text{NH}_3] = 2x$  моль·л<sup>-1</sup>, а  $[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+] = C - x$  моль·л<sup>-1</sup>. Подставим эти обозначения в выражение:

$$K_{\text{нест}} = \frac{x \cdot (2x)^2}{C - x} \approx \frac{4x^3}{C}$$

$$x = \sqrt[3]{\frac{K_{\text{нест}} \cdot C}{4}} = \sqrt[3]{\frac{5,9 \cdot 10^{-8} \cdot 0,05}{4}} = 0,9 \cdot 10^{-3};$$

$$[\text{Ag}^+] = x = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1};$$

$$[\text{NH}_3] = 2x = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}.$$

Ответ.  $[\text{Ag}^+] = 0,9 \cdot 10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup>  
 $[\text{NH}_3] = 1,8 \cdot 10^{-3}$  моль·л<sup>-1</sup>

Решить самостоятельно следующие задачи.

Задача 1. Вычислите  $[\text{Cu}^{2+}]$  и  $[\text{NH}_3]$  в 0,1М растворе  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ .

Задача 2. Вычислите  $[\text{Co}^{2+}]$  и  $[\text{NH}_3]$  в 0,1М растворе  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$ .

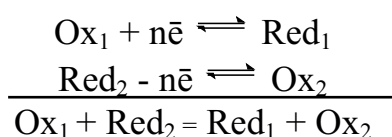
Задача 3. Вычислите  $[\text{Hg}^{2+}]$ ,  $[\text{I}^-]$ ,  $[\text{K}^+]$  в 0,2М растворе  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ .

Задача 4. Вычислите  $[\text{Fe}^{3+}]$ ,  $[\text{CN}^-]$ ,  $[\text{K}^+]$  в 0,05М растворе  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

Задача 5. Вычислите  $[\text{Bi}^{3+}]$ ,  $[\text{I}^-]$ ,  $[\text{K}^+]$  в 0,25М растворе  $\text{K}[\text{BiI}_4]$ .

## Окислительно-восстановительные процессы

Окислительно-восстановительные реакции – реакции, происходящие с участием электронов и приводящие к изменению степени окисления элементов реагирующих систем.



Способность отдавать и принимать электроны у разных веществ различна. Для оценки этой способности может служить константа равновесия реакции, выраженная через активности:

$$K_p = \frac{a_{\text{Ox}2} \cdot a_{\text{Red}1}}{a_{\text{Ox}1} \cdot a_{\text{Red}2}}.$$

Для оценки окислительно-восстановительной способности более удобной оказалась другая термодинамическая величина – потенциал. Это связано с уникальной особенностью данного типа реакций: полуреакции окисления и восстановления можно разделить в пространстве, поскольку при переносе электронов возникает электрический ток. Следовательно, энергию химической реакции можно преобразовать в электрическую. Практически такое преобразование осуществляется в гальваническом элементе. Поэтому можно количественно описывать окислительно-восстановительные реакции не константой равновесия, а электродвижущей силой гальванического элемента – потенциалом.

Зависимость окислительно-восстановительного потенциала от концентрации и температуры рассчитывают по уравнению Нернста:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_{\text{ox}}^A}{a_{\text{red}}^B},$$

где:  $E$  – реальный редокс-потенциал системы, В;  
 $E^0$  — стандартный редокс-потенциал системы\*, В;  
 $T$  – абсолютная температура, К;  
 $n$  – количество электронов, которые участвуют в окислительно-восстановительном процессе;  
 $R$  – универсальная газовая постоянная, равная 8,312 Дж/(моль · К);  
 $F$  – постоянная Фарадея, равная 96 500 Кл;  
 $a_{\text{ox}}^A, a_{\text{red}}^B$  – активности окисленной и восстановленной форм редокс-пары в степенях их стехиометрических коэффициентов соответственно, моль·л<sup>-1</sup>.

Часто постоянные величины объединяют в одну константу, а натуральный логарифм заменяют десятичным. Тогда при 25°C:

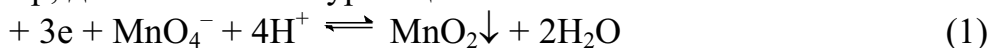
$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{a_{\text{ox}}^A}{a_{\text{red}}^B}.$$

Если реакция окисления-восстановления проходит с участием протонов водорода, то скорость ее увеличивается с увеличением их концентрации, согласно закону действующих масс.

---

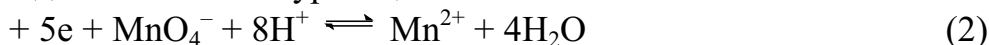
\* Стандартный редокс-потенциал системы – потенциал системы, в которой все участники полуреакции находятся в стандартном состоянии (при активности, равной единице), а растворенные вещества – в стандартном растворе.

В этом случае увеличивается и реальный редокс-потенциал системы. Например, для системы полуреакции:



$$E = E^0 + \frac{0,059}{3} \lg[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^4 \quad (\text{при } 25^\circ\text{C}),$$

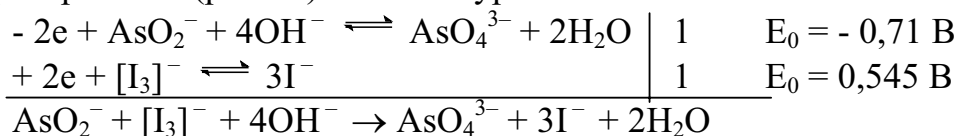
а для системы полуреакции:



$$E = E^0 + \frac{0,059}{5} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]} \quad (\text{при } 25^\circ\text{C})$$

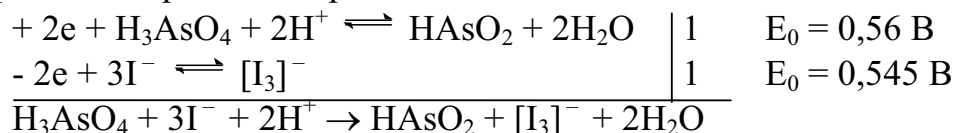
Величина  $E^0$  значительно зависит от концентрации кислоты, и в присутствии концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ее значение увеличивается от + 1,51 В до + 1,9 В (для реакции 2).

Изменение концентрации  $\text{H}^+$  или  $\text{OH}^-$ -ионов влияет не только на изменение величины редокс-потенциала, но иногда и на направление хода реакции. Так, взаимодействие арсенит-ионов с йодом возможно только в среде натрия гидрокарбоната ( $\text{pH} = 9$ ) согласно уравнения:



В кислой среде такое взаимодействие невозможно, так как

$E^0_{\text{H}_3\text{AsO}_4/\text{HAsO}_2} = 0,56 \text{ В}$ , что больше  $E^0_{[\text{I}_3]^-/3\text{I}^-} = 0,545 \text{ В}$  и потому изменяется направление протекания реакции:



На величину редокс-потенциала оказывают влияние кислотно-основные взаимодействия, реакции комплексообразования и образования малорастворимых соединений, т.к. эти процессы влияют на форму существования ионов и как следствие на их концентрацию.

Значительное влияние на скорость окислительно-восстановительных реакций, кроме концентрации реагентов и температуры, оказывает введение катализаторов и ингибиторов. Катализатором может служить постороннее вещество, а также один из продуктов реакции (автокатализ). Например, катализатором реакции восстановления щавелевой кислотой перманганат-ионов до  $\text{Mn}^{2+}$  являются катионы марганца (II), то есть продукт реакции.

Полнота протекания окислительно-восстановительных реакций зависит от следующих факторов:

- ЕДС реакций – разности редокс-потенциалов взаимодействующих систем; обычно количественно протекают реакции, ЭДС которых больше 0,4 В.

- величины константы равновесия редокс-реакции, которую рассчитывают по уравнению:

$$K_p = 10^a, \text{ где } a = \frac{n(E_1^0 - E_2^0)}{0,059} \quad (\text{при } 25^\circ\text{C}), \text{ или } \lg K_p = \frac{n(E_1^0 - E_2^0)}{0,059},$$

где:  $n$  – количество электронов, которые принимают участие в процессе;  
 $E_1^0, E_2^0$  – стандартные редокс-потенциалы системы окислителя и восстановителя соответственно, В.

# **КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ**

## КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА





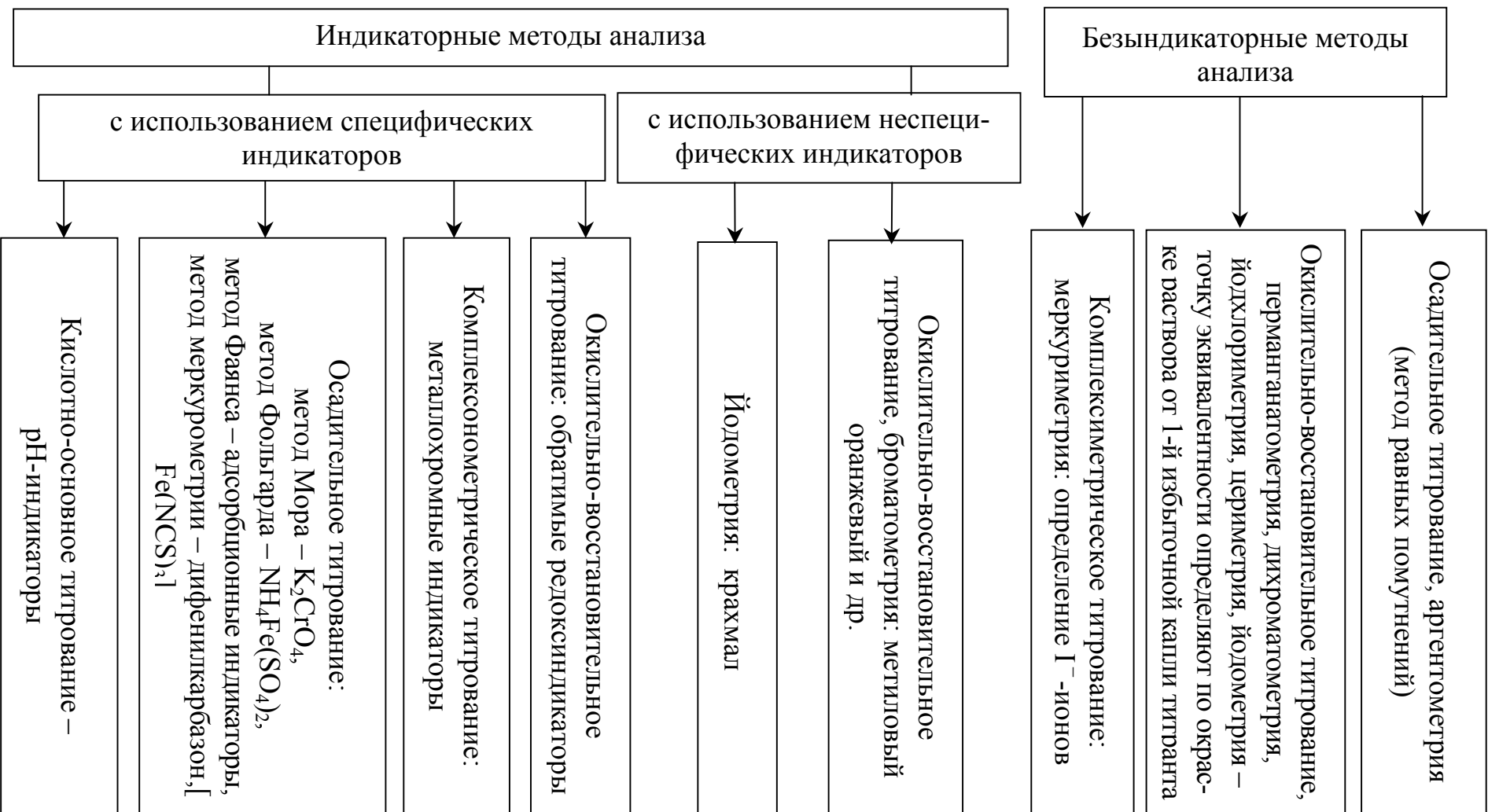
**КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА  
ПО ТИПУ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ, ЛЕЖАЩЕЙ В ОСНОВЕ МЕТОДА**



## КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПО СПОСОБУ ТИТРОВАНИЯ

Прямое титрование	Обратное титрование	Заместительное титрование												
К раствору определяемого вещества непосредственно добавляют раствор титранта	К раствору определяемого вещества добавляют точно отмеренный избыток одного титранта, а не вступивший в реакцию его остаток оттитровывают вторым титрантом	К раствору определяемого вещества добавляют вспомогательный реагент, с которым оно образует в эквивалентном количестве новое соединение – заместитель. Концентрацию последнего определяют прямым титрованием												
<p><i>Пример:</i></p> $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{NaOH} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	<p><i>Пример:</i></p> $\begin{aligned} \text{CH}_3\text{COOH} + \text{NaOH (изб.)} &\rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O} \\ \text{NaOH (ост.)} + \text{HCl} &\rightleftharpoons \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \end{aligned}$	<p><i>Пример:</i></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;"><math>+6e + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}</math></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">1</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black;"><math>-2e + 3\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{I}_3]^-</math></td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">3</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"><math>\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 9\text{I}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 3[\text{I}_3]^-</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"><math>-2e + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons 3\text{I}^-</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"><math>-2e + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{S}_4\text{O}_6^{2-}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border-top: 1px solid black; border-right: 1px solid black;"><math>[\text{I}_3]^- + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 3\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}</math></td> </tr> </table>	$+6e + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1	$-2e + 3\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{I}_3]^-$	3	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 9\text{I}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 3[\text{I}_3]^-$		$-2e + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons 3\text{I}^-$		$-2e + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$		$[\text{I}_3]^- + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 3\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$	
$+6e + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1													
$-2e + 3\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{I}_3]^-$	3													
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 9\text{I}^- \rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O} + 3[\text{I}_3]^-$														
$-2e + [\text{I}_3]^- \rightleftharpoons 3\text{I}^-$														
$-2e + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightleftharpoons \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$														
$[\text{I}_3]^- + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow 3\text{I}^- + \text{S}_4\text{O}_6^{2-}$														

## КЛАССИФИКАЦИЯ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПО СПОСОБУ ФИКСИРОВАНИЯ ТОЧКИ ЭКВИВАЛЕНТНОСТИ



## ГРАВИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД АНАЛИЗА

Гравиметрический метод анализа основан на точном измерении массы определяемой составной части вещества, выделенной в свободном виде или в виде соединения определенного состава		
Методы осаждения	Методы отгонки	
	В методах отгонки определяемый компонент количественно отгоняют в виде летучего соединения	
	Прямые методы отгонки	Косвенные методы отгонки
1	2	3
<p>В методах осаждения определяемый компонент количественно осаждают в виде малорастворимого химического соединения строго определенного состава.</p> <p><i>Например,</i></p> <p>– при определении <math>\text{SO}_4^{2-}</math> их осаждают ионами <math>\text{Ba}^{2+}</math>:</p> $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{BaSO}_4\downarrow$ <p style="text-align: center;">осажденная форма</p> <p>– после прокаливания:</p> $\text{BaSO}_4\downarrow \xrightarrow{\Delta} \text{BaSO}_4$ <p style="text-align: center;">гравиметрическая форма</p>	<p>Метод отгонки называют прямым, если массу отогнанного продукта измеряют непосредственно.</p> <p><i>Например,</i> определение <math>\text{CO}_2</math> после разложения навески кальция карбоната и поглощения <math>\text{CO}_2</math> трубкой с натрия гидроксидом:</p> $\text{CaCO}_3\downarrow + 2\text{H}^+ \xrightarrow{\Delta} \text{CO}_2\uparrow + \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ $\text{CO}_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ <p>Содержание <math>\text{CO}_2</math> вычисляют по увеличению массы поглотительной трубки, наполненной натронной известью (<math>\text{NaOH} + \text{CaO}</math>).</p>	<p>Метод отгонки называют косвенным, если массу отогнанного вещества определяют по разности массы проб до и после отгонки.</p> <p><i>Например,</i> при определении влажности материалов, кристаллизационной воды в кристаллогидратах, потерь при прокаливании:</p> $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\Delta} \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}\uparrow$

1	2	3
<p>В этом случае осажденная и гравиметрическая формы совпадают:          – при определении <math>\text{Ca}^{2+}</math> -ионов их осаждают <math>(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4</math>  <math>\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow</math>          осажденная форма          – после прокаливания:  <math>\text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow + \text{CO}\uparrow</math>          гравиметрическая форма</p> <p>Расчеты результатов определений по методу осаждения:</p> $\omega, \% = \frac{m_{\text{гр.ф.}} \cdot F \cdot 100}{m_{\text{н}}},$ <p>где: <math>\omega</math> – содержание анализируемого вещества, %;  <math>m_{\text{гр. ф.}}</math> – масса гравиметрической формы, г;  <math>F</math> – гравиметрический фактор;  <math>m_{\text{н}}</math> – масса навески анализируемого вещества, г</p>	<p>Расчеты результатов определения по методу прямой отгонки:</p> $\omega, \% = \frac{m_{\text{гр.ф.}} \cdot 100}{m_{\text{н}}},$ <p>где: <math>\omega</math> – содержание анализируемого вещества, %;  <math>m_{\text{н}}</math> – масса навески анализируемого вещества, г;  <math>m_{\text{гр. ф.}}</math> – масса гравиметрической формы, которую определяют по увеличению массы поглотительного прибора, г</p>	<p>Расчеты результатов определения по методу косвенной отгонки:</p> $\omega, \% = \frac{(m_{\text{н}} - m_{\text{гр.ф.}}) \cdot 100}{m_{\text{н}}},$ <p>где: <math>\omega</math> – содержание анализируемого вещества, %;  <math>m_{\text{н}}</math> – масса навески исследуемого вещества, г;  <math>m_{\text{гр. ф.}}</math> – масса высушенного или прокаленного анализируемого вещества после удаления летучих компонентов, г</p>

## КИСЛОТНО-ОСНОВНОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титрант метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества и стандартные растворы	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакции
<p>Растворы кислот HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и др. 0,1М...0,001М (ацидиметрия)</p>	<p>Кислотно-основные индикаторы (например, метиловый оранжевый, фенолфталеин)</p>	<p>Стандартные вещества (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>·10H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Стандартные растворы (NaOH, KOH, Ba(OH)<sub>2</sub>)</p>	<p>Определяют:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• сильные кислоты и основания;</li> <li>• слабые кислоты и основания (<math>K_i \geq 5 \cdot 10^{-7}</math>);</li> <li>• гидролизующиеся соли, образованные слабым основанием, с <math>K_b \leq 5 \cdot 10^{-7}</math> и сильной кислотой или слабой кислотой, с <math>K_a \leq 5 \cdot 10^{-7}</math>, и сильным основанием</li> </ul>	<p>1. Правильный выбор индикатора по продуктам реакции или по кривой титрования. 2. Медленно вблизи точки эквивалентности. 3. t=20-25°C</p>	<p><math>H^+ + OH^- \rightleftharpoons HON</math> Например, прямое титрование: ф.ф. <math>Na_2CO_3 + HCl \rightleftharpoons NaHCO_3 + NaCl</math> м.о. <math>Na_2CO_3 + 2HCl \rightleftharpoons CO_2 \uparrow + 2NaCl + H_2O</math></p>
<p>Растворы щелочей NaOH, KOH и др. 0,1М...0,001М (алкалиметрия)</p>		<p>Стандартные вещества (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>6</sub>). Стандартные растворы (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)</p>			<p>обратное титрование: <math>CH_3COOH + NaOH_{(изб.)} \rightleftharpoons CH_3COONa + H_2O</math> <math>NaOH_{(ост.)} + HCl \rightleftharpoons NaCl + H_2O</math></p>

Таблица 3

## ОСАДИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ

Название метода	Титранты метода	Стандартные вещества	Индикаторы метода	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
1	2	3	4	5	6	7
Аргентометрическое титрование по методу Мора	Раствор $\text{AgNO}_3$ , 0,1М или 0,05М	Стандартные вещества и стандартные растворы $\text{NaCl}$ , $\text{KCl}$	$\text{K}_2\text{CrO}_4$ – 5% раствор	Определяют $\text{Cl}^-$ и $\text{Br}^-$	Титрование проводят: 1) pH 6,3-10,5; 2) отсутствие: $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Hg}_2^{2+}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ (образуют осадки с титрантом или индикатором)	$\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl}\downarrow$ $2\text{Ag}^+ + \text{CrO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{CrO}_4\downarrow$
Аргентометрическое титрование по методу Фольгарда (тиоцианатометрия)	Прямое титрование: раствор $\text{NH}_4\text{NCS}$ ( $\text{KNCS}$ ) или раствор $\text{AgNO}_3$ , концентрация которых 0,05М или 0,1М Обратное титрование: оба вышеуказанных титранта	Стандартные вещества и стандартные растворы $\text{AgNO}_3$ , $\text{KCl}$ и $\text{NaCl}$ , $\text{KNCS}$	Насыщенный раствор железосаммонийных квасцов $\text{NH}_4[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$	Определяют прямым титрованием $\text{Ag}^+$ , $\text{Hg}^{2+}$ и с титрантом раствора $\text{KNCS}$ $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ . Определяют обратным титрованием: $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$	1. Титрование проводят в кислой среде. 2. Отсутствие солей $\text{Hg}(\text{I})$ , которые осаждают $\text{NCS}^-$ -ионы и $\text{F}^-$ -ионов, образующих комплекс с $\text{Fe}^{3+}$ : $\text{Fe}^{3+} + 6\text{F}^- \rightleftharpoons [\text{FeF}_6]^{3-}$ 3. При определении $\text{I}^-$ -ионов – индикатор добавляют в конце титрования, т.к. возможно протекание реакции: $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- \rightleftharpoons 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2\downarrow$	Прямое титрование: $\text{Ag}^+ + \text{NCS}^- \rightleftharpoons \text{AgNCS}\downarrow$ $3\text{NCS}^- + \text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{NCS}_3)]$ Обратное титрование: $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- \rightleftharpoons \text{AgCl}\downarrow$ $\text{Ag}^+ + \text{NCS}^- \rightleftharpoons \text{AgNCS}\downarrow$ $\text{Fe}^{3+} + 3\text{NCS}^- \rightleftharpoons [\text{Fe}(\text{NCS}_3)]$

1	2	3	4	5	6	7
				I <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NCS <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , CN <sup>-</sup> , CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4. При определении Cl <sup>-</sup> - ионов добавляют CCl <sub>4</sub> , CHCl <sub>3</sub> или C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> NO <sub>2</sub> или отфильтровывают AgCl↓, возможна обменная реакция: AgCl↓ + NCS <sup>-</sup> ⇌ AgNCS↓ + Cl <sup>-</sup>	
Аргентометрическое титрование по методу Фаянса-Ходякова	Раствор AgNO <sub>3</sub> , 0,1M или 0,05M	Стандартные вещества и стандартные растворы NaCl, KCl	Адсорбционные индикаторы, например: эозин (pH=2), флуоресцеин (pH=7-10) и др. (см. табл. 12 приложения)	Определяют Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup> , NCS <sup>-</sup>	Титрование проводится при определенном значении pH, зависящем от выбора применяемого индикатора	Ag <sup>+</sup> + I <sup>-</sup> ⇌ AgI↓
Меркурометрический метод	Раствор Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 0,1M	Стандартные вещества и стандартные растворы NaCl, KCl	Железа (III) тиоцианат [Fe(NCS) <sub>3</sub> ], дифенилкарбазон $\begin{array}{c} \diagup \text{NH} - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_5 \\ \text{C} = \text{O} \\ \diagdown \text{N} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	Определяют Cl <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , I <sup>-</sup>	Титрование проводят в кислой среде	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup> + 2Cl <sup>-</sup> ⇌ Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ↓



## МЕРКУРИМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

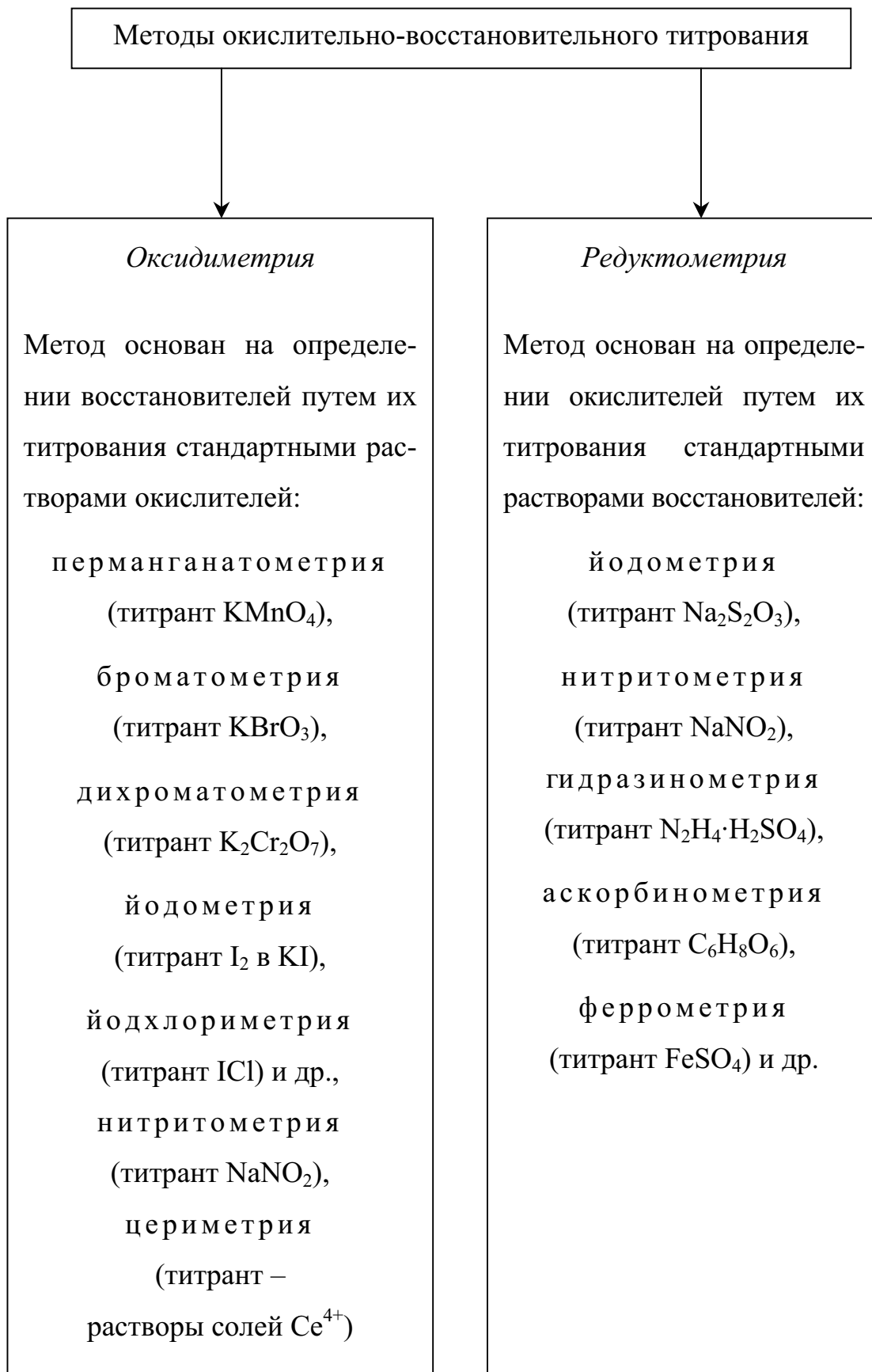
Титрант метода	Стандартные вещества	Индикаторы метода	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакции
Раствор $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ , 0,1М в $\text{HNO}_3$	Стандартные вещества и стандартные растворы $\text{NaCl}$ , $\text{KCl}$	<p>Раствор натрия нитропруссиды (<math>\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]</math>).            Раствор дифенилкарбазида</p> $\begin{array}{c} \text{NH} - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_5 \\ / \quad \backslash \\ \text{C} = \text{O} \\ \backslash \quad / \\ \text{NH} - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>или дефинилкарбазона</p> $\begin{array}{c} \text{NH} - \text{NH} - \text{C}_6\text{H}_5 \\ / \quad \backslash \\ \text{C} = \text{O} \\ \backslash \quad / \\ \text{N} = \text{N} - \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ <p>Безындикаторный – при определении <math>\text{I}^-</math></p>	<p>Определяют <math>\text{Cl}^-</math>, <math>\text{Br}^-</math>, <math>\text{I}^-</math>, <math>\text{CN}^-</math>, <math>\text{NCS}^-</math></p>	<p>Определение проводят в кислой среде (<math>\text{HNO}_3</math>)</p>	$\text{Hg}^{2+} + 2\text{Cl}^- \rightleftharpoons [\text{HgCl}_2]$ $\text{Hg}^{2+} + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons [\text{HgBr}_2]$ $\text{Hg}^{2+} + 2\text{NCS}^- \rightleftharpoons [\text{Hg}(\text{NCS})_2]$ $\text{Hg}^{2+} + [\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}]^{2-} \rightleftharpoons \rightleftharpoons \text{Hg}[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \downarrow$ <p>или окрашенные комплексы <math>\text{Hg}^{2+}</math> с дифенилкарбазидом или дифенилкарбазоном</p> $\text{Hg}^{2+} + 4\text{I}^- \rightleftharpoons [\text{HgI}_4]^{2-}$ $[\text{HgI}_4]^{2-} + \text{Hg}^{2+} \rightleftharpoons 2\text{HgI}_2 \downarrow$

## КОМПЛЕКСОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титрант метода	Стандартные вещества	Индикаторы метода	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
1	2	3	4	5	6
Прямое титрование: раствор трилона Б ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{L}$ ) 0,05М... 0,1М	Стандартные вещества Zn, ZnO, $\text{CaCO}_3$ . Стандартные растворы $\text{ZnSO}_4$ , $\text{MgSO}_4$	Металло-хромные индикаторы: эриохром черный Т, мурексид и др. (см. табл. 13 приложения)	Определяют $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ и др.	Определение проводят при фиксированном значении pH раствора	$\text{H}_2\text{L}^{2-} + \text{Me}^{2+} \rightleftharpoons [\text{MeL}]^{2-} + 2\text{H}^+$ <p>К раствору, содержащему катионы металла, прибавляют аммиачный буферный раствор, индикаторную смесь и титруют стандартным раствором трилона Б до изменения окраски.</p> $\text{H}_2\text{L}^{2-} = \begin{array}{c} \text{N} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}_2\text{COO}^- \\ \diagdown \text{CH}_2\text{COOH} \end{array} \\   \\ \text{CH}_2 \\   \\ \text{CH}_2 \\ \text{N} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}_2\text{COOH} \\ \diagdown \text{CH}_2\text{COO}^- \end{array} \end{array}$

1	2	3	4	5	6
Обратное титрование: 1. Раствор трилона Б 0,05М...0,1М 2. Растворы MgSO <sub>4</sub> или ZnSO <sub>4</sub> 0,05 М...0,1 М			1. Отсутствие подходящего индикатора. 2. Образование осадка катионов в буферном растворе. 3. Медленное протекание комплексообразования. 4. Определение катионов в осадках, нерастворимых в воде (CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub> и др.)	Определение проводят при фиксированном значении рН раствора	$\text{H}_2\text{L}^{2-}_{(\text{изб.})} + \text{Me}^{2+} \rightleftharpoons [\text{MeL}]^{2-} + 2\text{H}^+$ $\text{H}_2\text{L}^{2-}_{(\text{ост.})} + \text{Mg}^{2+} \rightleftharpoons [\text{MgL}]^{2-} + 2\text{H}^+$ <p>К раствору, содержащему катионы металла, прибавляют избыток раствора трилона Б, который оттитровывают раствором соли магния или цинка с металлохромными индикаторами</p>
Заместительное титрование: раствор трилона Б 0,05 М...0,1 М			Определение металлов	—  —	$\text{Me}^{2+} + [\text{MgL}]^{2-} \rightleftharpoons [\text{MeL}]^{2-} + \text{Mg}^{2+}$ $\text{H}_2\text{L}^{2-} + \text{Mg}^{2+} \rightleftharpoons [\text{MgL}]^{2-} + 2\text{H}^+$ <p>В раствор вводят избыток комплекса трилона Б с магнием или цинком. Определяемый катион с трилоном Б образует более прочный комплекс, выделяя эквивалентное количество Mg<sup>2+</sup> или Zn<sup>2+</sup>, которое оттитровывают раствором трилона Б</p>
Кислотно-основное титрование: 1. Раствор трилона Б 0,05 М; 2. Раствор КОН (NaOH) 0,1М		Кислотно-основные индикаторы	Определение металлов		$\text{Me}^{2+} + [\text{H}_2\text{L}]^{2-} \rightleftharpoons [\text{MeL}]^{2-} + 2\text{H}^+$ $2\text{H}^+ + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

## МЕТОДЫ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ТИТРОВАНИЯ



## ПЕРМАНГАНОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
Раствор $\text{KMnO}_4$ 0,1М; 0,05М	1. Безындикаторный: – по появлению не исчезающей в течение 30 секунд розовой окраски при добавлении одной избыточной капли титранта; 2. Индикаторный: – редоксиндикаторы, например ферроин	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , $\text{As}_2\text{O}_3$ , Fe (мет.), $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Стандартные растворы $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ и $\text{NaAsO}_2$	Определяют 1) восстановители: – $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ ; $\text{Fe}^{2+}$ ; $\text{H}_2\text{O}_2$ ; $\text{NO}_2^-$ прямым титрованием; $\text{Ca}^{2+}$ в различных препаратах – обратным или заместительным титрованием. 2) окислители: – $\text{MnO}_2$ ; $\text{PbO}_2$ ; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ обратным титрованием (2-ой стандартный раствор – раствор $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ или $\text{NaAsO}_2$ ); 3) $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Sr}^{2+}$ , $\text{Ba}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ – заместительным титрованием (возможно обратное титрование)	Титрование проводят: а) в сильноокислой среде (среда $\text{H}_2\text{SO}_4$ ); б) при нагревании ( $t = 60\text{-}70^\circ\text{C}$ ) или комнатной температуре; в) титруют медленно, каждую последующую каплю титранта добавляют после обесцвечивания предыдущей	$+ 5e + \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ $E^0 = 1,51 \text{ В};$ Определение $\text{Ca}^{2+}$ методом обратного титрования 1. $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} (\text{изб.}) \rightleftharpoons \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} (\text{ост.})$ 2. $-2e + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} + \rightleftharpoons 2\text{CO}_2 \uparrow \quad   5$ $+5e + \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \quad   2$ $2\text{MnO}_4^- + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} (\text{ост.}) + 16\text{H}^+ \rightarrow$ $\rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O} + 10\text{CO}_2 \uparrow$ Определение $\text{Ca}^{2+}$ методом заместительного титрования 1. $\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow$ 2. $\text{CaC}_2\text{O}_4 \downarrow + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 3. $-2e + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2 \uparrow + 2\text{H}^+ \quad   5$ $+5e + \text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O} \quad   2$ $2\text{MnO}_4^- + 5\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 6\text{H}^+ \rightarrow$ $\rightarrow 2\text{Mn}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O} + 10\text{CO}_2 \uparrow$

## ЙОДОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
1	2	3	4	5	6
1. Раствор I <sub>2</sub> в KI 0,1M – 0,05 M 2. Раствор Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1. Безындикаторный: избыточная капля титранта (I <sub>2</sub> ) окрашивает раствор в светло-желтый цвет или слой хлороформа – в красно-фиолетовый цвет	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> · ·H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , BaS <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и стандартный раствор Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для стандартизации и раствора I <sub>2</sub> в KI	Определяют: 1) слабые окислители (I <sub>2</sub> ) – прямым титрованием раствором Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; 2) восстановители Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – прямым титрованием раствором I <sub>2</sub> в KI; 3) сильные окислители – по способу замещения (KBrO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , активный хлор, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> и др.);	1. На холоде, т.к. йод летуч, при нагревании также понижается чувствительность индикатора – крахмала. 2. Среда титруемого раствора должна быть нейтральной, слабокислой или слабощелочной. а) в сильнощелочной среде происходит побочная реакция диспропорционирования йода $I_2 + 2OH^- \rightleftharpoons IO^- + I^- + H_2O$ б) в сильнокислой среде идут побочные реакции: $4I^- + O_2 + 4H^+ \xrightarrow{h\nu} 2I_2 + 2H_2O$ и $S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow SO_2 \uparrow + S \downarrow + H_2O$	1) $+2e + [I_3]^- \rightleftharpoons 3I^-$   1 $-2e + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-}$   1 <hr/> $[I_3]^- + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-} + 3I^-$ 2) $-2e + AsO_3^{3-} + 2OH^- \rightleftharpoons AsO_4^{3-} + H_2O$ $+2e + [I_3]^- \rightleftharpoons 3I^-$ <hr/> $AsO_3^{3-} + [I_3]^- + 2OH^- \rightleftharpoons AsO_4^{3-} + 3I^- + H_2O$ 3) $+6e + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$   1 $-2e + 3I^- \rightleftharpoons [I_3]^-$   3 <hr/> $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 9I^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O + 3[I_3]^-$  $+2e + [I_3]^- \rightleftharpoons 3I^-$   1 $-2e + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-}$   1 <hr/> $[I_3]^- + 2S_2O_3^{2-} \rightleftharpoons S_4O_6^{2-} + 3I^-$

1	2	3	4	5	6
Раствор Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,1 М – 0,05 М	2. Индикатор – 0,5% раствор крахмала	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , KBrO <sub>3</sub> , KIO <sub>3</sub> K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] и стандартные растворы I <sub>2</sub> в KI, KMnO <sub>4</sub> для стандартизации раствора Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4) сильные кислоты – прямым титрованием, слабые – обратным титрованием; 5) ароматические и гетероциклические соединения (фенолы, дифенолы, ароматические амины); 6) ненасыщенные углеводороды	3. При определении сильных окислителей методом замещения необходимо прибавлять избыток калия йодида для растворения выделившегося йода в результате комплексобразования: I <sub>2</sub> + I <sup>-</sup> ⇌ [I <sub>3</sub> ] <sup>-</sup> ; после прибавления KI реакцию смесь выдерживают 10-15 минут в темном месте	4) $+10e + 2IO_3^- + 12H^+ \rightleftharpoons I_2 + 6H_2O$   1 - $2e + 2I^- \rightleftharpoons I_2$   5 <hr/> $IO_3^- + 6H^+ + 5I^- \rightarrow 3I_2 + 3H_2O$ $3I_2 + 3I^- \rightleftharpoons 3[I_3]^-$ <hr/> $IO_3^- + 6H^+ + 8I^- \rightarrow 3[I_3]^- + 3H_2O$  Выделяется йод в количестве эквивалентном сильной кислоте, который оттитровывают раствором Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

## ЙОДХЛОРИМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
Раствор ICl 0,1 М	1. Раствор крахмала 2. Безиндикаторный: образовавшийся йод окрашивает раствор в светло-желтый цвет или слой хлороформа – в красно-фиолетовый цвет	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] и стандартные растворы KI; Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Определяют: 1) Sn <sup>2+</sup> , NCS <sup>-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , аскорбиновую кислоту, антипирин – прямым титрованием; 2) Hg <sup>2+</sup> , Fe <sup>2+</sup> – обратным титрованием; 3) KI – заместительным титрованием	Титрование проводят в кислой среде (HCl)	Приготовление титранта $\begin{array}{r l} -2\bar{e} + \Gamma + \text{Cl}^- & \rightleftharpoons \text{ICl} & 2 \\ +4\bar{e} + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + \text{Cl}^- & \rightleftharpoons \text{ICl} + 3\text{H}_2\text{O} & 1 \\ \hline 2\Gamma + \text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 3\text{Cl}^- & \rightleftharpoons 3\text{ICl} + 3\text{H}_2\text{O} & \end{array}$ $+2\bar{e} + \text{ICl} \rightleftharpoons \Gamma + \text{Cl}^- \quad E^\circ = +0,795 \text{ В}$ (при E ≤ 0,4 В) $+2\bar{e} + 2\text{ICl} \rightleftharpoons \text{I}_2 + 2\text{Cl}^- \quad E^\circ = +1,06 \text{ В}$ (при E ≤ 0,6 В) $\begin{array}{r l} -2e + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} & \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ & 1 \\ +2e + \text{ICl} & \rightleftharpoons \Gamma + \text{Cl}^- & 1 \\ \hline \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{ICl} & \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \Gamma & \\ \text{ICl} + 2\Gamma & \rightarrow [\text{I}_3]^- + \text{Cl}^- & \end{array}$



## БРОМАТОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
Раствор $\text{KBrO}_3$ 0,1 М	Кислотно-основные индикаторы (метиловый красный, метиловый оранжевый), которые необратимо окисляются избыточной каплей титранта	Стандартное вещество $\text{As}_2\text{O}_3$ . Стандартный раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (стандартизуют титрант йодометрическим методом замещения)	<p>Определяют:</p> <p>а) восстановители <math>\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4</math>, <math>\text{Sb(III)}</math>, <math>\text{Sn}^{2+}</math>, <math>\text{As}_2\text{O}_3</math>, <math>\text{As(III)}</math> путем их прямого окисления;</p> <p>б) фенолы: фенол, резорцин (обратное титрование), тимол, салициловая кислота – путем их бромирования;</p> <p>в) ароматических амины, например, стрептоцид</p>	Кислая среда	<p>а)</p> $\begin{array}{l} +6\bar{e} + \text{BrO}_3^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 E^\circ = 1,45 \text{ В} \\ -2\bar{e} + \text{AsO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}^+ \quad   \quad 3 E^\circ = 0,56 \text{ В} \\ \hline \text{BrO}_3^- + 3\text{AsO}_3^{3-} \rightarrow \text{Br}^- + 3\text{AsO}_4^{3-} \end{array}$ <p>б)</p> $\begin{array}{l} -2\bar{e} + 2\text{Br}^- \rightleftharpoons \text{Br}_2 \quad   \quad 5 E^\circ = 1,087 \text{ В} \\ +10\bar{e} + 2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \quad   \quad 1 E^\circ = 1,52 \text{ В} \\ \hline \text{BrO}_3^- + 5\text{Br}^- + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons 3\text{Br}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \end{array}$ <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">где R = -OH; -NH<sub>2</sub></p> </div>

## НИТРИТОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
Раствор $\text{NaNO}_2$ 0,1M; 0,05M	1. Внешние: йодкрахмаль- ная бумага. 2. Внутренние: дифениламин, тропеолин-00, нейтральный красный и их смеси с мети- леновым си- ним (фон)	п-Аминобен- зойная кис- лота, сульфа- ниловая кис- лота, гидра- зина суль- фат.  Стандартные растворы: $\text{KMnO}_4$ (обратное титрование), гидразина сульфата	Определяют а) окислители: $\text{KMnO}_4$ , $\text{Ce (IV)}$ , активный хлор, $\text{H}_2\text{O}_2$ ; б) восстановите- ли: сульфамино- вую кислоту, гидразина суль- фат, $\text{Sn}^{2+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{As}_2\text{O}_3$ ; в) первичные и вторичные аро- матические ами- ны (стрептоцид, норсульфазол, сульфацил и др.)	1. Кислая среда (2,5 – 3-х кратный избы- ток $\text{HCl}$ ). 2. «На холоду» или при $t^\circ \approx 20$ - $25^\circ\text{C}$ . 3. Титруют мед- ленно, особенно в конце титро- вания. 4. Добавляют в качестве ката- лизатора $\text{KBr}$ в случае диазоти- рования	а) Окисление: $-2e + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NO}_3^- + 3\text{H}^+$ $E^0 = 0,94 \text{ В.}$ б) Восстановление: $+6e + 2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ $E^0 = 1,44 \text{ В.}$ в) Диазотирование: $\text{R}-\text{NH}_2 + \text{NaNO}_2 + 2\text{HCl} \rightleftharpoons$ $\rightleftharpoons [\text{R}-\overset{+}{\text{N}}\equiv\text{N}]\text{Cl}^- + \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$  Нитрозирование: $\text{R}-\text{NH}-\text{R}' + \text{NaNO}_2 + \text{HCl} \longrightarrow$ $\longrightarrow \text{R}-\text{N}(\text{NO})\text{R}' + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

## ХРОМАТОМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций
Раствор $K_2Cr_2O_7$ 0,1 М 0,05 М	1. Редокс-индикаторы: дифениламин, дифениламин осульфокислота, дифенилантраниловая кислота. 2. Безындикаторный (раствор $Cr^{3+}$ – зеленый цвет; $Cr_2O_7^{2-}$ – желтый). 3. Внешний индикатор – йодкрахмальная бумага	Стандартное вещество: $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ . Стандартный раствор $Na_2S_2O_3$ (стандартизуют йодиметрически методом замещения)	Определяют: 1) восстановители $SO_3^{2-}$ , $Fe^{2+}$ , $I^-$ , $Sn^{2+}$ , $AsO_3^{3-}$ , $[Fe(CN)_6]^{4-}$ , метанол, аскорбиновую кислоту – обратным титрованием; 2) малорастворимые хроматы ( $Ba^{2+}$ , $Pb^{2+}$ , $Ag^+$ ); 3) окислители ( $NO_3^-$ ) после предварительного восстановления при действии солей $Fe^{2+}$ , избыток которых оттитровывают стандартным раствором $K_2Cr_2O_7$	Титрование проводят в кислой среде в присутствии $HCl$ , $H_2SO_4$ , $H_3PO_4$	$E^\circ_{Cr_2O_7^{2-}/Cr^{3+}} = +1,33 В$ 1) $-1\bar{e} + Fe^{2+} \rightleftharpoons Fe^{3+}$   6 $+6\bar{e} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$   1 <hr/> $6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightleftharpoons$ $\rightleftharpoons 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$ 2) $Ba^{2+} + CrO_4^{2-} \rightleftharpoons BaCrO_4 \downarrow$ $2BaCrO_4 \downarrow + 4H^+ \rightarrow 2Ba^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 2H_2O$ $Cr_2O_7^{2-}$ оттитровывают $Fe^{2+}$ 3) $3Fe^{2+} + NO_3^- + 4H^+ \rightleftharpoons 3Fe^{3+} + NO \uparrow + 2H_2O$ $6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightarrow 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$

## ЦЕРИМЕТРИЧЕСКОЕ ТИТРОВАНИЕ

Титранты метода	Индикаторы метода	Стандартные вещества	Возможности метода	Условия титрования	Уравнения реакций									
Раствор $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , $(\text{NH}_4)_2\text{Ce}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1 М 0,01М	1. Редокс-индикаторы (например: ферроин, о-фенантролин, дифениламин). 2. Безындикаторный метод – растворы $\text{Ce}^{4+}$ имеют желтую окраску. 3. рН-индикаторы (метиловый оранжевый, метиловый красный) – необратимое окисление	$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ Стандартизацию титранта проводят иодометрическим методом (заместительное титрование)	Определяют: $\text{As}(\text{III})$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Sb}(\text{III})$ , $\text{Sn}^{2+}$ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ $\text{NO}_2^-$ – органические соединения: фенолы, амины, аминокислоты, органические кислоты, углеводы (аскорбиновая кислота)	Титрование проводят в кислой среде ( $\text{HClO}_4$ )	$\text{Ce}^{4+} + \bar{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$ $E^0 \text{ в среде } \text{HClO}_4 = +1,70 \text{ В.}$ Стандартные окислительно-восстановительные потенциалы редокс-пар комплексных солей церия зависят от природы анионов: $E^0_{[\text{Ce}(\text{SO}_4)_3]^{2-}/\text{Ce}^{3+}} = 1,44 \text{ В,}$ $E^0_{[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]^{2-}/\text{Ce}^{3+}} = 1,61 \text{ В,}$ $E^0_{[\text{CeCl}_6]^{2-}/\text{Ce}^{3+}} = 1,28 \text{ В.}$ Например: <table style="border-collapse: collapse; margin-left: 20px;"> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 10px;"><math>-2e + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}^+</math></td> <td style="text-align: center; padding-right: 10px;"> </td> <td style="text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td style="border-right: 1px solid black; padding-right: 10px;"><math>+e + \text{Ce}^{4+} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}</math></td> <td style="text-align: center; padding-right: 10px;"> </td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr style="border-top: 1px solid black;"> <td colspan="2" style="border-right: 1px solid black; padding-right: 10px;"><math>\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{Ce}^{4+} \rightarrow 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{Ce}^{3+} + 2\text{H}^+</math></td> <td></td> </tr> </table>	$-2e + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}^+$		1	$+e + \text{Ce}^{4+} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$		2	$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{Ce}^{4+} \rightarrow 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{Ce}^{3+} + 2\text{H}^+$		
$-2e + \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}^+$		1												
$+e + \text{Ce}^{4+} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+}$		2												
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{Ce}^{4+} \rightarrow 2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{Ce}^{3+} + 2\text{H}^+$														

## Расчетные формулы в титриметрическом анализе

*Способ отдельных навесок*

1. Согласно молярной массе эквивалента:

- массу навески химически чистых веществ  $m_{(н.х.ч.)}$ , которые используют для стандартизации титрантов, рассчитывают по формуле:

$$m_{(н.х.ч.)} = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M}{1000},$$

где:  $V$  – объем титрованного раствора, приблизительно  $20 \text{ см}^3$ .

- массу навески исследуемого вещества ( $m_{(н)}$ ) рассчитывают по формуле:

$$m_{(н)} = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot 100}{1000 \cdot \omega},$$

где:  $V$  – объем титрованного раствора, приблизительно  $20 \text{ см}^3$ ;

$\omega$  – массовая доля определяемого вещества в образце.

- молярность титранта  $C_M$  рассчитывают по формуле:

$$C_M = \frac{m_{(н.х.ч.)} \cdot 1000}{E_M \cdot V},$$

где:  $V$  – объем титрованного раствора, пошедший на титрование навески  $m_{(н.х.ч.)}$ ,  $\text{см}^3$ .

- массовую долю определяемого вещества в анализируемом образце ( $\omega$ ) рассчитывают по формуле:

$$\omega, \% = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot 100}{1000 \cdot m_{(н)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

$$\omega, \% = \frac{(C_{M_1} V_1 - C_{M_2} V_2) \cdot E_M \cdot 100}{1000 \cdot m_{(н)}} \quad (\text{обратное титрование}),$$

где:  $C_{M_1}$  и  $C_{M_2}$  – молярность титранта 1 и 2 соответственно ( $\text{моль/дм}^3$ ),

$V_1$  и  $V_2$  – объемы растворов титранта 1 и 2 соответственно ( $\text{см}^3$ ).

2. По величине титра титранта по определяемому веществу:

- массовую долю определяемого вещества в исследуемом растворе рассчитывают по формулам:

$$\omega, \% = \frac{T_{(Т/о)} \cdot K \cdot V \cdot 100}{m_{(н)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

$$\omega, \% = \frac{T_{(T/o)} \cdot (K_1 V_1 - K_2 V_2) \cdot 100}{m_{(H)}} \quad (\text{обратное титрование}),$$

- где:  $T_{(T/o)}$  – титр титранта по определяемому веществу в прямом и заместительном титровании, г/см<sup>3</sup>;  
 $T_{1(T/o)}$  – титр титранта 1 по определяемому веществом, который непосредственно взаимодействует с определяемым веществом (в обратном титровании), г/см<sup>3</sup>;  
 $K, K_1, K_2$  – поправочные коэффициенты к молярности:

$$K = \frac{C_{M(\text{практ.})}}{C_{M(\text{теор.})}} = \frac{V_{(\text{теор.})}}{V_{(\text{практ.})}}.$$

### Способ пипетирования

1. Согласно молярной массе эквивалента:

- массу навески химически чистых веществ ( $m_{(H.X.Ч)}$ ), которые используют для стандартизации титрантов, рассчитывают по формуле:

$$m_{(H.X.Ч)} = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot V_{(M.K.)}}{1000 \cdot V_{(П)}},$$

- где:  $V$  – объем титрованного раствора, приблизительно 20 см<sup>3</sup>;  
 $V_{(M.K.)}$  – объем мерной колбы, в которой растворена навеска х.ч. вещества, см<sup>3</sup>;  
 $V_{(П)}$  – объем пипетки, которую используют для отмеривания аликвоты раствора, см<sup>3</sup>.

- массу навески определяемого вещества ( $m_{(H)}$ ) рассчитывают по формуле:

$$m_{(H)} = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot V_{(M.K.)} \cdot 100}{1000 \cdot V_{(П)} \cdot \omega},$$

- где:  $V$  – объем титрованного раствора, приблизительно 20 см<sup>3</sup>;  
 $V_{(M.K.)}$  – объем мерной колбы, в которой растворена навеска х.ч. вещества, см<sup>3</sup>;  
 $V_{(П)}$  – объем пипетки, которую используют для отмеривания аликвоты раствора, см<sup>3</sup>.

- молярность титранта ( $C_M$ ) рассчитывают по формуле:

$$C_M = \frac{m_{(H.X.Ч)} \cdot V_{(П)} \cdot 1000}{E_M \cdot V_{(M.K.)} \cdot V},$$

- где:  $V$  – объем титрованного раствора, израсходованный на титрование аликвоты раствора стандартного вещества, см<sup>3</sup>;

$V_{(м.к.)}$  – объем мерной колбы, в которой растворена навеска х.ч. вещества,  $см^3$ ;

$V_{(п)}$  – объем пипетки, которую используют для отмеривания али-квоты раствора,  $см^3$ .

- массовую долю определяемого вещества в исследуемом образце ( $\omega$ ) рассчитывают по формулам:

$$\omega, \% = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot V_{(м.к.)} \cdot 100}{1000 \cdot m_{(н)} \cdot V_{(п)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

где:  $V$  – объем титрованного раствора, израсходованный на титрование,  $см^3$ .

$$\omega, \% = \frac{(C_{M_1} V_1 - C_{M_2} V_2) \cdot E_M \cdot V_{(м.к.)} \cdot 100}{1000 \cdot m_{(н)} \cdot V_{(п)}} \quad (\text{обратное титрование}),$$

где:  $V_1$  – объем добавленного в избытке титрованного раствора 1,  $см^3$ ;  
 $V_2$  – объем титрованного раствора 2, израсходованный на титрование,  $см^3$ .

2. По величине титра титранта по определяемому веществу:

$$\omega, \% = \frac{T_{(T/o)} \cdot K \cdot V \cdot V_{(м.к.)} \cdot 100}{m_{(н)} \cdot V_{(п)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

$$\omega, \% = \frac{T_{(T/o)} \cdot K \cdot V \cdot V_{(м.к.)} \cdot 100}{m_{(н)} \cdot V_{(п)}} \quad (\text{обратное титрование}).$$

При установлении молярности титранта по титрованному раствору известной концентрации расчеты ведут по формуле:

$$C_M = \frac{C_{M(0)} \cdot V_{(0)}}{V},$$

где:  $M_{(0)}$  – молярность раствора, по которому устанавливают концентрацию, моль/ $дм^3$ ;

$V_{(0)}$  — объем раствора, по которому устанавливают концентрацию,  $см^3$ ;

$V$  — объем раствора, молярность которого определяют,  $см^3$ .

При определении массы вещества в граммах в объеме мерной колбы расчеты ведут по формулам:

1. Согласно молярной массе эквивалента:

$$\Gamma/V_{(м.к.)} = \frac{C_M \cdot V \cdot E_M \cdot V_{(м.к.)}}{1000 \cdot V_{(п)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

$$\Gamma / V_{(м.к.)} = \frac{(C_{M_1} V_1 - C_{M_2} V_2) \cdot E_M \cdot V_{(м.к.)}}{1000 \cdot V_{(п)}} \quad (\text{обратное титрование}).$$

2. По величине титра титранта по определяемому веществу:

$$\Gamma/V_{(м.к.)} = \frac{T_{(T/o)} \cdot K \cdot V \cdot V_{(м.к.)}}{V_{(п)}} \quad (\text{прямое и заместительное титрование}),$$

$$\Gamma/V_{(м.к.)} = \frac{T_{(T/o)} \cdot (K_1 V_1 - K_2 V_2) \cdot V_{(м.к.)}}{V_{(п)}} \quad (\text{обратное титрование}).$$



## Примеры решения типовых задач по теме «Статистическая обработка результатов»

### *Основные статистические характеристики*

В теории ошибок доказывается, что при выполнении нормального закона распределения случайных величин (закон Гаусса) среднее арифметическое всех результатов анализа ( $\bar{X}$ ) является лучшей оценкой истинного значения результата анализа  $\mu$ :

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}.$$

Это среднее значение приблизительно равно истинному значению результатов анализа:  $\bar{X} \approx \mu$ .

Рассеяние результатов анализа относительно среднего значения принято характеризовать дисперсией  $S^2$ :

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{f} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{f},$$

где:  $f$  – число степеней свободы,  $f = n-1$ .

Затем вычисляют среднее квадратичное отклонение  $S$ , которое рассматривают как оценку случайной ошибки, характерной для данной выборки:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{f}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{f}}.$$

Стандартное отклонение среднего результата  $S_{\bar{X}}$  рассчитывают по уравнению:

$$S_{\bar{X}} = \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

### *Оценка доверительного интервала результатов анализа*

Результаты анализа характеризуются доверительным интервалом среднего значения  $\Delta\bar{X}$ , которые рассчитывают по формуле:

$$\Delta\bar{X} = t(P, f) \cdot S_{\bar{X}},$$

где:  $t(P, f)$  – критерий Стьюдента (табличное значение), при числе степеней свободы  $f$  и доверительной вероятности  $P=0,95$ , принятой в аналитических расчетах (табл. 1).

Таблица 1

**ЦИФРОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ СТЬЮДЕНТА  $t(P, f)$**

$f = n - 1$	Критерий Стьюдента ( $t$ )		
	$P$		
	<b>0,90</b>	<b>0,95</b>	<b>0,99</b>
1	6,31	12,70	63,70
2	2,92	4,30	9,92
3	2,35	3,18	5,84
4	2,13	2,78	4,60
5	2,01	2,57	4,03
6	1,94	2,45	3,71
7	1,89	2,36	3,50
8	1,89	2,36	3,50

Доверительный интервал ограничивает область, внутри которой при отсутствии систематических погрешностей находится истинное значение результата анализа с заданной доверительной вероятностью  $P$ :

$$(\bar{X} - \Delta\bar{X}) \leq \mu \leq (\bar{X} + \Delta\bar{X}).$$

Относительную ошибку среднего результата  $A$  (%) рассчитывают по формуле:

$$A = \frac{\Delta\bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\% .$$

Таблица 2

**ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНТРОЛЬНОГО КРИТЕРИЯ  $Q(P, n)$**

$n$	$Q$		
	<b><math>P = 90\%</math></b>	<b><math>P = 95\%</math></b>	<b><math>P = 99\%</math></b>
3	0,89	0,94	0,99
4	0,68	0,77	0,89
5	0,56	0,64	0,76
6	0,48	0,56	0,70
7	0,43	0,51	0,64
8	0,40	0,48	0,58
9	0,38	0,46	0,55

**ЧИСЛОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИТЕРИЯ ФИШЕРА F(P, f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>) ПРИ P = 99%**

f <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>										
	1	2	3	4	5	6	8	10	12	16	20
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5981	6056	6106	6169	6208
2	98,49	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,40	99,42	99,44	99,45
3	34,12	30,81	29,46	28,71	28,24	27,91	27,49	27,23	27,05	26,83	26,65
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,80	14,54	14,37	14,15	14,02
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,77	10,27	10,05	9,89	9,68	9,55
6	13,74	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,10	7,87	7,72	7,52	7,39
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,84	6,62	6,47	6,27	6,15
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,03	5,82	5,67	5,48	5,36
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,47	5,26	5,11	4,92	4,80
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,06	4,85	4,71	4,52	4,41
11	9,65	7,20	6,22	5,67	5,32	5,07	4,74	4,54	4,40	4,21	4,10
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,50	4,30	4,16	3,98	3,86
13	9,07	7,70	5,74	5,20	4,86	4,62	4,30	4,10	3,96	3,78	3,67
14	8,86	6,51	5,56	5,03	4,60	4,46	4,14	3,94	3,80	3,62	3,51
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,00	3,80	3,67	3,48	3,36
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	3,89	3,69	3,55	3,37	3,25
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,79	3,59	3,45	3,27	3,16
18	8,28	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,71	3,51	3,37	3,19	3,07
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,63	3,43	3,30	3,12	3,00
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,56	3,37	3,23	3,05	2,94
25	7,77	5,57	4,48	4,18	3,86	3,63	3,32	3,13	2,99	2,81	2,70
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,17	2,93	2,84	2,66	2,55
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	2,99	2,80	2,66	2,49	2,37
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,82	2,63	2,50	2,32	2,20

Для сравнения воспроизводимости двух методов анализа с дисперсиями  $S_1^2$  и  $S_2^2$  ( $S_1^2 > S_2^2$ ) рассчитывают критерий Фишера (F), который характеризует достоверность разницы  $S_1^2$  и  $S_2^2$ :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2}.$$

Рассчитанное значение F сравнивают с табличным значением F (P, f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>), при P = 99 %. Если  $F > F_{\text{табл.}}$ , то разность дисперсий  $S_1^2$  и  $S_2^2$  статистически значима с вероятностью 99%, а если  $S_1^2 < S_2^2$ , то более высокую воспроизводимость имеет второй метод, который в этом плане имеет преимущество.

**Пример 1.** При определении содержания щавелевой кислоты в анализируемой пробе методом нейтрализации получены результаты: 69,87; 69,83; 69,87; 69,80; 69,92; 70,06; 70,05; 70,01; 70,38 (%). При этом истинное значение  $\mu=70,05\%$ .

Рассчитайте содержание щавелевой кислоты и решите вопрос о наличии или отсутствии систематической ошибки.

**Решение.**

1. Располагаем результаты эксперимента в порядке возрастания: 69,80; 69,83; 69,87; 69,87; 69,92; 70,01; 70,05; 70,06; 70,38, n=9.

2. Определяем размах варьирования (R) по уравнению:

$$R=|X_1-X_9|, \text{ где } X_1=69,80; X_9=70,38; \quad R=|69,80-70,38|=0,58.$$

3. Определяем контрольный критерий для идентификации грубых ошибок (Q), исходя из величины размаха варьирования (R):

$$Q_n = \frac{|X_n - X_{n-1}|}{R}; \quad Q_9 = \frac{|X_9 - X_8|}{R} = \frac{|70,06 - 70,38|}{0,58} = 0,55.$$

Выборка признается однородной, если значение  $Q_n$  не превышает табличное значение  $Q(P,n)$ , найденное для доверительной вероятности  $P=95\%$  (табл. 2).

$Q(P,n)=Q(95\%,9)=0,46$ , что меньше  $Q_9=0,55$ , следовательно, результат 70,38 отбрасываем. Для получения выборки уменьшенного объема выполняется новый цикл вычислений с целью проверки ее однородности:

$$n=8, Q_1=0,11; \dots Q_7=0,04; \quad R=|X_1-X_8|=|69,80-70,06|=0,26.$$

$Q(95\%,8)=0,48$ ;  $0,04 < 0,11 < 0,48$ , следовательно, выборка однородна. В этом случае для результатов 69,80; 69,83; 69,87; 69,87; 69,92; 70,01; 70,05; 70,06 проводят вычисление следующих величин:

4.

$$\bar{X} = 69,93$$

$$S^2 = 102,7 \cdot 10^{-4}$$

$$S = 10,13 \cdot 10^{-2} \quad \bar{X} \pm \Delta \bar{X} = 69,93 \pm 0,08$$

$$S_{\bar{x}} = 3,58 \cdot 10^{-2} \quad 69,85 < \bar{X} < 70,01$$

$$\Delta \bar{X} = \pm 0,08$$

$$A, \% = 0,11$$

$\mu=70,05\%$ , среднее арифметическое  $\bar{X} = 69,93\%$  .

5. Для решения вопроса о наличии или отсутствии систематической ошибки вычисляем критерий Стьюдента t:

$$t = \frac{|\mu - \bar{X}| \cdot \sqrt{n}}{S} = \frac{|70,05 - 69,93| \cdot \sqrt{8}}{10,13 \cdot 10^{-2}} = 3,32.$$

Табличное значение  $t_{\text{табл}}(P,f)=2,36$ , при  $f=8$  (табл. 1).

6. Если  $t > t_{\text{табл}}(P,f)$ ,  $3,32 > 2,36$ , то полученные результаты отягощены систематической ошибкой, относительную величину которой ( $\delta$ ) вычисляют по формуле:

$$\delta = \frac{\bar{X} - \mu}{\mu} \cdot 100; \delta = \frac{69,93 - 70,05}{70,05} \cdot 100 = -0,17\%, .$$

Эта ошибка меньше относительной ошибки данного метода.

**Ответ:** содержание щавелевой кислоты 69,93%; систематическая ошибка статистически не значима.

**Пример 2.** При определении щавелевой кислоты перманганатометрически (1) и методом кислотно-основного титрования (2) получены следующие результаты:

1. 99,04; 99,07; 99,23; 99,25; 99,36 (%).

2. 99,18; 99,20; 99,23; 99,24; 99,26 (%).

Оценить воспроизводимость двух методов.

Решение.

1. Исходя из величины размаха варьирования  $R$ , проверяем однородность выборки результатов, полученных двумя методами:

$$R_1 = |99,04 - 99,36| = 0,32;$$

$$R_2 = |99,18 - 99,26| = 0,08.$$

2. Рассчитываем значение контрольного критерия  $Q$  для идентификации грубых ошибок:

$$1) \quad Q_1 = \frac{|99,04 - 99,07|}{0,32} = 0,09; \quad Q_2 = \frac{|99,25 - 99,36|}{0,32} = 0,30;$$

$$2) \quad Q_1 = \frac{|99,18 - 99,20|}{0,08} = 0,25; \quad Q_2 = \frac{|99,26 - 99,24|}{0,08} = 0,25.$$

Выборка признается однородной, если ни одно из значений  $Q$  не превышает  $Q_{\text{табл}}(P, n) = Q(95\%, 5) = 0,64$  (табл. 2).

Выборка (1) и (2) однородны, так как  $0,09 < 0,30 < 0,64$ ;  $0,25 < 0,64$ .

3. Мерой воспроизводимости результатов, представленных в данной выборке, является величина дисперсии  $S^2$ .

$$1) \quad \bar{X}_1 = 99,19; S_1^2 = 178 \cdot 10^{-4}; \quad 2) \quad \bar{X}_2 = 99,22; S_2^2 = 10,25 \cdot 10^{-4}.$$

При сравнении воспроизводимости двух методов анализа с оценками дисперсии  $S_1^2$ ,  $S_2^2$  ( $S_1^2 > S_2^2$ ) вычисляем критерий Фишера  $F$ :

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{178 \cdot 10^{-4}}{10,25 \cdot 10^{-4}} = 17,37$$

и сравниваем с табличным значением  $F_{\text{табл}}(P, f_1, f_2) = 6,39$  при  $P = 95\%$  (табл. 3).

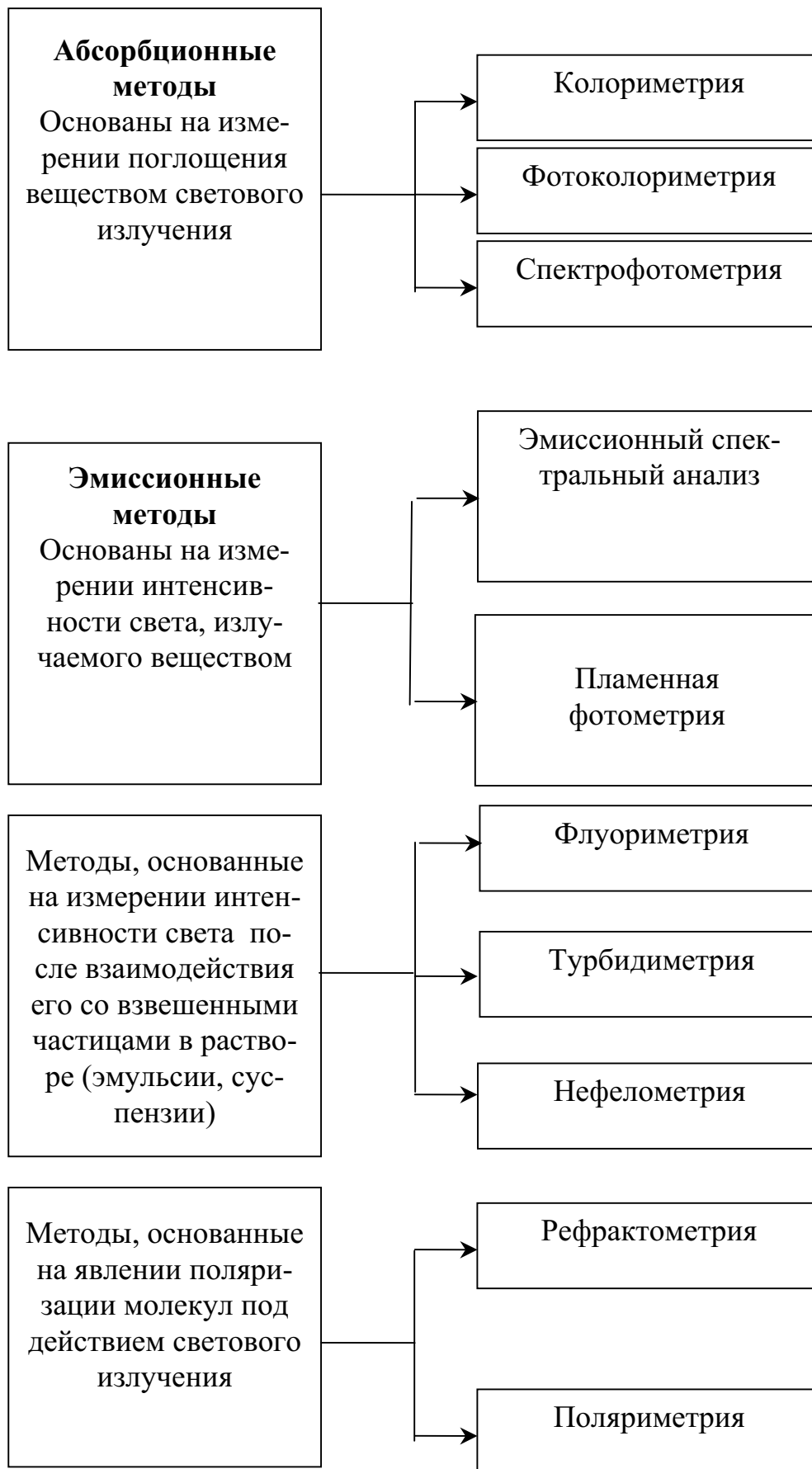
Если  $F > F_{\text{табл}}(P, f_1, f_2)$ , различие дисперсий  $S_1^2$  и  $S_2^2$  признается статистически значимой величиной ( $17,37 > 6,39$ ).

**Ответ:** более воспроизводимы результаты кислотно-основного определения щавелевой кислоты.

# ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

Схема 1

## КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА



## МЕТОДЫ МОЛЕКУЛЯРНО-АБСОРБЦИОННОГО АНАЛИЗА

Анализ основан на измерении поглощения электромагнитного излучения молекулами или ионами в видимой, УФ- или ИК-области спектра



### ПРИМЕНЕНИЕ ИК- И УФ-СПЕКТРОСКОПИИ В АНАЛИЗЕ

ИК- спектроскопия	УФ-спектроскопия
Качественный анализ	
<p>Метод применим для идентификации веществ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- по характерным максимумам в области «отпечатков пальцев» при соответствующих характеристических частотах (<math>600-1500 \text{ см}^{-1}</math>);</li> <li>- путем сравнения спектра анализируемого вещества со спектром вещества-стандарта.</li> </ul> <p>Для определения структуры органических и неорганических соединений по характерному поглощению (максимуму в спектре) для каждой группы атомов (см. табл. 3)</p>	<p>Метод используют для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- установления структуры органических соединений (по характерным для отдельных групп химических связей длин волн максимумов или минимумов поглощения, по интенсивности поглощения);</li> <li>- изучение межмолекулярного взаимодействия, образования комплексов с переносом зарядов (<math>\pi</math>-комплексов);</li> <li>- для идентификации веществ по величине <math>\epsilon</math> в точке максимума для растворов с известной концентрацией и по величине полуширины волны полосы поглощения;</li> <li>- для характеристики энергетических уровней электронов в органических соединениях</li> </ul>
Количественный анализ	
<p>Определения основаны на использовании закона Бугера-Ламберта-Бера, однако это затруднительно, т.к. величина <math>l</math> очень мала (измерения проводят в узкой кювете).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) метод градуировочного графика;</li> <li>2) метод базовой линии.</li> </ol>	<p>В основе определения лежит закон Бугера-Ламберта-Бера. Определение концентрации веществ проводят одним из методов, приведенных в табл. 2.</p> <p>Анализ возможен и для смеси поглощающих веществ.</p>



## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ КОЛОРИМЕТРИИ И ФОТОЭЛЕКТРОКОЛОРИМЕТРИИ

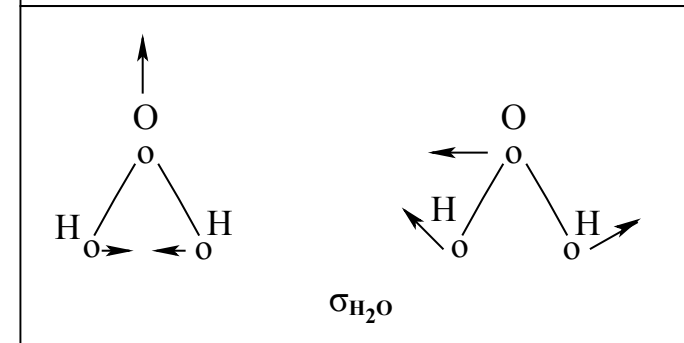
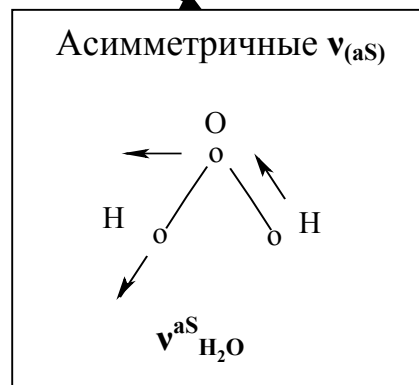
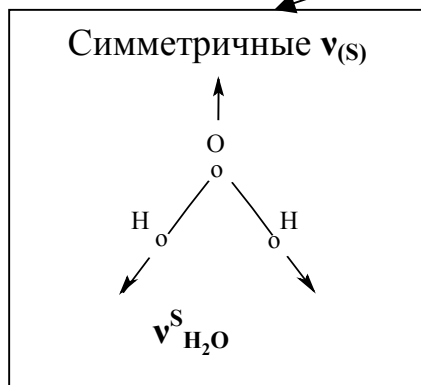
Колориметрия	Фотоэлектроколориметрия
<p>Метод используют для приближенной оценки концентрации окрашенных растворов. Если вещество не имеет окраски, проводят фотометрическую реакцию, которая сопровождается образованием окрашенного соединения. Не требуется соблюдение закона Бугера-Ламберта-Бера.</p> <p>Количественные определения проводят:</p> <p><b>1. Методом уравнивания окраски:</b> изменяя толщину слоя исследуемого и стандартного раствора, добиваются равной интенсивности их окраски. Расчет концентрации исследуемого раствора (<math>C_x</math>) проводят по формуле:</p> $C_x = \frac{C_{ст} \cdot l_{ст}}{l_x},$ <p>где: <math>C_{ст}</math> – концентрация стандартного раствора; <math>l_{ст}</math>, <math>l_x</math> – толщина слоя стандартного и исследуемого растворов соответственно</p> <p><b>2. Методом стандартных серий:</b> готовят серию стандартных растворов с точно известной концентрацией анализируемого вещества и сравнивают интенсивность окрасок с интенсивностью окраски анализируемого раствора. Концентрация анализируемого раствора равна концентрации стандартного раствора с равной интенсивностью окраски.</p> <p><b>3. Колориметрическое титрование:</b> в равных условиях добавляют фотометрический реагент к исследуемому раствору и к воде. Затем из бюретки к воде прибавляют стандартный раствор определяемого вещества. Одновременно в сосуд с анализируемым раствором вводят воду, чтобы объемы жидкостей все время были одинаковыми и добиваются уравнивания окраски двух растворов.</p>	<p>Метод применим для определения концентраций окрашенных растворов путем измерения оптической плотности (<math>A</math>) или пропускания (<math>T</math>) раствора.</p> <p>Соблюдение закона Бугера-Ламберта-Бера обязательно.</p> $A = \lg \frac{I_0}{I}; \quad I = I_0 \cdot 10^{-\epsilon C l}; \quad A = \epsilon \cdot C \cdot l;$ $T = \frac{I}{I_0}; \quad A = \lg \frac{1}{T}; \quad \epsilon^\lambda = \frac{A^\lambda}{C \cdot l}; \quad E_{1\text{см}}^{1\%} = \frac{A^\lambda}{C \cdot l}.$ <p><math>\epsilon</math> – молярный коэффициент светопоглощения, равен оптической плотности (<math>A</math>), раствора с концентрацией <math>C = 1</math> моль/л и толщиной слоя <math>l = 1</math> см.</p> <p><math>E_{1\text{см}}^{1\%}</math> – удельный коэффициент светопоглощения, равен оптической плотности <math>A</math> раствора с концентрацией <math>C = 1\%</math> и толщиной слоя 1 см.</p> $\epsilon = E_{1\text{см}}^{1\%} \cdot \frac{M}{10},$ <p>где <math>M</math> – молекулярная масса вещества.</p> <p>Определение концентрации проводят:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Методом градуировочного графика.</li> <li>2. По среднему значению коэффициент (<math>\epsilon</math>).</li> <li>3. Методом добавок.</li> <li>4. Методом дифференциальной фотометрии.</li> <li>5. Экстракционно-фотометрическим методом.</li> </ol>

## КЛАССИФИКАЦИЯ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ИК-СПЕКТРОВ

**Нормальные колебания**  
 (обладают только те молекулы, у которых происходит изменение их электронного дипольного момента, ядра всех атомов колеблются с одинаковой частотой и фазой )

**Валентные колебания  $\nu$**   
 (при возбуждении молекулы изменяется длина связи без изменения углового расстояния между связями)

**Деформационные колебания  $\sigma$**   
 (при возбуждении молекулы изменяется угол между связями)



## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ В МЕТОДАХ СПЕКТРОСКОПИИ

**Спектр поглощения** – кривая зависимости интенсивности поглощения ( $A$  или  $\epsilon$ ) или пропускания ( $T$ ) от длины волны ( $\lambda$ ) или волнового числа ( $\nu$ ).

**Характеристики спектра:** число максимумов (полос поглощения); их положение на шкале длин волн (или частот); высота максимумов (интенсивность); форма полос поглощения.

**Колебательный спектр (ИК-спектроскопия)** – характерные максимумы в области от  $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ , обусловленные атомными колебаниями в химических связях и переходом с одного колебательного уровня энергии на другой, более высокий; связан с поглощением энергии.

**Характеристические частоты** – характерные длины волн, которые соответствуют строго определенным связям и атомным группировкам и мало меняются при изменении структуры молекулы. (Интервал  $2000\text{--}4000\text{ см}^{-1}$  характерен для валентных колебаний  $C\text{--}H$ ;  $O\text{--}H$ ;  $N\text{--}H$ ; интервал  $1500\text{--}1950\text{ см}^{-1}$  – для валентных колебаний связей  $C=O$ ;  $C=C$ ;  $C=N$ ;  $N=N$ ). Позволяют судить о качественном составе вещества и структуре молекулы.

**Область «отпечатков пальцев» (ИК-спектроскопия)** – набор полос в спектре поглощения в интервале ( $600\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ ), который трудно интерпретируется и содержит характерные максимумы для данного вещества (используется для идентификации).

**Электронный спектр (УФ-спектроскопия)** связан с возбуждением электронной системы вещества. При поглощении кванта света (излучения со строго определенной энергией) электрон переходит в возбужденное состояние вследствие перехода с одного энергетического уровня на другой (со связывающей орбитали на разрыхляющую).

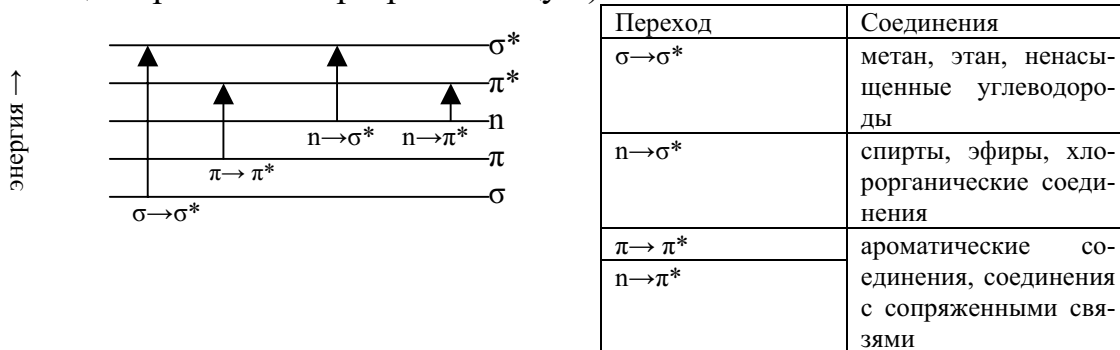


Схема электронных уровней и энергия возможных электронных переходов

**Батохромное смещение** – смещение полосы поглощения в область более длинных волн.

**Гипсохромное смещение** – смещение полосы поглощения в область более коротких длин волн.

**ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ НЕКОТОРЫХ  
СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫХ  
СВЯЗЕЙ В ИК-ОБЛАСТИ**

Волновое число, см <sup>-1</sup>	Тип колебаний и соответствующий структурный элемент	Вещества
1	2	3
3700 ... 3600 (узкая полоса)	Валентное, –O–H (свободная, неассицированная группа)	Спирты, фенолы, кислоты, оксикетоны, эфиры оксикислот
3500 ... 3300 (широкая полоса)	Валентное, –O–H (связанная группа)	
3550 ... 3350	Валентное, –N–H (неассицированная группа)	Первичные (дважды выраженные колебания, 2 полосы) и вторичные амины и амиды
3500 ... 3100	Валентное, –N–H (ассицированная группа)	
3300 ... 3270	Валентное, $\Sigma$ C–H	Монозамещенные производные ацетилена
3350 ... 3150 (широкая полоса)	Валентное, –NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Гидрохлориды аминов и аминокислот
3300 ... 2500 (очень широкая полоса)	Валентное, –O–H (ассицированная группа)	Карбоновые кислоты, хелаты
3100 ... 3000	Валентное, =C–H	Ароматические углеводороды, олефины
3000 ... 2800.	Валентное, –C–H	Парафины, циклопарафины
2962, 2872	Валентное, –CH <sub>3</sub>	Парафины
2926, 2853	Валентное, –CH <sub>2</sub> –	Парафины
2900 ... 2400	Валентное, –O–D, –N–D	Амины, спирты
2820	Валентное, –O–CH <sub>3</sub>	Простые метиловые эфиры
2820 ... 2730	Валентное, N–CH <sub>3</sub>	N-метиламин
2820 ... 2720	Валентное, OC–H	Альдегиды
2600 ... 2550	Валентное, –S–H	Меркаптаны, тиофенолы
2300 ... 2100	Валентное, –C $\Sigma$ X (X=C, N, O)	Ацетилены, нитрилы, оксид углерода
2270 ... 2000	Валентное, –Y=C=X, –N <sub>3</sub> (Y=N, C; X=O, S)	Изоционаты, кетоны
2260 ... 2190	Валентное, –C $\Sigma$ C–	1,2-Дизамещенные производные ацетилена
2260	Валентное, –N <sup>+</sup> $\Sigma$ N	Производные солей диазония
2245 ... 2220	Валентное, –C $\Sigma$ N	Нитрилы
2185 ... 2120	Валентное, –N=C–	Изонитрилы
2140 ... 2100	Валентное, –C $\Sigma$ C–	Монозамещенные ацетилены
1900 ... 1600	Валентное, –C=O	Карбонильные соединения

1	2	3
1850 ... 1740	Валентное, $-C=O$	Галогенангидриды карбоновых кислот
1840 ... 1780 1780 ... 1720	Валентное, $-C=O$	Ангидриды карбоновых кислот (2 полосы)
1780 ... 1750 1760 ... 1700	Валентное, $-C=O$ Валентное, $-C=O$	Фенилкарбоновые кислоты, виниловые эфиры карбоновых кислот
1750 ... 1730	Валентное, $-C=O$	Алкиловые эфиры насыщенных карбоновых кислот
1730 ... 1710	Валентное, $-C=O$	Насыщенные альдегиды и кетоны, эфиры $\zeta, \eta$ -ненасыщенных ароматических карбоновых кислот
1745	Валентное, $-C=O$	Циклопентанон
1715	Валентное, $-C=O$	Циклогексанон
1705	Валентное, $-C=O$	Циклогептанон
1715 ... 1680	Валентное, $-C=O$	$\zeta, \eta$ -Ненасыщенные и ароматические альдегиды
1690 ... 1630	Валентное, $-C=N$	Азотетины, оксираны и др.
1690 ... 1660	Валентное, $-C=O$	$\zeta, \eta$ -Ненасыщенные и ароматические кетоны
1680 ... 1630	Валентное, $-C=O$	Первичные, вторичные и третичные амиды карбоновых кислот (полоса амид I)
1660 ... 1600	Валентное, $-C=C-$	Ароматические соединения, олефины
1650 ... 1620	Деформационное, $-NH_2$	Первичные амиды карбоновых кислот (полоса амид II)
1650 ... 1580	Деформационное, $-N-H$	Первичные и вторичные амины
1630 ... 1615	Деформационное, $H-O-H$	Кристаллизационная вода в гидратах
1610 ... 1590	Углерод-углеродные связи в ароматическом кольце	Ароматические соединения
1570 ... 1510	Деформационное, $-N-H$	Вторичные амиды карбоновых кислот (полоса амид II)
1560	Валентное, $-NO_2$	Алифатические нитросоединения
1518	Валентное, $-NO_2$	Ароматические нитросоединения
1500 ... 1480	Углерод-углеродные связи в ароматическом кольце	Ароматические соединения
1480 ... 1430	Деформационное, $-CH_3$ и $-CH_2-$	Углеводороды, сложные эфиры и др.
1420 ... 1340	Деформационное, $-OH$	Спирты, фенолы, карбоновые кислоты

1	2	3
1390 ... 1370	Деформационное, $-\text{CH}_3$	Углеводороды
1360 ... 1030	Валентное, $-\text{C}-\text{N} \begin{array}{l} / \\ \backslash \end{array}$	Амиды, амины
1350 ... 1240	Валентное, $-\text{NO}_2$	Алифатические и ароматические нитросоединения
1335 ... 1310 1200 ... 1130	Валентное, $-\text{SO}_2$	Органические сульфоны
1290 ... 1050	Валентное, $-\text{C}-\text{O}$	Простые эфиры, спирты, лактоны, кетали, ацетали
1250 ... 1200	Валентное, $-\text{C}-\text{O}-$	Фенолы
1250 ... 1180	Валентное, $-\text{C}-\text{O}-$	Эфиры насыщенных карбоновых кислот
1200 ... 1150	Валентное, $-\text{C}-\text{O}-$	Третичные спирты
1150 ... 1080	Валентное, $-\text{C}-\text{O}-$	Вторичные спирты
1050 ... 1010	Валентное, $-\text{C}-\text{O}-$	Первичные спирты
1070 ... 1030	Валентное, $-\text{S}=\text{O}$	Сульфоксиды
970 ... 960	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,2-Дизамещенные производные этилена (транс-изомеры)
995 ... 985 915 ... 905	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	Монозамещенные производные этилена
900 ... 860 810 ... 750	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,3-Дизамещенные производные бензола
725 ... 680 885 ... 855	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,1-Дизамещенные производные этилена
860 ... 800	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,4-Дизамещенные производные бензола
780 ... 500	Валентное, $-\text{C}-\text{Hal}$	Ароматические и алифатические галогенпроизводные
770 ... 735	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,2-Дизамещенные производные бензола
770 ... 730	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	Монозамещенные производные бензола
710 ... 690 780 ... 720	Деформационное, $-\text{C}-\text{H}$	n-Парафины, которые содержат больше чем четыре группы $-\text{CH}_2-$
705 ... 550	Валентное, $-\text{C}-\text{S}$	Органические серусодержащие соединения (меркаптаны, тиоэфиры и др.)
730 ... 680	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	1,2-Дизамещенные производные этилена (цис-изомеры)
670	Деформационное, $=\text{C}-\text{H}$	Бензол

Таблица 4

### ДЛИНЫ ВОЛН СПЕКТРА И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ОКРАСКИ

Интервалы длин волн поглощаемого света, нм	Цвет поглощаемого излучения	Дополнительный цвет (наблюдаемый цвет раствора)
400-435	Фиолетовый	Желто-зеленый
435-480	Синий	Желтый
480-490	Зеленовато-синий	Оранжевый
490-500	Сине-зеленый	Красный
500-560	Зеленый	Пурпурный
560-580	Желто-зеленый	Фиолетовый
580-595	Желтый	Синий
595-605	Оранжевый	Зеленовато-синий
605-730	Красный	Сине-зеленый
730-760	Пурпурный	Зеленый

Таблица 5

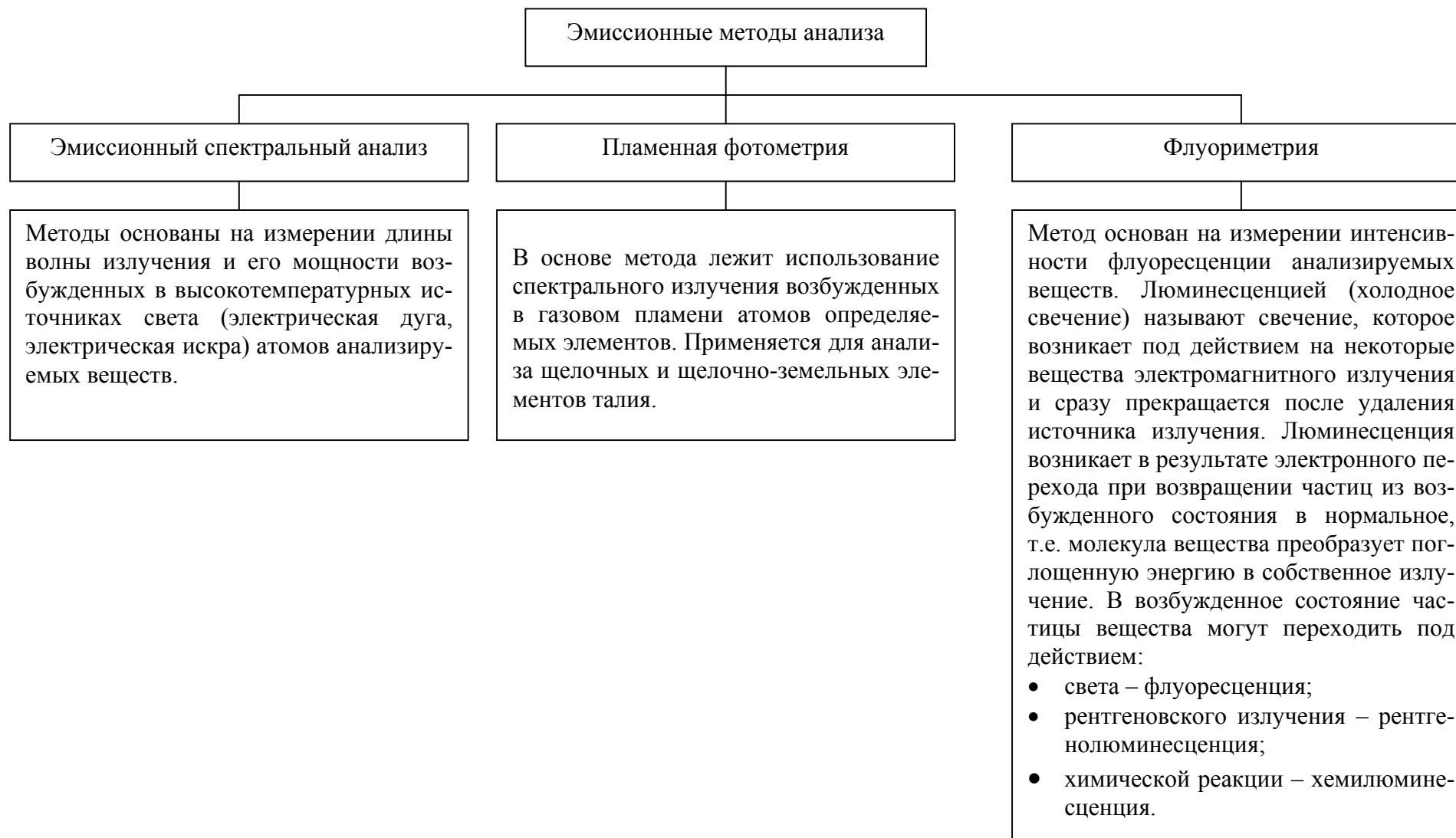
Длина волны $\lambda$			Частота $\nu$ , Гц	Волновое число $\sigma$ , $\text{см}^{-1}$
м	мкм	нм		
$10^{-7}$	0,1	100	$3 \cdot 10^{15}$	$10^5$
$10^{-6}$	1	1000	$3 \cdot 10^{14}$	$10^4$
$10^{-5}$	10	10000	$3 \cdot 10^{13}$	$10^3$

Таблица 5.1

Переход		Что надо сделать
от	к	
$\sigma$ , $\text{см}^{-1}$	$\nu$ , Гц	$\sigma$ умножить на $3 \cdot 10^{10}$
$\lambda$ , мкм	$\nu$ , Гц	$3 \cdot 10^{14}$ разделить на $\lambda$
$\lambda$ , нм	$\nu$ , Гц	$3 \cdot 10^{17}$ разделить на $\lambda$
$\lambda$ , мкм	$\sigma$ , $\text{см}^{-1}$	$10^{14}$ разделить на $\lambda$
$\nu$ , Гц	$\lambda$ , мкм	$3 \cdot 10^{14}$ разделить на $\nu$
$\nu$ , Гц	$\sigma$ , $\text{см}^{-1}$	$\nu$ разделить на $3 \cdot 10^{10}$
$\sigma$ , $\text{см}^{-1}$	$\lambda$ , мкм	$10^4$ разделить на $\nu$

**Примечание:**  $\sigma$  – волновое число;  $\nu$  – частота колебаний;  $\lambda$  – длина волны.

## ЭМИССИОННЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА





## ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Качественный анализ	Количественный анализ
<p>Основой метода является свойство возбужденного химического атома анализируемого элемента излучать линейчатый спектр.</p> <p>Задача качественного анализа – отыскать линии определяемого элемента в спектре пробы.</p> <p>Принадлежность аналитической линии данному элементу устанавливается по длине волны и интенсивности линии.</p> <p>Предел обнаружения <math>10^{-2}</math>–<math>10^{-5}</math>%.</p>	<p>В основе метода – связь между интенсивностью спектральной линии и концентрацией элемента.</p> <p>Обычно используют интенсивность не отдельной линии, а отношение двух спектральных линий, принадлежащих разным элементам. В качестве свойства, связанного с концентрацией элемента, используют отношение интенсивности аналитической линии определяемого компонента к интенсивности аналитической линии другого компонента (внутреннего стандарта) в этом же спектре (линия сравнения).</p> <p>В зависимости от способа оценки интенсивности различают следующие методы количественного эмиссионного спектрального анализа:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• визуальные;</li> <li>• фотографические;</li> <li>• фотоэлектрические.</li> </ul> <p>Предел обнаружения – до 0,1%, до <math>10^{-7}</math>–<math>10^{-9}</math> г.</p>

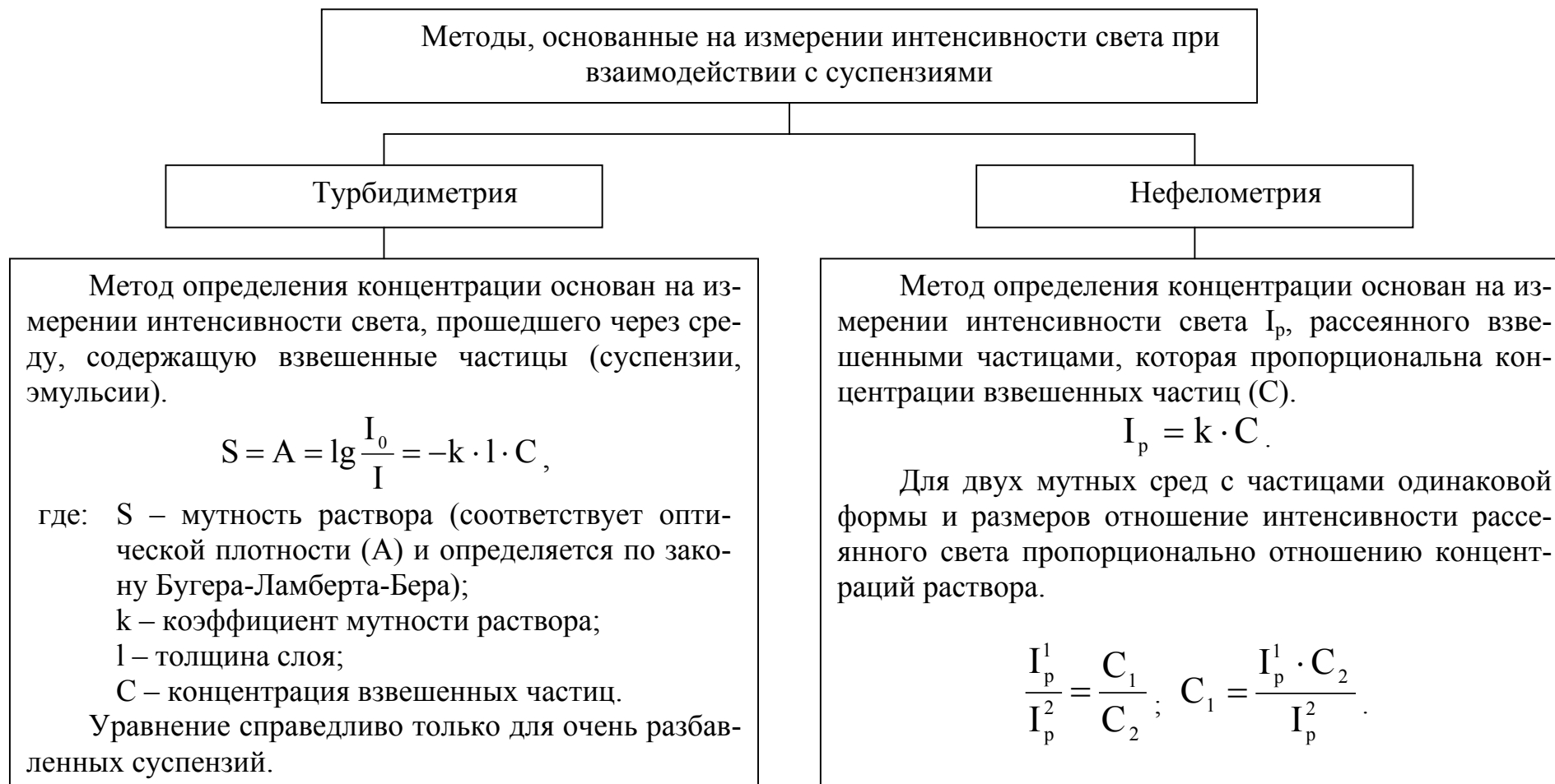
## ЭМИССИОННАЯ ПЛАМЕННАЯ ФОТОМЕТРИЯ

Качественный анализ	Количественный анализ
<p>Основой метода является возбуждение в пламени спектра атомов определяемых элементов.</p> <p>Используют пламя газовой смеси, состоящей из газа-топлива и газа-окислителя (например: ацетилен + кислород).</p> <p>Излучение определяемого атома элемента выделяется с помощью светофильтра или монохроматора.</p> <p>Светофильтр выбирают так, чтобы максимум его пропускания совпадал с длиной волны спектральной линии атомов определяемого элемента.</p> <p>Анализ проводят по спектрам атомов, испускаемым в пламени.</p> <p>Определяют в основном щелочные и щелочноземельные элементы, талий.</p>	<p>Определение элемента основано на функциональной зависимости интенсивности спектральной линии (<math>I</math>) от концентрации элемента в растворе (<math>C</math>).</p> <p>Основное уравнение: <math>\lg I = \lg a + b \cdot \lg C</math>,</p> <p>где: <math>a</math> – коэффициент пропорциональности (зависит от температуры источника возбуждения, его стабильности);</p> <p><math>b</math> – коэффициент самопоглощения, учитывающий поглощение квантов света невозбужденными атомами.</p> <p>Количественные определения проводят:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методом градуировочного графика (линейная зависимость <math>\lg I = f(\lg C)</math>);</li> <li>• методом добавок.</li> </ul> <p>Средний предел обнаружения <math>10^{-3}</math>–<math>10^{-4}\%</math>.</p>

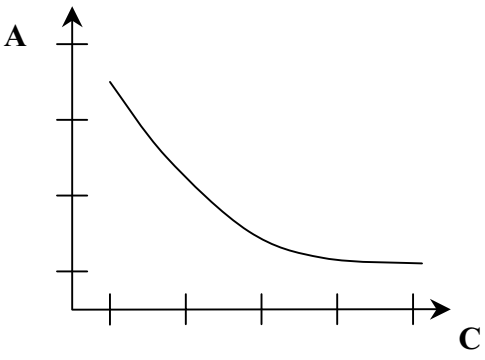
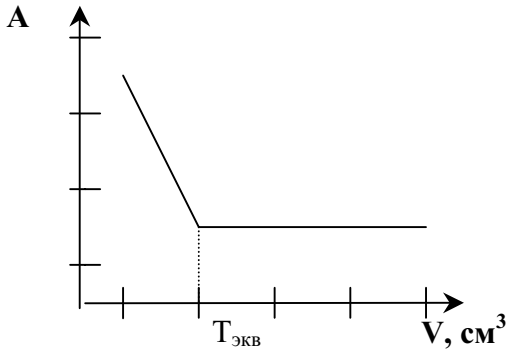
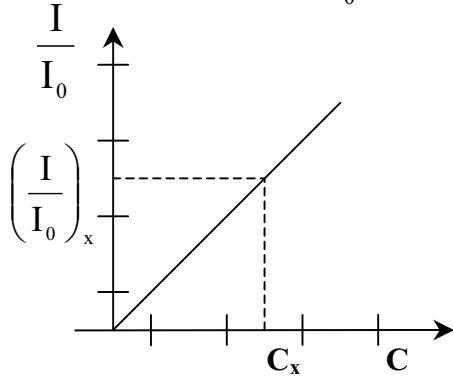
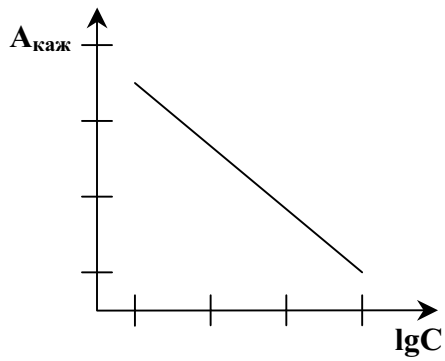
## ФЛУОРИМЕТРИЯ

Качественный анализ	Количественный анализ
<p>Анализ основан на способности анализируемого вещества в соответствующих условиях люминесцировать. Идентификацию органических соединений проводят по спектральным характеристикам флуоресценции или по цвету флуоресцентного излучения.</p> <p>Для неорганических ионов используют реакцию образования комплексных соединений с органическими реагентами, которая приводит к появлению люминесценции.</p> <p>Пример: натрий–цинк–уранилацетат люминесцирует зеленовато-желтым цветом.</p> <p>При анализе смеси люминесцирующих веществ применяют светофильтры для выделения люминесценции определенной длины волны.</p>	<p>Анализ основан на зависимости интенсивности флуоресценции растворов от концентрации флуоресцирующих веществ.</p> <p>Интенсивность флуоресценции для разбавленных растворов в области концентрации <math>10^{-7}</math>–<math>10^{-4}</math> моль/дм<sup>3</sup> определяют по формуле:</p> $F = I_0 \cdot 2,3 \cdot \varepsilon \cdot C \cdot b \cdot \varphi,$ <p>где: F – интенсивность флуоресценции, квант·с<sup>-1</sup>;  <math>I_0</math> – интенсивность возбуждающего света, квант·с<sup>-1</sup>;  C – концентрация раствора, моль·л<sup>-1</sup>;  <math>\varepsilon</math> – молярный коэффициент поглощения;  b – толщина флуоресцирующего слоя;  <math>\varphi</math> – квантовый выход флуоресценции, зависящий от природы вещества.</p> <p>Предел обнаружения <math>10^{-7}</math> моль/дм<sup>3</sup>.</p> <p><b>Экстракционно-люминесцентный количественный анализ</b> используют в анализе веществ, содержащих примеси, мешающие определению.</p> <p>Исследуемое вещество экстрагируют органическим растворителем и определяют описанным выше способом.</p>

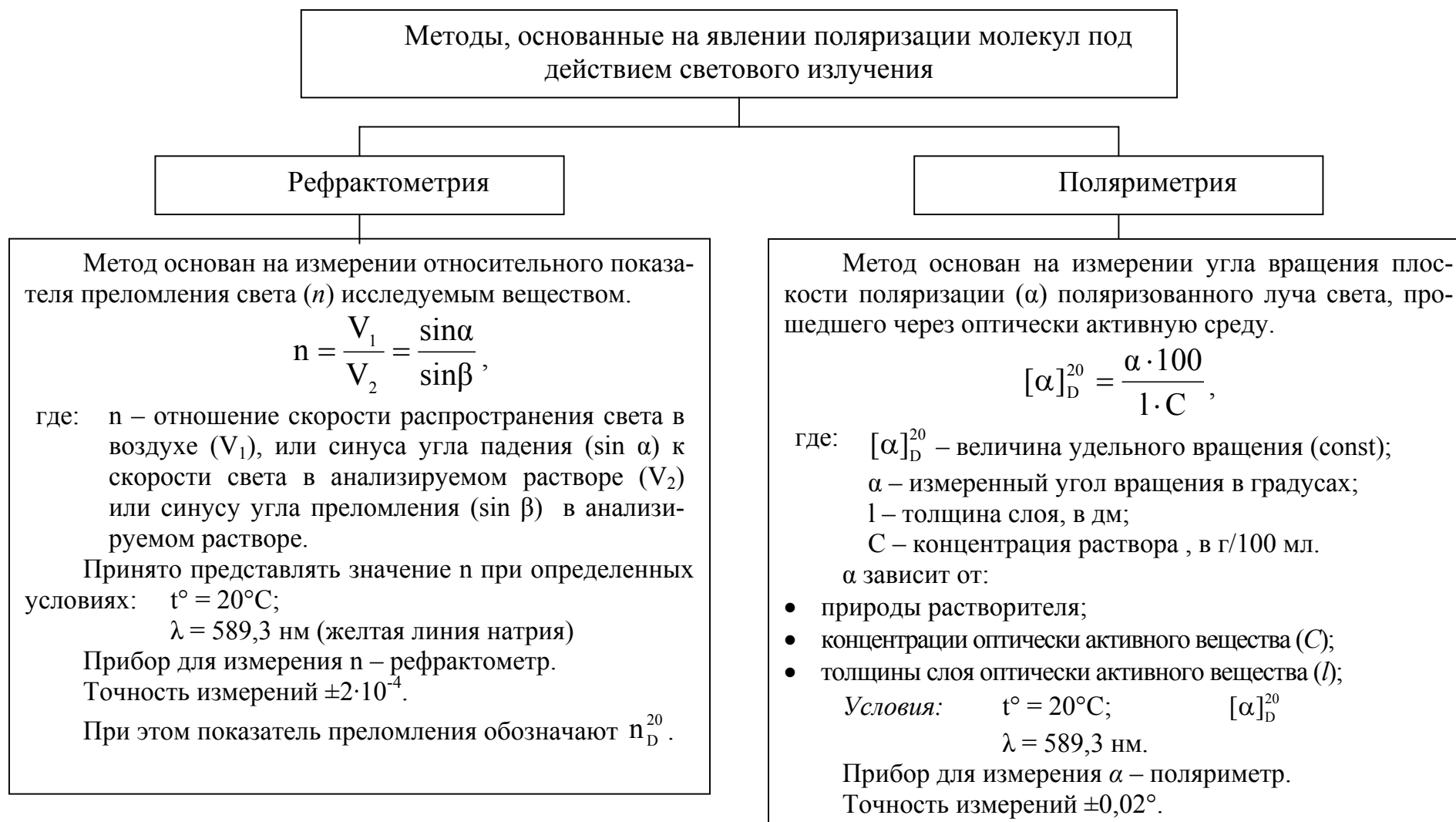
## МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ИЗМЕРЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СО ВЗВЕШЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ В РАСТВОРЕ



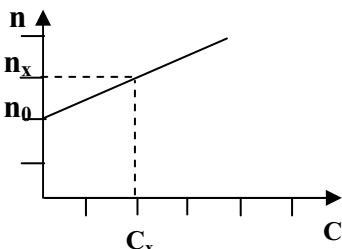
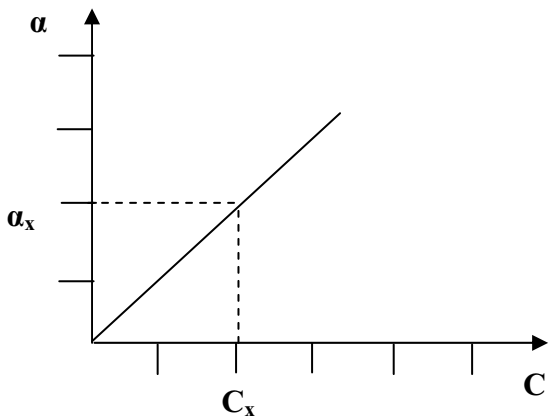
## СПОСОБЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ В МЕТОДАХ ТУРБИДИМЕТРИИ И НЕФЕЛОМЕТРИИ

Турбидиметрия	Нефелометрия
<p><i>1. Метод градуировочного графика</i></p> <p>На основании данных турбидиметрических измерений серии стандартных растворов с известной концентрацией строят график зависимости <math>A = f(C)</math> (зависимость нелинейная).</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p><i>2. Турбидиметрическое титрование</i></p> <p>Метод основан на реакции образования осадков малорастворимых соединений титранта с раствором анализируемого вещества.</p> <p>В точке эквивалентности наблюдается максимум помутнения. Дальнейшее прибавление титранта не изменяет степень мутности.</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p style="text-align: center;"><b>Кривая турбидиметрического титрования</b></p>	<p><i>1. Метод градуировочного графика</i></p> <p>По результатам нефелометрических определений серии стандартных растворов с известной концентрацией строят график:</p> <p>а) зависимости <math>\frac{I}{I_0} = f(C)</math>;</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>С увеличением концентрации увеличивается число рассеивающих частиц, и интенсивность рассеиваемого света возрастает.</p> <p>б) зависимости <math>A_{\text{каж}} = f(\lg C)</math>.</p> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <p>Кажущаяся оптическая плотность <math>A_{\text{каж}}</math> уменьшается с ростом концентрации.</p>

## МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ЯВЛЕНИИ ПОЛЯРИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



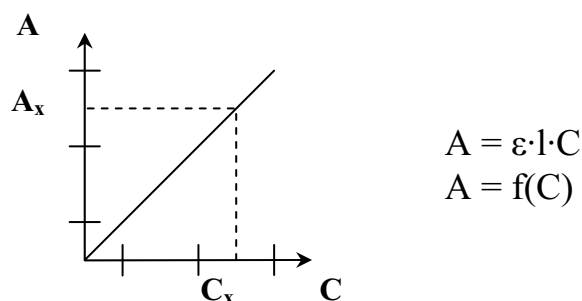
## ВОЗМОЖНОСТИ МЕТОДОВ РЕФРАКТОМЕТРИИ И ПОЛЯРИМЕТРИИ

Рефрактометрия	Поляриметрия
Качественный анализ	Качественный анализ
1. Идентификация веществ по величине $n$ . 2. Определение чистоты соединений, в том числе и лекарственных препаратов.	1. Идентификация оптически активных веществ по величине $[\zeta]_D^{20}$ . Измеряют величину $\alpha$ , по формуле вычисляют $[\zeta]_D^{20}$ , сравнивают с табличным значением.
Количественный анализ	Количественный анализ
Учитывая, что показатель преломления раствора $n$ является величиной аддитивной, определение концентрации анализируемых веществ ( $C_x$ ) проводят по формуле: $C_x \mid \frac{n - n_0}{F}$ где: $n$ – показатель преломления анализируемого вещества; $n_0$ – показатель преломления растворителя; $F$ – рефрактометрический фактор (const) для определенной концентрации, показывает прирост показателя преломления при увеличении концентрации вещества на 1% (табл. 12). 2. Определение концентраций веществ в двух- и многокомпонентных смесях проводят по формуле: $C_2 \mid \frac{n - n_0 - F_1 C_1}{F_2}$ где: $C_1$ – концентрация компонента, определенная независимым методом; $F_1$ – рефрактометрический фактор вещества, концентрация которого определена независимым методом; $F_2$ – рефрактометрический фактор второго определяемого компонента анализируемого вещества. 3. По калибровочному графику:  или по данным табл. 11	1. Определяют концентрацию оптически активных веществ по формуле: $C \mid \frac{\alpha \cdot 100}{[\zeta]_D^{20} \cdot l}$ 2. По калибровочному графику: 

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ В ФОТОМЕТРИИ

### 1. Метод градуировочного графика

(применим только для монохроматического излучения).



### 2. Метод определения по среднему значению молярного коэффициента поглощения

(в области исследуемых концентраций обязательно подчинение закону Бугера-Ламберта-Бера:  $A = \varepsilon \cdot l \cdot C$ ).

$$\varepsilon_{\text{ср}} \mid \frac{A_{\text{ст}}}{l \cdot C_{\text{ст}}}; \quad C_x \mid \frac{A_x}{\varepsilon \cdot l},$$

где:  $A_{\text{ст}}$  – оптическая плотность стандартного раствора;

$C_{\text{ст}}$  – концентрация стандартного раствора;

$\varepsilon_{\text{ср}}$  – среднее значение молярного коэффициента поглощения.

Определяют  $A$  нескольких стандартных растворов  $A_{\text{ст}}$  для каждого раствора, рассчитывают  $\varepsilon$  и находят  $\varepsilon_{\text{ср}}$ , измеряют  $A_x$  и находят  $C_x$  по формуле.

### 3. Метод добавок

(применяют при анализе растворов сложного состава).

$$A_x = \varepsilon \cdot l \cdot C_x,$$

где:  $A_x$  – оптическая плотность анализируемого раствора;

$C_x$  – концентрация анализируемого раствора.

$$A_{x+\text{ст}} = \varepsilon \cdot l \cdot (C_x + C_{\text{ст}}),$$

где:  $A_{x+\text{ст}}$  – оптическая плотность анализируемого раствора с добавкой стандартного раствора;

$C_{\text{ст}}$  – концентрация стандартного раствора.

$$\frac{A_x}{A_{x+\text{ст}}} \mid \frac{C_x}{C_x + C_{\text{ст}}} \quad \text{или} \quad A_x \cdot (C_x + C_{\text{ст}}) = A_{x+\text{ст}} \cdot C_x,$$



$$C_x \mid C_{ст} \left( \frac{A_x}{A_{x2ст} \cdot 4 A_x} \right).$$

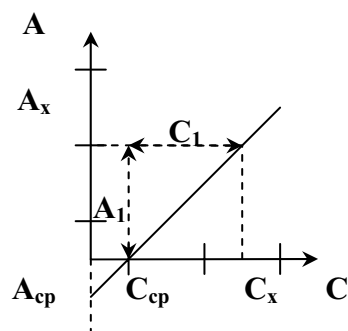
В методе добавок  $C_x$  можно также найти по графику в координатах  $A_{x+ст} = f(C_{ст})$ .

#### 4. Метод дифференциальной фотометрии

(применяют для анализа интенсивно окрашенных растворов).

Варианты расчетов:

I



$$C_x = C_0 + C_1$$

$$A_x = A_0 + A_1$$

**Градуировочный график  
дифференциальной фотометрии**

где:  $A_1$  – прирост поглощения;  
 $C_1$  – прирост концентрации;  
 $C_0$  – концентрация окрашенного раствора с известной концентрацией (раствор сравнения);  
 $A_0$  – оптическая плотность раствора сравнения;  
 $C_x$  – концентрация анализируемого вещества в растворе;  
 $A_x$  – оптическая плотность анализируемого вещества в растворе.

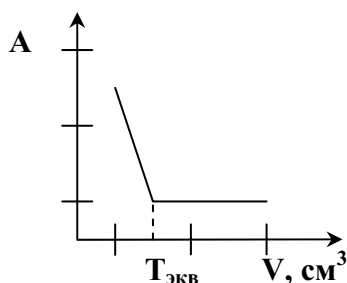
II

$$F \mid \frac{(C_x \cdot 4 C_0)}{A_n}; \quad C_x = C_0 + A_x \cdot F_{сп}.$$

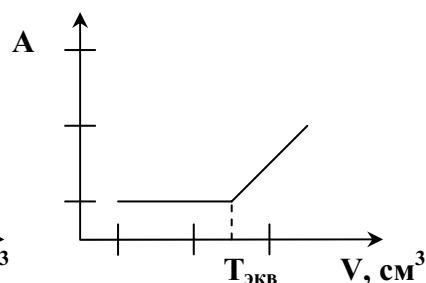
где:  $F$  – аналитический фактор;  
 $C_0$  – содержание вещества в растворе сравнения;  
 $A_n$  – поглощение ряда растворов с известной концентрацией;  
 $A_x$  – поглощение анализируемого раствора.

### 5. Метод фотометрического титрования

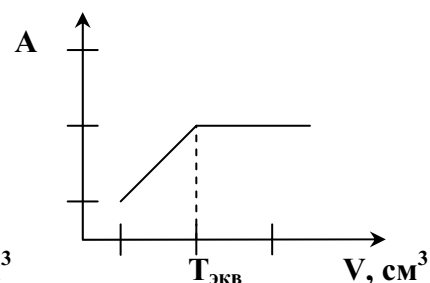
(основан на фотометрическом способе индикации точки эквивалентности, применяют для определения больших количеств анализируемого вещества в пробе).



Кривая фотометрического титрования по величине поглощения анализируемым веществом



Кривая фотометрического титрования по величине поглощения титрантом



Кривая фотометрического титрования по величине поглощения продуктом реакции

### 6. Метод многоволновой спектрофотометрии

(применяют для анализа многокомпонентных смесей)

$$C_1 \mid \frac{A^{\lambda_1} \epsilon_2^{\lambda_2} 4 A^{\lambda_2} \epsilon_2^{\lambda_1}}{\epsilon_1^{\lambda_1} \epsilon_2^{\lambda_2} 4 \epsilon_1^{\lambda_1} \epsilon_2^{\lambda_2}},$$

$$C_2 \mid \frac{A^{\lambda_2} \epsilon_1^{\lambda_1} 4 A^{\lambda_1} \epsilon_1^{\lambda_2}}{\epsilon_1^{\lambda_1} \epsilon_2^{\lambda_2} 4 \epsilon_1^{\lambda_1} \epsilon_2^{\lambda_1}},$$

где:  $\lambda_1$  – первая аналитическая длина волны;

$\lambda_2$  – вторая аналитическая длина волны;

$A^{\lambda_1}$  – оптическая плотность смеси при длине волны  $\lambda_1$ ;

$A^{\lambda_2}$  – оптическая плотность смеси при длине волны  $\lambda_2$ ;

$C_1$  – концентрация компонента 1;

$C_2$  – концентрация компонента 2;

$\epsilon_1^{\lambda_1}; \epsilon_2^{\lambda_2}; \epsilon_1^{\lambda_2}; \epsilon_2^{\lambda_1}$  – молярные коэффициенты поглощения компонентов 1 и 2 при длинах волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  соответственно.

**ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СПИРТО-ВОДНЫХ РАСТВОРОВ,  
КОНЦЕНТРАЦИЯ КОТОРЫХ ВЫРАЖЕНА В ОБ.%**

<b>Концентрация спирта</b>	<b>Показатель преломления при 20°C</b>	<b>Поправка показателя преломления на 1% спирта</b>	<b>Температурный коэффициент</b>
0	1,33300		$1 \cdot 10^{-4}$
1	1,33345	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
2	1,33400	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
3	1,33444	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
4	1,33493	$4,9 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
5	1,33535	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
6	1,33587	$5,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
7	1,33641	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
8	1,33700	$5,9 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
9	1,33760	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
10	1,33808	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
11	1,33870	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
12	1,33924	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
13	1,33977	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
14	1,34043	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
15	1,34096	$5,3 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
16	1,34158	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
17	1,34209	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
18	1,34270	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
19	1,34330	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
20	1,34390	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
21	1,34452	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$
22	1,34512	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
23	1,34573	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$
24	1,34635	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$
25	1,34697	$6,2 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
30	1,35000	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$
35	1,35320	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$
40	1,35500	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
45	1,35700	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-4}$
50	1,35900	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
55	1,36060	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
60	1,36180	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-4}$
65	1,36300	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
70	1,36380	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$
75	1,36450	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$

**ФАКТОРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРЕЛОМЛЕНИЯ (F) ВОДНЫХ РАСТВОРОВ  
ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ С ВЕСО-ОБЪЕМНОЙ  
КОНЦЕНТРАЦИЕЙ**

Концент- рация, %	Факторы показателей преломления для растворов			
	Раствор аммиака	Анальгин	Антипирин	Барбамил
1	Для 1–5% кон- центраций 0,00050	0,00190	0,00225	0,00181
2		0,00190	0,00225	0,00180
3		0,00180	0,00226	0,00180
4		0,00185	0,00226	0,00180
5		0,00192	0,00226	0,00180
6		0,00188	0,00226	0,00179
7		0,00186	0,00226	0,00179
8		0,00187	0,00227	0,00178
9		0,00187	0,00227	0,00178
10		0,00192	0,00227	0,00178
Концент- рация, %	Барбитал- натрия	Гексамети- лен-тетрамин	Глюкоза безводная	Глюкоза, с содержанием влаги 10%
1	Для всех кон- центраций 0,00182	0,00164	Для всех кон- центраций 0,00142	Для всех кон- центраций 0,00129
2		0,00164		
3		0,00165		
4		0,00165		
5		0,00165		
6		0,00165		
7		0,00165		
8		0,00166		
9		0,00166		
10		0,00166		

<b>Концент-рация, ‰</b>	<b>Изониазид</b>	<b>Калия ацетат</b>	<b>Калия бромид</b>	<b>Калия йодид</b>
1	0,00200	0,00130	0,00121	Для всех кон- центраций 0,00130
2	0,00215	0,00125	0,00120	
3	0,00213	0,00123	0,00120	
4	0,00215	0,00120	0,00119	
5	0,00214	0,00116	0,00119	
6	0,00213	0,00113	0,00119	
7	0,00211	0,00110	0,00118	
8	0,00210	0,00111	0,00118	
9	0,00210	0,00110	0,00117	
10	0,00210	0,00110	0,00117	
<b>Концент-рация, %</b>	<b>Калия хлорид</b>	<b>Кальция глюконат</b>	<b>Кальция хлорид·6Н<sub>2</sub>О</b>	<b>Кислота ами-нокапроновая</b>
1	0,00140	0,00164	0,00120	Для всех кон- центраций 0,00185
2	0,00135	0,00163	0,00120	
3	0,00133	0,00162	0,00120	
4	0,00132	0,00161	0,00117	
5	0,00132	0,00160	0,00116	
6	0,00131	0,00159	0,00116	
7	0,00131	0,00158	0,00116	
8	0,00130	0,00157	0,00115	
9	0,00130	0,00156	0,00115	
10	0,00130	0,00155	0,00115	

<b>Концентрация, %</b>	<b>Кислота аскорбиновая</b>	<b>Кислота борная</b>	<b>Кислота никотиновая</b>	<b>Кодеина фосфат</b>
1	0,00160	Для всех концентраций 0,00067	Для всех концентраций 0,00210	Для всех концентраций 0,00180
2	0,00160			
3	0,00160			
4	0,00159			
5	0,00159			
6	0,00158			
7	0,00158			
8	0,00158			
9	0,00157			
10	0,00157			
<b>Концентрация, %</b>	<b>Кофеинбензоат натрия</b>	<b>Магния сульфат·7Н<sub>2</sub>О</b>	<b>Натрия бензоат</b>	<b>Натрия бромид</b>
1	Для всех концентраций 0,00192	Для всех концентраций 0,00090	0,00211	0,00130
2			0,00211	0,00130
3			0,00210	0,00133
4			0,00210	0,00133
5			0,00210	0,00134
6			0,00210	0,00133
7			0,00210	0,00133
8			0,00209	0,00133
9			0,00209	0,00132
10			0,00209	0,00132

<b>Концент-</b> <b>рация, %</b>	<b>Натрия</b> <b>гидрокар-</b> <b>бонат</b>	<b>Натрия йодид</b>	<b>Натрия сали-</b> <b>цилат</b>	<b>Натрия тетра-</b> <b>борат</b>
1	Для всех кон- центраций 0,00125	Для всех кон- центраций 0,00143	0,00206	0,00110
2			0,00206	0,00110
3			0,00206	0,00110
4			0,00206	0,00107
5			0,00206	0,00106
6			0,00205	0,00103
7			0,00205	0,00100
8			0,00205	0,00100
9			0,00205	0,00100
10			0,00205	0,00100
<b>Концент-</b> <b>рация, %</b>	<b>Натрия тио-</b> <b>сульфат</b>	<b>Натрия</b> <b>хлорид</b>	<b>Натрия гид-</b> <b>роцитрат</b>	<b>Натрия цитрат</b>
1	0,00120	0,00170	0,00100	0,00120
2	0,00120	0,00170	0,00150	0,00120
3	0,00130	0,00170	0,00140	0,00120
4	0,00127	0,00170	0,00150	0,00120
5	0,00122	0,00170	0,00140	0,00118
6	0,00117	0,00170	0,00136	0,00120
7	0,00123	0,00170	0,00143	0,00120
8	0,00125	0,00165	0,00137	0,00120
9	0,00122	0,00164	0,00144	0,00118
10	0,00121	0,00165	0,00140	0,00118

<b>Концент- рация, %</b>	<b>Новокаин</b>	<b>Новокаин- амид</b>	<b>Норсульфа- зол -натрия безводный</b>	<b>Пилокарпина гидрохлорид</b>
1	0,00221	Для всех кон- центраций 0,00230	0,00239	0,00160
2	0,00221		0,00238	0,00165
3	0,00221		0,00238	0,00166
4	0,00221		0,00238	0,00167
5	0,00220		0,00237	0,00166
6	0,00220		0,00237	0,00166
7	0,00220		0,00237	0,00166
8	0,00220		0,00236	0,00166
9	0,00220		0,00236	0,00166
10	0,00220		0,00235	0,00166
<b>Концент- рация, %</b>	<b>Резорцин</b>	<b>Сульфацил-натрия</b>	<b>Стрептоцид растворимый</b>	
1	Для 1–5% концентраций 0,00200	0,00198	0,00190	
2		0,00195	0,00190	
3		0,00197	0,00190	
4		0,00197	0,00190	
5		0,00198	0,00188	
6		0,00198	0,00188	
7		0,00198	0,00188	
8		0,00198	0,00188	
9		0,00198	0,00188	
10		0,00197	0,00188	



# **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Таблица 1

**ИОННОЕ ПРОИЗВЕДЕНИЕ ВОДЫ  $K_{H_2O}$   
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

$t^{\circ}C$	$K_{H_2O}$	$\alpha H^+ = \alpha OH^-$	$t^{\circ}C$	$K_{H_2O}$	$\alpha H^+ = \alpha OH^-$
0	$0,13 \cdot 10^{-14}$	$0,36 \cdot 10^{-7}$	28	$1,62 \cdot 10^{-14}$	$1,27 \cdot 10^{-7}$
5	$0,21 \cdot 10^{-14}$	$0,46 \cdot 10^{-7}$	29	$1,76 \cdot 10^{-14}$	$1,33 \cdot 10^{-7}$
10	$0,36 \cdot 10^{-14}$	$0,59 \cdot 10^{-7}$	30	$1,89 \cdot 10^{-14}$	$1,37 \cdot 10^{-7}$
15	$0,58 \cdot 10^{-14}$	$0,76 \cdot 10^{-7}$	35	$0,27 \cdot 10^{-13}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$
16	$0,63 \cdot 10^{-14}$	$0,79 \cdot 10^{-7}$	40	$0,38 \cdot 10^{-13}$	$1,95 \cdot 10^{-7}$
17	$0,68 \cdot 10^{-14}$	$0,82 \cdot 10^{-7}$	50	$0,56 \cdot 10^{-13}$	$2,4 \cdot 10^{-7}$
18	$0,74 \cdot 10^{-14}$	$0,86 \cdot 10^{-7}$	60	$1,26 \cdot 10^{-13}$	$3,55 \cdot 10^{-7}$
19	$0,79 \cdot 10^{-14}$	$0,89 \cdot 10^{-7}$	70	$2,10 \cdot 10^{-13}$	$0,49 \cdot 10^{-6}$
20	$0,86 \cdot 10^{-14}$	$0,93 \cdot 10^{-7}$	80	$3,40 \cdot 10^{-13}$	$0,58 \cdot 10^{-6}$
21	$0,93 \cdot 10^{-14}$	$0,96 \cdot 10^{-7}$	90	$0,52 \cdot 10^{-12}$	$0,72 \cdot 10^{-6}$
22	$1,00 \cdot 10^{-14}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	100	$0,74 \cdot 10^{-12}$	$0,86 \cdot 10^{-6}$
23	$1,10 \cdot 10^{-14}$	$1,05 \cdot 10^{-7}$	120	$1,25 \cdot 10^{-12}$	$1,12 \cdot 10^{-6}$
24	$1,19 \cdot 10^{-14}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$	140	$1,80 \cdot 10^{-12}$	$1,34 \cdot 10^{-6}$
25	$1,27 \cdot 10^{-14}$	$1,13 \cdot 10^{-7}$	160	$2,50 \cdot 10^{-12}$	$1,58 \cdot 10^{-6}$
26	$1,38 \cdot 10^{-14}$	$1,17 \cdot 10^{-7}$	180	$3,20 \cdot 10^{-12}$	$1,80 \cdot 10^{-6}$
27	$1,50 \cdot 10^{-14}$	$1,23 \cdot 10^{-7}$	200	$0,40 \cdot 10^{-11}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2

**ПЛОТНОСТЬ И КОНЦЕНТРАЦИЯ НЕКОТОРЫХ РАСТВОРОВ  
КИСЛОТ И ЩЕЛОЧЕЙ ( $t=20^{\circ}C$ )**

**Кислоты:**

**Азотная**

Плотность, $кг/м^3$	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, $кг/м^3$	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
1,000	0,333	0,052	1,280	45,27	9,195
1,020	3,982	0,645	1,300	48,42	9,990
1,040	7,530	1,243	1,320	51,71	10,83
1,060	10,97	1,845	1,340	55,13	11,72
1,080	14,31	2,453	1,360	58,78	12,68
1,100	17,58	3,068	1,380	62,70	13,73
1,130	22,38	4,012	1,400	66,97	14,88
1,150	25,48	4,649	1,420	71,63	16,14
1,170	28,51	5,293	1,440	76,71	17,53
1,190	31,47	5,943	1,460	82,39	19,09
1,200	32,94	6,273	1,480	89,07	20,92
1,210	34,41	6,607	1,500	96,73	23,02
1,220	35,93	6,956	1,510	99,26	23,79
1,240	39,02	7,679	1,513	100,00	24,01
1,260	42,14	8,426			

## Серная

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
1,000	0,261	0,027	1,340	44,17	6,035
1,020	3,242	0,337	1,360	46,33	6,424
1,040	6,237	0,661	1,380	48,45	6,817
1,060	9,129	0,987	1,400	50,50	7,208
1,080	11,96	1,317	1,420	52,51	7,603
1,100	14,73	1,652	1,440	54,49	8,000
1,120	17,43	1,990	1,460	56,41	8,397
1,140	20,08	2,334	1,480	58,31	8,799
1,160	22,67	2,681	1,500	60,17	9,202
1,180	25,21	3,033	1,520	62,00	9,608
1,200	27,72	3,391	1,580	67,35	10,85
1,220	30,18	3,754	1,640	72,52	12,13
1,240	32,61	4,123	1,700	77,63	13,46
1,260	35,01	4,498	1,750	82,09	14,65
1,280	37,36	4,876	1,800	87,69	16,09
1,300	39,68	5,259	1,820	91,11	16,91
1,320	41,95	5,646	1,835	95,72	17,91

## Фосфорная

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
1,000	0,296	0,030	1,340	50,66	6,928
1,020	4,000	0,416	1,380	55,28	7,84
1,040	7,643	0,811	1,420	59,74	8,658
1,060	11,19	1,210	1,460	64,03	9,541
1,080	14,60	1,609	1,500	68,10	10,42
1,100	17,87	2,005	1,540	72,00	11,32
1,120	21,03	2,403	1,580	75,76	12,22
1,140	24,07	2,800	1,620	79,40	13,12
1,160	27,05	3,203	1,660	82,96	14,06
1,180	29,94	3,606	1,700	86,38	14,98
1,200	32,75	4,010	1,740	89,72	15,93
1,220	35,50	4,420	1,780	92,97	16,89
1,240	38,17	4,829	1,820	96,15	17,85
1,260	40,79	5,245	1,840	97,71	18,34
1,280	43,37	5,655	1,860	99,24	18,84
1,300	45,88	6,087	1,870	100,00	19,08

**Хлористоводородная**

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
1,000	0,360	0,099	1,110	22,33	6,796
1,010	2,364	0,655	1,120	24,25	7,449
1,020	4,388	1,227	1,130	26,20	8,118
1,030	6,433	1,817	1,140	28,18	8,809
1,040	8,490	2,421	1,150	30,14	9,505
1,050	10,52	3,029	1,160	32,14	10,225
1,060	12,51	3,638	1,170	34,18	10,97
1,070	14,50	4,253	1,180	36,23	11,73
1,080	16,47	4,878	1,190	38,32	12,50
1,090	18,43	5,510	1,198	40,00	13,14
1,100	20,39	6,150			

**Хлорная**

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
1,005	0,00	0,100	1,300	40,10	5,189
1,020	3,61	0,366	1,350	44,81	6,021
1,060	10,06	1,061	1,400	49,23	6,860
1,100	16,00	1,752	1,450	53,27	7,689
1,140	21,64	2,456	1,500	57,06	8,519
1,180	26,82	3,150	1,550	60,78	9,377
1,220	31,61	3,839	1,600	64,50	10,27
1,260	36,03	4,519	1,675	70,15	11,70

**Щелочи:****Раствор аммиака**

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Массовая доля, %	Молярность, моль/л
0,880	34,35	17,75	0,940	14,88	8,21
0,884	32,84	17,05	0,958	9,87	5,55
0,888	31,37	16,36	0,960	9,34	5,23
0,892	30,00	15,71	0,980	4,27	2,46
0,896	28,67	15,08	0,990	1,89	1,10
0,900	27,33	14,44	0,994	0,98	0,57
0,908	24,68	13,16	0,998	0,05	0,03
0,920	20,88	11,28			

**Гидроксид калия (Едкое кали)**

<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>	<b>Массовая доля, %</b>	<b>Молярность, моль/л</b>	<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>	<b>Массовая доля, %</b>	<b>Молярность, моль/л</b>
1,000	0,20	0,035	1,330	33,97	8,05
1,005	0,74	0,133	1,400	40,37	10,07
1,050	5,66	1,06	1,450	44,79	11,58
1,080	8,89	1,71	1,500	49,10	13,13
1,095	10,49	2,05	1,510	49,95	13,45
1,110	12,08	2,39	1,520	50,80	13,76
1,200	21,38	4,57	1,530	51,64	14,08
1,290	30,21	6,95	1,535	52,05	14,24

**Гидроксид натрия (Едкий натр)**

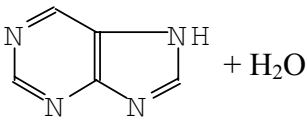
<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>	<b>Массовая доля, %</b>	<b>Молярность, моль/л</b>	<b>Плотность, кг/м<sup>3</sup></b>	<b>Массовая доля, %</b>	<b>Молярность, моль/л</b>
1,000	0,159	0,040	1,330	30,20	10,04
1,005	0,602	0,151	1,400	36,99	12,95
1,050	4,655	1,222	1,450	42,07	15,25
1,080	7,38	1,992	1,500	47,33	17,75
1,095	8,74	2,391	1,510	48,38	18,26
1,110	10,10	2,802	1,520	49,44	18,78
1,200	18,26	5,476	1,530	50,50	19,31
1,290	26,48	8,539			

**КОНСТАНТЫ ИОНИЗАЦИИ КИСЛОТ  
(КОНСТАНТЫ КИСЛОТНОСТИ)**

Название кислоты	Формула	$K_a$	$pK_a = -\lg K_a$
<b>Одноосновные</b>			
Азотистая	$HNO_2$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	3,21
Йодноватая	$HI O_3$	$1,7 \cdot 10^{-1}$	0,77
Перекись водорода	$H_2O_2$	$2,6 \cdot 10^{-12}$	11,58
Роданистоводородная	$HSCN$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	0,85
Фтористоводородная	$HF$	$6,5 \cdot 10^{-4}$	3,19
Хлористая	$HClO_2$	$1,1 \cdot 10^{-2}$	1,97
Хлорноватистая	$HClO$	$3,2 \cdot 10^{-8}$	7,50
Цианистоводородная	$HCN$	$6,5 \cdot 10^{-10}$	9,19
Аминоуксусная (Глицин)	$NH_2CH_2COOH$	$1,7 \cdot 10^{-10}$	9,77
Бензойная	$C_6H_5COOH$	$1,62 \cdot 10^{-6}$	5,79
Гликолевая	$CH_2(OH)COOH$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	3,83
Глюконовая	$CH_2OH(CHOH)_4COOH$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	3,86
Кротоновая ( $\beta$ -метилакриловая)	$CH_3CH = CHCOOH$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	4,69
Лауриновая	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	$1,1 \cdot 10^{-5}$	4,95
Молочная	$CH_3CHOHCOOH$	$1,38 \cdot 10^{-4}$	3,86
Муравьиная	$HCOOH$	$1,78 \cdot 10^{-4}$	3,75
о-Нитробензойная	$O_2NC_6H_4COOH(1,2)$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	2,17
Пикриновая	$HO C_6H_2(NO_2)_3$	$4,2 \cdot 10^{-1}$	0,38
Пропионовая	$CH_3CH_2COOH$	$1,35 \cdot 10^{-5}$	4,87
Уксусная	$CH_3COOH$	$1,75 \cdot 10^{-5}$	4,75
Фенол	$C_6H_5OH$	$1,05 \cdot 10^{-10}$	9,98
Хлоруксусная	$CH_2ClCOOH$	$1,41 \cdot 10^{-3}$	2,85
<b>Двухосновные</b>			
Сернистая $K_1$ $K_2$	$H_2SO_3$	$1,3 \cdot 10^{-2}$ $6,8 \cdot 10^{-8}$	1,87 7,27
Сероводородная $K_1$ $K_2$	$H_2S$	$1,0 \cdot 10^{-7}$ $1,3 \cdot 10^{-13}$	7,00 12,89
Угольная $K_1$ $K_2$	$H_2CO_3$	$4,5 \cdot 10^{-7}$ $5,0 \cdot 10^{-11}$	6,35 10,30
Хромовая $K_1$ $K_2$	$H_2CrO_4$	$2,1 \cdot 10^{-1}$ $3,2 \cdot 10^{-7}$	0,67 6,50

Название кислоты	Формула	$K_a$	$pK_a = -\lg K_a$
Винная $K_1$ $K_2$	$H_2C_4H_4O_6$	$1,05 \cdot 10^{-3}$ $1,57 \cdot 10^{-5}$	2,98 4,34
Щавелевая $K_1$ $K_2$	$H_2C_2O_4$	$5,62 \cdot 10^{-2}$ $5,89 \cdot 10^{-5}$	1,25 4,23
Янтарная $K_1$ $K_2$	$H_2C_4H_4O_4$	$6,17 \cdot 10^{-5}$ $2,29 \cdot 10^{-6}$	4,21 5,64
<b>Трехосновные</b>			
Борная $K_1$	$H_3BO_3$	$5,75 \cdot 10^{-10}$	9,24
Мышьяковая (орто) $K_1$ $K_2$ $K_3$	$H_3AsO_4$	$6,46 \cdot 10^{-3}$ $1,15 \cdot 10^{-7}$ $3,16 \cdot 10^{-12}$	2,19 6,94 11,50
Мышьяковистая $K_1$ $K_2$	$H_3AsO_3$	$5,00 \cdot 10^{-10}$ $3,2 \cdot 10^{-14}$	9,30 13,50
Фосфорная (орто) $K_1$ $K_2$ $K_3$	$H_3PO_4$	$7,08 \cdot 10^{-3}$ $6,17 \cdot 10^{-8}$ $4,68 \cdot 10^{-13}$	2,15 7,21 12,33
Фосфористая $K_1$ $K_2$	$H_3PO_3$	$2,5 \cdot 10^{-2}$ $2,0 \cdot 10^{-7}$	1,6 6,7
<b>Четырехосновные</b>			
Этилендиамин-тетрауксусная $K_1$ $K_2$ $K_3$ $K_4$	$\begin{array}{c} CH_2N(CH_2COOH)_2 \\   \\ CH_2N(CH_2COOH)_2 \end{array}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$ $2,1 \cdot 10^{-3}$ $6,9 \cdot 10^{-7}$ $5,5 \cdot 10^{-11}$	1,99 2,67 6,16 10,26

**КОНСТАНТЫ ИОНИЗАЦИИ ОСНОВАНИЙ  
(КОНСТАНТЫ ОСНОВНОСТИ)**

Название основания	Формула	$K_b$	$pK_b = -\lg K_b$
Однокислотные			
Аммиак	$NH_3 \cdot H_2O$	$1,76 \cdot 10^{-5}$	4,76
Лития гидроксид	$LiOH$	$6,8 \cdot 10^{-1}$	0,17
Анилин	$C_6H_5NH_2$	$3,31 \cdot 10^{-10}$	9,48
Бутиламин	$CH_3(CH_2)_2CH_2NH_2 + H_2O$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	3,22
Диметиламин	$(CH_3)_2NH$	$7,24 \cdot 10^{-4}$	3,14
Диметиланилин	$C_6H_5N(CH_3)_2$	$2,4 \cdot 10^{-10}$	9,62
Диэтиламин	$(C_2H_5)_2NH$	$9,55 \cdot 10^{-4}$	3,02
Метиламин	$CH_3NH_2$	$5,37 \cdot 10^{-4}$	3,27
Пиридин	$C_5H_5N$	$1,51 \cdot 10^{-9}$	8,82
Триэтиламин	$(C_2H_5)_3N + H_2O$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	2,99
Хинолин	$C_9H_7N$	$8,71 \cdot 10^{-10}$	9,06
Этиламин	$C_2H_5NH_2$	$4,68 \cdot 10^{-4}$	3,33
Этиланилин	$C_6H_5NHC_2H_5$	$4,0 \cdot 10^{-10}$	9,40
Двухкислотные			
Бария гидроксид $K_2$	$Ba(OH)_2$	$2,29 \cdot 10^{-1}$	0,64
Кальция гидроксид $K_2$	$Ca(OH)_2$	$4,27 \cdot 10^{-2}$	1,37
Свинца гидроксид $K_1$ $K_2$	$Pb(OH)_2$	$8,71 \cdot 10^{-4}$ $1,51 \cdot 10^{-8}$	3,06 7,82
Цинка гидроксид $K_2$	$Zn(OH)_2$	$1,5 \cdot 10^{-9}$	8,82
Гидразин $K_1$ $K_2$	$N_2H_4$	$9,33 \cdot 10^{-7}$ $1,86 \cdot 10^{-14}$	6,03 13,73
Гидроксиламин	$NH_2OH$	$9,33 \cdot 10^{-9}$	8,03
Пиразин	$N=CHCH=NCH=CH + H_2O$	$4,5 \cdot 10^{-14}$	13,35
Пурин	 + $H_2O$	$2,45 \cdot 10^{-12}$	11,61
Тиомочевина	$CS(NH_2)_2 + H_2O$	$1,1 \cdot 10^{-12}$	11,97
Фенилгидразин	$C_6H_5NHNH_2 + H_2O$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	8,80



**БУФЕРНЫЕ СМЕСИ**  
**Универсальная буферная смесь**  
**100 мл смеси  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$**   
**(раствор в отношении каждой из них 0,04М) + а мл 0,2М NaOH**

<b>а</b>	<b>рН</b>	<b>а</b>	<b>рН</b>
0	1,81	50,0	6,80
2,5	1,89	52,5	7,00
5,0	1,98	55,0	7,24
7,5	2,09	57,5	7,54
10,0	2,21	60,0	7,96
12,5	2,36	62,5	8,36
15,0	2,56	65,0	8,69
17,5	2,87	67,5	8,95
20,0	3,29	70,0	9,15
22,5	3,78	72,5	9,37
25,0	4,10	75,0	9,62
27,5	4,35	77,5	9,91
30,0	4,56	80,0	10,38
32,5	4,78	82,5	10,88
35,0	5,02	85,0	11,20
37,5	5,33	87,5	11,40
40,0	5,72	90,0	11,58
42,5	6,09	92,5	11,70
45,0	6,37	95,0	11,82
47,5	6,59	100,0	11,98

## Уксусно-ацетатная буферная смесь

Для приготовления буферного раствора требуемого значения рН отмеряют указанный объем 1 М раствора уксусной кислоты, прибавляют 50,0 мл 1 М раствора едкого натра и разбавляют дистиллированной водой до 500 мл

рН	Уксусная кислота, 1 М, мл	рН	Уксусная кислота, 1 М, мл	рН	Уксусная кислота, 1 М, мл
3,8	421,5	4,67	100,0	5,5	57,4
3,9	345,1	4,7	96,8	5,6	55,9
4,0	284,4	4,8	87,2	5,7	54,7
4,1	236,2	4,9	79,5	5,8	53,7
4,2	197,9	5,0	73,4	5,9	53,0
4,3	167,4	5,1	68,6	6,0	52,3
4,4	143,3	5,2	64,8	6,1	51,9
4,5	124,1	5,3	61,7	6,2	51,5
4,6	108,9	5,4	59,3	6,3	51,2

## Буферные растворы индивидуальных веществ

Вещество	рН
0,05 М раствор тетраоксалата калия дигидрата (KН <sub>3</sub> С <sub>4</sub> О <sub>8</sub> ·2Н <sub>2</sub> О; М.м. 254,19)	1,679 (25°С)
Насыщенный раствор гидротартрата калия (≈0,025 М) (KНС <sub>4</sub> Н <sub>4</sub> О <sub>6</sub> ; М.м. 188,178)	3,567 (25°С)
0,05 М раствор дигидроцитрата калия (С <sub>4</sub> Н <sub>12</sub> Н <sub>2</sub> НРО <sub>4</sub> ·Н <sub>2</sub> О; М.м. 202,147)	3,776 (25°С)
0,05 М раствор гидрофталата калия (KНС <sub>8</sub> Н <sub>4</sub> О <sub>4</sub> ; М.м. 204,22)	4,008 (25°С)
Насыщенный раствор пиперазинфосфата* (≈0,065 М) (KНС <sub>4</sub> Н <sub>4</sub> О <sub>6</sub> ; М.м. 188,178)	6,36 (16°С); 6,34 (18°С)
0,05 М раствор тетрабората натрия (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O; М.м. 381,37)	9,18 (25°С); 9,07 (38°С)

\* Пиперазинфосфат готовят смешением при комнатной температуре эквимолекулярных количеств пиперазина и фосфорной кислоты с последующей перекристаллизацией выделившихся белых пластинчатых кристаллов.

**Фосфатная буферная смесь**  
**смесь а мл 1/15М Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и**  
**(100 – а) мл 1/15М KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>**

<b>pH</b>	<b>а</b>	<b>pH</b>	<b>а</b>
4,80	0,35	6,45	28,70
4,85	0,45	6,50	31,30
4,90	0,60	6,55	34,10
4,95	0,75	6,60	37,10
5,00	0,95	6,65	40,00
5,05	1,15	6,70	43,00
5,10	1,35	6,75	46,00
5,15	1,55	6,80	49,20
5,20	1,80	6,85	52,20
5,25	2,05	6,90	55,20
5,30	2,30	6,95	58,20
5,35	2,65	7,00	61,20
5,40	3,00	7,05	64,20
5,45	3,45	7,10	67,00
5,50	3,90	7,15	69,80
5,55	4,35	7,20	72,60
5,60	4,90	7,25	75,40
5,65	5,50	7,30	77,70
5,70	6,20	7,35	79,90
5,75	7,00	7,40	81,80
5,80	7,90	7,45	83,50
5,85	8,80	7,50	85,20
5,90	9,80	7,55	86,90
5,95	10,80	7,60	88,50
6,00	12,10	7,65	89,90
6,05	13,50	7,70	91,20
6,10	15,00	7,75	92,40
6,15	16,70	7,80	93,60
6,20	18,40	7,85	94,60
6,25	20,10	7,90	95,50
6,30	22,10	7,95	96,20
6,35	24,20	8,00	96,90
6,40	26,40		

Таблица 6

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ (ПР<sup>Т</sup>) И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ (ПР<sup>К</sup>)  
ПРОИЗВЕДЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ, РАСТВОРИМОСТЬ (S)  
НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ**

Формула соединения	ПР <sup>Т</sup>	ПР <sup>К</sup>	S <sub>М</sub> , моль/л	S <sub>Г/100 мл</sub>
<b>Арсенаты</b>				
Ag <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub>		1,12·10 <sup>-20</sup>	3,59·10 <sup>-6</sup>	1,66·10 <sup>-4</sup>
AlAsO <sub>4</sub>	1,6·10 <sup>-16</sup>	1,6·10 <sup>-16</sup>	1,27·10 <sup>-8</sup>	2,10·10 <sup>-7</sup>
Ba <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		7,76·10 <sup>-51</sup>	3,73·10 <sup>-11</sup>	2,57·10 <sup>-9</sup>
BiAsO <sub>4</sub>		4,37·10 <sup>-10</sup>	2,09·10 <sup>-5</sup>	7,27·10 <sup>-4</sup>
Ca <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		6,76·10 <sup>-19</sup>	9,11·10 <sup>-5</sup>	3,62·10 <sup>-3</sup>
Co <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		7,6·10 <sup>-29</sup>	2,34·10 <sup>-6</sup>	1,06·10 <sup>-4</sup>
CrAsO <sub>4</sub>	7,8·10 <sup>-21</sup>	7,8·10 <sup>-21</sup>	8,33·10 <sup>-11</sup>	1,69·10 <sup>-9</sup>
Cu <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7,6·10 <sup>-36</sup>	7,6·10 <sup>-36</sup>	9,32·10 <sup>-8</sup>	4,37·10 <sup>-6</sup>
FeAsO <sub>4</sub>	5,8·10 <sup>-21</sup>	5,8·10 <sup>-21</sup>	7,61·10 <sup>-11</sup>	1,48·10 <sup>-9</sup>
Mg <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		2,09·10 <sup>-20</sup>	4,54·10 <sup>-5</sup>	1,59·10 <sup>-3</sup>
Mn <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,9·10 <sup>-29</sup>	1,9·10 <sup>-29</sup>	7,07·10 <sup>-7</sup>	3,13·10 <sup>-5</sup>
Ni <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	3,1·10 <sup>-26</sup>	3,1·10 <sup>-26</sup>	3,10·10 <sup>-6</sup>	1,41·10 <sup>-4</sup>
Pb <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	4,1·10 <sup>-36</sup>	4,1·10 <sup>-36</sup>	3,28·10 <sup>-8</sup>	2,95·10 <sup>-6</sup>
Sr <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		1,62·10 <sup>-18</sup>	1,09·10 <sup>-4</sup>	5,87·10 <sup>-3</sup>
Zn <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,07·10 <sup>-27</sup>	1,07·10 <sup>-27</sup>	1,58·10 <sup>-6</sup>	7,50·10 <sup>-4</sup>
<b>Арсениты</b>				
Ag <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	1,0·10 <sup>-17</sup>	1,22·10 <sup>-17</sup>	2,60·10 <sup>-5</sup>	5,99·10 <sup>-4</sup>
<b>Бромиды</b>				
AgBr*	4,90·10 <sup>-13</sup>	4,90·10 <sup>-13</sup>	7,12·10 <sup>-7</sup>	1,34·10 <sup>-5</sup>
CuBr	5,25·10 <sup>-9</sup>	5,25·10 <sup>-9</sup>	7,24·10 <sup>-5</sup>	1,04·10 <sup>-3</sup>
Hg <sub>2</sub> Br <sub>2</sub>	5,75·10 <sup>-23</sup>	5,75·10 <sup>-23</sup>	1,38·10 <sup>-6</sup>	7,73·10 <sup>-5</sup>
PbBr <sub>2</sub>	9,12·10 <sup>-6</sup>	2,76·10 <sup>-5</sup>	2,73·10 <sup>-2</sup>	1,00
<b>Гидроксиды (гидроокиси)</b>				
AgOH*	1,60·10 <sup>-8</sup>	1,63·10 <sup>-8</sup>	1,61·10 <sup>-4</sup>	2,01·10 <sup>-3</sup>
Al(OH) <sub>3</sub>	1,10·10 <sup>-33</sup>	1,10·10 <sup>-33</sup>	2,52·10 <sup>-9</sup>	1,97·10 <sup>-8</sup>
Bi(OH) <sub>3</sub>	4,27·10 <sup>-31</sup>	4,27·10 <sup>-31</sup>	1,12·10 <sup>-8</sup>	2,92·10 <sup>-7</sup>
Ca(OH) <sub>2</sub>	5,49·10 <sup>-6</sup>	7,96·10 <sup>-6</sup>	1,26·10 <sup>-2</sup>	9,32·10 <sup>-2</sup>
Cd(OH) <sub>2</sub> * неакт. форма	3,98·10 <sup>-15</sup>	3,98·10 <sup>-15</sup>	1,07·10 <sup>-5</sup>	1,57·10 <sup>-4</sup>
Ce(OH) <sub>3</sub>	6,32·10 <sup>-22</sup>	6,32·10 <sup>-22</sup>	2,21·10 <sup>-6</sup>	4,20·10 <sup>-5</sup>
Co(OH) <sub>2</sub> , голуб.	6,31·10 <sup>-15</sup>	6,31·10 <sup>-15</sup>	1,16·10 <sup>-5</sup>	1,08·10 <sup>-4</sup>
Co(OH) <sub>2</sub> , розов. свеж.	1,59·10 <sup>-15</sup>	1,59·10 <sup>-15</sup>	7,35·10 <sup>-6</sup>	6,83·10 <sup>-5</sup>
Co(OH) <sub>2</sub> , розов. после стар.	2,00·10 <sup>-16</sup>	2,00·10 <sup>-16</sup>	3,68·10 <sup>-6</sup>	3,42·10 <sup>-5</sup>
Co(OH) <sub>3</sub>	1,00·10 <sup>-43</sup>	1,00·10 <sup>-43</sup>	7,80·10 <sup>-12</sup>	8,58·10 <sup>-11</sup>
Cr(OH) <sub>3</sub>	6,31·10 <sup>-31</sup>	6,31·10 <sup>-31</sup>	1,24·10 <sup>-8</sup>	1,27·10 <sup>-7</sup>
Fe(OH) <sub>2</sub> *	7,94·10 <sup>-16</sup>	7,94·10 <sup>-16</sup>	1,05·10 <sup>-5</sup>	9,45·10 <sup>-5</sup>
Fe(OH) <sub>3</sub> *	3,72·10 <sup>-40</sup>	3,72·10 <sup>-40</sup>	1,80·10 <sup>-9</sup>	1,93·10 <sup>-8</sup>
Hg <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (Hg <sub>2</sub> O)	1,60·10 <sup>-23</sup>	1,60·10 <sup>-23</sup>	1,59·10 <sup>-8</sup>	6,92·10 <sup>-7</sup>
Hg(OH) <sub>2</sub> (HgO)	3,0·10 <sup>-26</sup>	3,0·10 <sup>-26</sup>	1,95·10 <sup>-8</sup>	4,57·10 <sup>-7</sup>

Формула соединения	ПР <sup>I</sup>	ПР <sup>K</sup>	S <sub>M</sub> , моль/л	S <sub>Г/100 мл</sub>
LiOH*	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,3425	0,8202
Mg(OH) <sub>2</sub> , стаб. форма	$1,12 \cdot 10^{-11}$	$1,32 \cdot 10^{-11}$	$1,49 \cdot 10^{-4}$	$8,67 \cdot 10^{-4}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$1,59 \cdot 10^{-13}$	$1,70 \cdot 10^{-13}$	$3,49 \cdot 10^{-5}$	$3,11 \cdot 10^{-4}$
Ni(OH) <sub>2</sub> *	$3,16 \cdot 10^{-16}$	$3,16 \cdot 10^{-16}$	$4,40 \cdot 10^{-6}$	$4,08 \cdot 10^{-5}$
Ni(OH) <sub>2</sub> , после стар.	$6,3 \cdot 10^{-18}$	$6,3 \cdot 10^{-18}$	$1,17 \cdot 10^{-6}$	$1,08 \cdot 10^{-5}$
Pb(OH) <sub>2</sub> * $\rightleftharpoons$ Pb <sup>2+</sup> + 2OH <sup>-</sup>	$1,0 \cdot 10^{-20}$	$1,0 \cdot 10^{-20}$	$1,36 \cdot 10^{-7}$	$3,29 \cdot 10^{-6}$
Pb(OH) <sub>2</sub> * $\rightleftharpoons$ PbOH <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	$8,7 \cdot 10^{-14}$	$8,7 \cdot 10^{-14}$	$2,96 \cdot 10^{-7}$	$7,13 \cdot 10^{-6}$
Pt(OH) <sub>2</sub>	$1,0 \cdot 10^{-35}$	$1,0 \cdot 10^{-35}$	$1,23 \cdot 10^{-12}$	$2,82 \cdot 10^{-11}$
Pt(OH) <sub>4</sub> (PtO <sub>2</sub> )	$1,6 \cdot 10^{-72}$	$1,6 \cdot 10^{-72}$	$1,44 \cdot 10^{-15}$	$3,79 \cdot 10^{-14}$
Sb(OH) <sub>3</sub> *	$3,99 \cdot 10^{-42}$	$3,99 \cdot 10^{-42}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$3,45 \cdot 10^{-4}$
Sn(OH) <sub>2</sub> * $\rightleftharpoons$ Sn <sup>2+</sup> + 2OH <sup>-</sup>	$1,41 \cdot 10^{-28}$	$1,41 \cdot 10^{-28}$	$1,39 \cdot 10^{-7}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$
Sn(OH) <sub>2</sub> * $\rightleftharpoons$ SnOH <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	$4,6 \cdot 10^{-15}$	$4,6 \cdot 10^{-15}$	$2,84 \cdot 10^{-6}$	$4,34 \cdot 10^{-5}$
Sn(OH) <sub>4</sub>	$1,0 \cdot 10^{-57}$	$1,0 \cdot 10^{-57}$	$1,31 \cdot 10^{-12}$	$2,45 \cdot 10^{-11}$
Zn(OH) <sub>2</sub> , стаб. форма	$1,20 \cdot 10^{-17}$	$1,20 \cdot 10^{-17}$	$3,84 \cdot 10^{-6}$	$3,82 \cdot 10^{-5}$
<b>Йодаты</b>				
AgIO <sub>3</sub> *	$3,09 \cdot 10^{-8}$	$3,22 \cdot 10^{-8}$	$1,79 \cdot 10^{-4}$	$5,07 \cdot 10^{-3}$
Ba(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$1,51 \cdot 10^{-9}$	$2,05 \cdot 10^{-9}$	$7,99 \cdot 10^{-4}$	$3,89 \cdot 10^{-2}$
Ce(IO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	$3,16 \cdot 10^{-10}$	$1,15 \cdot 10^{-9}$	$2,56 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-1}$
Pb(IO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	$2,63 \cdot 10^{-13}$	$2,83 \cdot 10^{-13}$	$4,14 \cdot 10^{-5}$	$2,30 \cdot 10^{-3}$
<b>Йодиды</b>				
AgI*	$9,98 \cdot 10^{-17}$	$9,98 \cdot 10^{-17}$	$1,03 \cdot 10^{-8}$	$2,41 \cdot 10^{-7}$
CuI	$1,10 \cdot 10^{-12}$	$1,10 \cdot 10^{-12}$	$1,05 \cdot 10^{-6}$	$2,00 \cdot 10^{-5}$
Hg <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	$4,47 \cdot 10^{-29}$	$4,47 \cdot 10^{-29}$	$2,24 \cdot 10^{-10}$	$1,46 \cdot 10^{-8}$
<b>PbI<sub>2</sub>*</b>	$8,71 \cdot 10^{-9}$	$1,34 \cdot 10^{-8}$	$1,51 \cdot 10^{-3}$	$6,96 \cdot 10^{-2}$
<b>Карбонаты</b>				
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$8,13 \cdot 10^{-12}$	$9,49 \cdot 10^{-12}$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$3,68 \cdot 10^{-3}$
BaCO <sub>3</sub>	$5,13 \cdot 10^{-9}$	$5,93 \cdot 10^{-9}$	$7,70 \cdot 10^{-5}$	$1,52 \cdot 10^{-3}$
CaCO <sub>3</sub>	$2,88 \cdot 10^{-9}$	$3,26 \cdot 10^{-9}$	$5,71 \cdot 10^{-5}$	$5,72 \cdot 10^{-4}$
CdCO <sub>3</sub>	$5,25 \cdot 10^{-12}$	$5,25 \cdot 10^{-9}$	$2,29 \cdot 10^{-6}$	$3,95 \cdot 10^{-5}$
CoCO <sub>3</sub>	$1,45 \cdot 10^{-13}$	$1,45 \cdot 10^{-13}$	$3,80 \cdot 10^{-7}$	$3,94 \cdot 10^{-6}$
CuCO <sub>3</sub>	$2,34 \cdot 10^{-10}$	$2,34 \cdot 10^{-10}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$1,69 \cdot 10^{-4}$
FeCO <sub>3</sub>	$2,09 \cdot 10^{-11}$	$2,09 \cdot 10^{-11}$	$4,57 \cdot 10^{-6}$	$5,30 \cdot 10^{-5}$
Hg <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$8,91 \cdot 10^{-17}$	$8,91 \cdot 10^{-17}$	$2,81 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-4}$
MgCO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$3,08 \cdot 10^{-5}$	$5,55 \cdot 10^{-3}$	$7,68 \cdot 10^{-2}$
MnCO <sub>3</sub>	$5,01 \cdot 10^{-10}$	$5,11 \cdot 10^{-10}$	$2,26 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-4}$
NiCO <sub>3</sub>	$1,35 \cdot 10^{-7}$	$1,63 \cdot 10^{-7}$	$4,03 \cdot 10^{-4}$	$4,79 \cdot 10^{-3}$
PbCO <sub>3</sub>	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$7,41 \cdot 10^{-14}$	$2,72 \cdot 10^{-7}$	$7,27 \cdot 10^{-6}$
SrCO <sub>3</sub>	$1,10 \cdot 10^{-10}$	$1,10 \cdot 10^{-10}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$
ZnCO <sub>3</sub>	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$3,80 \cdot 10^{-6}$	$4,77 \cdot 10^{-5}$

Формула соединения	ПР <sup>T</sup>	ПР <sup>K</sup>	S <sub>M</sub> , моль/л	S <sub>Г/100 мл</sub>
<b>Оксалаты</b>				
Ag <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,57·10 <sup>-11</sup>	4,10·10 <sup>-11</sup>	2,27·10 <sup>-4</sup>	6,89·10 <sup>-3</sup>
BaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,10·10 <sup>-7</sup>	1,49·10 <sup>-7</sup>	3,85·10 <sup>-4</sup>	8,68·10 <sup>-3</sup>
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,29·10 <sup>-9</sup>	2,60·10 <sup>-9</sup>	4,86·10 <sup>-5</sup>	6,22·10 <sup>-4</sup>
CdC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,59·10 <sup>-8</sup>	1,96·10 <sup>-8</sup>	1,40·10 <sup>-4</sup>	2,81·10 <sup>-3</sup>
CoC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	6,31·10 <sup>-8</sup>	8,53·10 <sup>-8</sup>	2,92·10 <sup>-4</sup>	4,29·10 <sup>-3</sup>
CuC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,16·10 <sup>-8</sup>	4,10·10 <sup>-8</sup>	2,02·10 <sup>-4</sup>	3,06·10 <sup>-3</sup>
FeC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,00·10 <sup>-7</sup>	3,05·10 <sup>-7</sup>	5,52·10 <sup>-4</sup>	7,94·10 <sup>-3</sup>
Hg <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,00·10 <sup>-13</sup>	1,00·10 <sup>-13</sup>	3,16·10 <sup>-7</sup>	1,55·10 <sup>-5</sup>
MgC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	7,94·10 <sup>-5</sup>	1,47·10 <sup>-4</sup>	1,65·10 <sup>-2</sup>	0,1852
MnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,00·10 <sup>-6</sup>	4,88·10 <sup>-6</sup>	3,50·10 <sup>-3</sup>	5,01·10 <sup>-2</sup>
NiC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	3,98·10 <sup>-10</sup>	4,42·10 <sup>-10</sup>	2,11·10 <sup>-5</sup>	3,10·10 <sup>-4</sup>
PbC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	4,79·10 <sup>-10</sup>	5,32·10 <sup>-10</sup>	2,31·10 <sup>-5</sup>	6,82·10 <sup>-4</sup>
SrC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5,63·10 <sup>-8</sup>	7,61·10 <sup>-8</sup>	2,41·10 <sup>-4</sup>	4,23·10 <sup>-3</sup>
ZnC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1,59·10 <sup>-9</sup>	1,77·10 <sup>-9</sup>	2,64·10 <sup>-5</sup>	4,05·10 <sup>-4</sup>
<b>Сульфаты</b>				
Ag <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,455·10 <sup>-5</sup>	5,02·10 <sup>-5</sup>	2,32·10 <sup>-2</sup>	0,7244
BaSO <sub>4</sub>	1,05·10 <sup>-10</sup>	1,05·10 <sup>-10</sup>	1,02·10 <sup>-5</sup>	2,39·10 <sup>-4</sup>
CaSO <sub>4</sub>	9,12·10 <sup>-6</sup>	2,30·10 <sup>-5</sup>	4,79·10 <sup>-3</sup>	6,52·10 <sup>-2</sup>
Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	6,76·10 <sup>-7</sup>	1,11·10 <sup>-6</sup>	1,05·10 <sup>-3</sup>	5,22·10 <sup>-2</sup>
PbSO <sub>4</sub>	1,59·10 <sup>-8</sup>	1,96·10 <sup>-8</sup>	1,40·10 <sup>-4</sup>	4,24·10 <sup>-3</sup>
SrSO <sub>4</sub>	3,47·10 <sup>-7</sup>	5,29·10 <sup>-7</sup>	7,27·10 <sup>-4</sup>	1,34·10 <sup>-2</sup>
<b>Сульфиды</b>				
Ag <sub>2</sub> S	6,31·10 <sup>-50</sup>	6,31·10 <sup>-50</sup>	2,51·10 <sup>-17</sup>	6,22·10 <sup>-16</sup>
CdS	7,94·10 <sup>-27</sup>	7,94·10 <sup>-27</sup>	8,91·10 <sup>-14</sup>	1,15·10 <sup>-12</sup>
CoS <sub>α</sub>	3,98·10 <sup>-21</sup>	3,98·10 <sup>-21</sup>	6,31·10 <sup>-11</sup>	5,74·10 <sup>-10</sup>
CoS <sub>β</sub>	2,00·10 <sup>-25</sup>	2,00·10 <sup>-25</sup>	4,47·10 <sup>-13</sup>	4,06·10 <sup>-12</sup>
CuS	6,31·10 <sup>-36</sup>	6,31·10 <sup>-36</sup>	2,51·10 <sup>-18</sup>	2,40·10 <sup>-17</sup>
Cu <sub>2</sub> S	2,51·10 <sup>-48</sup>	2,51·10 <sup>-48</sup>	8,56·10 <sup>-17</sup>	1,36·10 <sup>-15</sup>
FeS	5,13·10 <sup>-18</sup>	5,13·10 <sup>-18</sup>	2,27·10 <sup>-9</sup>	1,99·10 <sup>-8</sup>
HgS <sub>черн.</sub>	(1,59·10 <sup>-52</sup> )	(1,59·10 <sup>-52</sup> )		
HgS <sub>красн.</sub>	(3,98·10 <sup>-53</sup> )	(3,98·10 <sup>-53</sup> )		
MnS <sub>розов.</sub>	2,51·10 <sup>-10</sup>	2,51·10 <sup>-10</sup>	1,59·10 <sup>-5</sup>	1,38·10 <sup>-4</sup>
MnS <sub>зелен.</sub>	2,51·10 <sup>-13</sup>	2,51·10 <sup>-13</sup>	5,01·10 <sup>-7</sup>	4,36·10 <sup>-6</sup>
NiS <sub>α</sub>	3,16·10 <sup>-19</sup>	3,16·10 <sup>-19</sup>	5,62·10 <sup>-10</sup>	5,10·10 <sup>-9</sup>
NiS <sub>β</sub>	1,00·10 <sup>-24</sup>	1,00·10 <sup>-24</sup>	1,00·10 <sup>-12</sup>	9,08·10 <sup>-12</sup>
NiS <sub>γ</sub>	2,00·10 <sup>-26</sup>	2,00·10 <sup>-26</sup>	1,41·10 <sup>-13</sup>	1,28·10 <sup>-12</sup>
PbS	2,51·10 <sup>-27</sup>	2,51·10 <sup>-27</sup>	5,04·10 <sup>-14</sup>	1,20·10 <sup>-12</sup>
SnS	1,00·10 <sup>-25</sup>	1,00·10 <sup>-25</sup>	3,16·10 <sup>-13</sup>	4,77·10 <sup>-12</sup>
ZnS <sub>α</sub>	1,59·10 <sup>-24</sup>	1,59·10 <sup>-24</sup>	1,26·10 <sup>-12</sup>	1,23·10 <sup>-11</sup>
ZnS <sub>β</sub>	2,51·10 <sup>-22</sup>	2,51·10 <sup>-22</sup>	1,59·10 <sup>-11</sup>	1,54·10 <sup>-10</sup>

Формула соединения	ПР <sup>Г</sup>	ПР <sup>К</sup>	S <sub>М</sub> , моль/л	S <sub>Г/100 мл</sub>
<b>Сульфиты</b>				
Ag <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1,51·10 <sup>-14</sup>	1,51·10 <sup>-14</sup>	1,56·10 <sup>-5</sup>	4,61·10 <sup>-4</sup>
BaSO <sub>3</sub>	7,94·10 <sup>-7</sup>	1,31·10 <sup>-6</sup>	1,14·10 <sup>-3</sup>	2,48·10 <sup>-2</sup>
CaSO <sub>3</sub>	1,29·10 <sup>-8</sup>	1,59·10 <sup>-8</sup>	1,26·10 <sup>-4</sup>	1,51·10 <sup>-3</sup>
Hg <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1,00·10 <sup>-27</sup>	1,00·10 <sup>-27</sup>	3,16·10 <sup>-14</sup>	1,52·10 <sup>-12</sup>
MgSO <sub>3</sub>	3,16·10 <sup>-3</sup>	1,88·10 <sup>-2</sup>	0,14	1,43
SrSO <sub>3</sub>	3,98·10 <sup>-8</sup>	5,14·10 <sup>-8</sup>	2,27·10 <sup>-4</sup>	3,81·10 <sup>-3</sup>
<b>Фосфаты</b>				
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,29·10 <sup>-20</sup>	1,29·10 <sup>-20</sup>	4,67·10 <sup>-6</sup>	1,96·10 <sup>-4</sup>
AlPO <sub>4</sub>	5,75·10 <sup>-19</sup>	5,75·10 <sup>-19</sup>	6,61·10 <sup>-10</sup>	8,06·10 <sup>-9</sup>
BaHPO <sub>4</sub>		9,12·10 <sup>-8</sup>	3,02·10 <sup>-4</sup>	7,05·10 <sup>-3</sup>
Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		3,39·10 <sup>-23</sup>	1,26·10 <sup>-5</sup>	7,57·10 <sup>-4</sup>
BiPO <sub>4</sub>	1,29·10 <sup>-23</sup>	1,29·10 <sup>-23</sup>	3,59·10 <sup>-12</sup>	1,09·10 <sup>-10</sup>
CaHPO <sub>4</sub> *	2,75·10 <sup>-7</sup>	4,20·10 <sup>-7</sup>	8,58·10 <sup>-4</sup>	1,17·10 <sup>-2</sup>
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		1,00·10 <sup>-26</sup>	2,47·10 <sup>-6</sup>	7,67·10 <sup>-4</sup>
Cd <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2,51·10 <sup>-33</sup>	2,51·10 <sup>-33</sup>	1,18·10 <sup>-7</sup>	6,24·10 <sup>-6</sup>
CoHPO <sub>4</sub>	2,00·10 <sup>-7</sup>	7,03·10 <sup>-7</sup>	6,73·10 <sup>-4</sup>	1,04·10 <sup>-2</sup>
Co <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2,00·10 <sup>-35</sup>	2,00·10 <sup>-35</sup>	4,50·10 <sup>-8</sup>	1,65·10 <sup>-6</sup>
CrPO <sub>4</sub> , зелен.		2,40·10 <sup>-23</sup>	4,90·10 <sup>-12</sup>	7,20·10 <sup>-11</sup>
CrPO <sub>4</sub> , фиолет.		1,00·10 <sup>-17</sup>	3,16·10 <sup>-9</sup>	4,65·10 <sup>-8</sup>
Cu <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,26·10 <sup>-37</sup>	1,26·10 <sup>-37</sup>	1,63·10 <sup>-8</sup>	6,22·10 <sup>-7</sup>
FePO <sub>4</sub>	1,29·10 <sup>-22</sup>	1,29·10 <sup>-22</sup>	1,14·10 <sup>-11</sup>	1,71·10 <sup>-10</sup>
MgNH <sub>4</sub> PO <sub>4</sub>		2,51·10 <sup>-13</sup>	6,31·10 <sup>-5</sup>	8,66·10 <sup>-4</sup>
Ni <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	5,01·10 <sup>-31</sup>	5,01·10 <sup>-31</sup>	3,41·10 <sup>-7</sup>	1,25·10 <sup>-5</sup>
PbHPO <sub>4</sub>		1,41·10 <sup>-10</sup>	1,19·10 <sup>-5</sup>	3,60·10 <sup>-4</sup>
Pb <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	7,94·10 <sup>-43</sup>	7,94·10 <sup>-43</sup>	1,49·10 <sup>-9</sup>	1,21·10 <sup>-7</sup>
SrHPO <sub>4</sub>		5,75·10 <sup>-7</sup>	7,59·10 <sup>-4</sup>	1,39·10 <sup>-2</sup>
Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>		4,07·10 <sup>-23</sup>	1,30·10 <sup>-6</sup>	2,82·10 <sup>-5</sup>
Zn <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	9,12·10 <sup>-33</sup>	9,12·10 <sup>-33</sup>	1,53·10 <sup>-7</sup>	5,92·10 <sup>-6</sup>
<b>Фториды</b>				
BaF <sub>2</sub>	1,05·10 <sup>-26</sup>	2,43·10 <sup>-6</sup>	8,47·10 <sup>-3</sup>	1,48·10 <sup>-1</sup>
CaF <sub>2</sub>	3,98·10 <sup>-11</sup>	4,70·10 <sup>-11</sup>	2,27·10 <sup>-4</sup>	1,78·10 <sup>-3</sup>
SrF <sub>2</sub>	2,46·10 <sup>-9</sup>	3,37·10 <sup>-9</sup>	9,44·10 <sup>-4</sup>	1,19·10 <sup>-2</sup>
<b>Хлориды</b>				
AgCl*	1,78·10 <sup>-10</sup>	1,78·10 <sup>-10</sup>	1,35·10 <sup>-5</sup>	1,93·10 <sup>-4</sup>
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1,32·10 <sup>-18</sup>	1,32·10 <sup>-18</sup>	6,91·10 <sup>-7</sup>	3,25·10 <sup>-5</sup>
PbCl <sub>2</sub>	1,74·10 <sup>-5</sup>	6,02·10 <sup>-5</sup>	4,13·10 <sup>-2</sup>	1,15
<b>Хроматы</b>				
Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1,29·10 <sup>-12</sup>	1,44·10 <sup>-12</sup>	7,12·10 <sup>-5</sup>	2,36·10 <sup>-3</sup>
BaCrO <sub>4</sub>	1,18·10 <sup>-10</sup>	1,18·10 <sup>-10</sup>	1,08·10 <sup>-5</sup>	2,75·10 <sup>-4</sup>
CaCrO <sub>4</sub>	7,10·10 <sup>-4</sup>	3,67·10 <sup>-3</sup>	6,06·10 <sup>-2</sup>	9,45·10 <sup>-1</sup>
Hg <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	5,00·10 <sup>-9</sup>	1,13·10 <sup>-8</sup>	1,06·10 <sup>-4</sup>	5,50·10 <sup>-3</sup>
PbCrO <sub>4</sub>	1,18·10 <sup>-14</sup>	1,18·10 <sup>-14</sup>	1,33·10 <sup>-7</sup>	4,31·10 <sup>-6</sup>
SrCrO <sub>4</sub>		2,24·10 <sup>-5</sup>	4,73·10 <sup>-3</sup>	9,63·10 <sup>-2</sup>

**СТАНДАРТНЫЕ ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПОТЕНЦИАЛЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПО ОТНОШЕНИЮ К ВОДОРОДНОМУ ЭЛЕКТРОДУ**  
(в таблице приведены значения потенциалов для  $t=25^{\circ}\text{C}$  при  $\mu=0$ )

Элемент	Уравнение полуреакции	$E^0, \text{В}$
Ag	$\text{Ag}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}_{\text{TB}}$	+ 0,799
	$\text{Ag}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Ag}^+$	+1,998
	$\text{AgO}^+ + 2\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{Ag}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$	+2,016
	$2 \text{AgO}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$	+1,41
	$2 \text{AgO}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O} + \text{OH}^-$	+0,599
	$\text{Ag}_2\text{O}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+1,173
	$\text{Ag}_2\text{O}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	+0,342
	$\text{Ag}_2\text{CrO}_{4\text{TB}} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{\text{TB}} + \text{CrO}_4^{2-}$	+0,447
	$\text{Ag}_2\text{S}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{S}_{\text{T}}$	-0,036
	$\text{Ag}_2\text{S}_{\text{TB}} + 2e \rightleftharpoons 2\text{Ag}_{\text{TB}} + \text{S}^{2-}$	-0,712
	$\text{AgCl}_{\text{TB}} + e \rightleftharpoons \text{Ag}_{\text{TB}} + \text{Cl}^-$	+0,222
	$\text{AgBr}_{\text{TB}} + e \rightleftharpoons \text{Ag}_{\text{TB}} + \text{Br}^-$	+0,071
	$\text{AgI}_{\text{TB}} + e \rightleftharpoons \text{Ag}_{\text{TB}} + \text{I}^-$	-0,152
	Al	$\text{Al}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{TB}}$
$\text{Al}^{3+} + 2e \rightleftharpoons \text{Al}^+$		-2,76
$\text{Al}^+ + e \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{TB}}$		-0,55
$\text{AlO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$		-1,262
$\text{Al}(\text{OH})_{3\text{TB}} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{TB}} + 3\text{OH}^-$		-2,31
$[\text{AlF}_6]^{3-} + 3e \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{TB}} + 6\text{F}^-$		-2,07
As	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{AsO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,55
	$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,559
	$\text{H}_2\text{AsO}_4^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,666
	$\text{HAsO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,881
	$\text{HAsO}_4^{2-} + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{AsO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,609
	$\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{AsO}_2^- + 4\text{OH}^-$	-0,67
	$2\text{H}_3\text{AsO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{As}_2\text{O}_{3\text{TB}} + 5\text{H}_2\text{O}$	+0,58
	$2\text{H}_2\text{AsO}_4^- + 6\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{As}_2\text{O}_{3\text{TB}} + 5\text{H}_2\text{O}$	+0,687
	$2\text{HAsO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{As}_2\text{O}_{3\text{TB}} + 5\text{H}_2\text{O}$	+0,901
	$2\text{AsO}_4^{3-} + 10\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{As}_2\text{O}_{3\text{TB}} + 5\text{H}_2\text{O}$	+1,27
	$\text{AsO}_4^{3-} + 8\text{H}^+ + 5e \rightleftharpoons \text{As}_{\text{TB}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,648
	$\text{As}_2\text{O}_{3\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{As}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,234
	$\text{AsO}^+ + 2\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{As}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,254
	$\text{HAsO}_2 + 3\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{As}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,248
$\text{AsO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{As}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,429	
$\text{AsO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e \rightleftharpoons \text{As}_{\text{TB}} + 4\text{OH}^-$	-0,68	



Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В	
Au	$\text{As}_{\text{TB}} + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{AsH}_{3,\text{r}}$	-0,608	
	$\text{Au}^{3+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Au}^+$	+1,41	
	$\text{Au}^{3+} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}}$	+1,50	
	$\text{Au}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}}$	+1,68	
	$\text{AuCl}_4^- + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{AuCl}_2^- + 2\text{Cl}^-$	+0,926	
	$\text{AuBr}_4^- + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{AuBr}_2^- + 2\text{Br}^-$	+0,805	
	$\text{AuCl}_4^- + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}} + 4\text{Cl}^-$	+1,002	
	$\text{AuBr}_4^- + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}} + 4\text{Br}^-$	+0,858	
	$\text{AuCl}_2^- + \text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}} + 2\text{Cl}^-$	+1,154	
	$\text{AuBr}_2^- + \text{e} \rightleftharpoons \text{Au}_{\text{TB}} + 2\text{Br}^-$	+0,963	
	B	$\text{H}_3\text{BO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,869
		$\text{H}_2\text{BO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,687
$\text{HBO}_3^{2-} + 5\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$		-0,437	
$\text{BO}_3^{3-} + 6\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$		-0,165	
$\text{B}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$		-0,87	
$[\text{BF}_4]^- + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{B}_{\text{TB}} + 4\text{F}^-$		-1,04	
$\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 12\text{H}^+ + 12\text{e} \rightleftharpoons 4\text{B}_{\text{TB}} + 7\text{H}_2\text{O}$		-0,836	
$\text{B}_4\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 12\text{e} \rightleftharpoons 4\text{B}_{\text{TB}} + 7\text{H}_2\text{O}$		-0,792	
Ba	$\text{Ba}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ba}_{\text{TB}}$	-2,905	
	$\text{BaO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ba}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	-2,166	
Be	$\text{Be}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Be}_{\text{TB}}$	-1,85	
	$\text{Be}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Be}_{\text{TB}} + 6\text{OH}^-$	-2,62	
Bi	$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Bi}_{\text{TB}}$	+0,215	
	$\text{BiOH}^{2+} + \text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Bi}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,254	
	$\text{BiO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Bi}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,320	
	$\text{BiOCl}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Bi}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$	+0,160	
	$\text{Bi}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Bi}_{\text{TB}} + 6\text{OH}^-$	-0,46	
	$\text{Bi}_2\text{O}_{5,\text{TB}} + 10\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Bi}^{3+} + 5\text{H}_2\text{O}$	+1,759	
	$\text{Bi}_2\text{O}_{5,\text{TB}} + 8\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{BiOH}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,700	
	$\text{Bi}_2\text{O}_{5,\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{BiO}^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,605	
	$\text{NaBiO}_{3,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{BiO}^+ + \text{Na}^+ + \text{H}_2\text{O}$	>+1,8	
	$\text{Bi}_{\text{TB}} + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{BiH}_{3,\text{r}}$	-0,800	
Br	$\text{Br}_{2,\text{ж}} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,09	
	$[\text{Br}_3]^- + 2\text{e} \rightleftharpoons 3\text{Br}^-$	+1,05	
	$\text{HBrO}_3 + 5\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons [\text{Br}]^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,42	
	$3\text{HBrO}_3 + 15\text{H}^+ + 16\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}_3^- + 9\text{H}_2\text{O}$	+1,462	
	$\text{BrO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}^- + 6\text{OH}^-$	+0,61	
	$2\text{HBrO}_2 + 10\text{H}^+ + 10\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}_{2,\text{ж}} + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,48	

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$\text{HBrO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{HBrO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,46
	$\text{HBrO}_3 + 3\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,33
	$2\text{HBrO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}_{2,\text{ж}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,59
	$2\text{BrO}^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}_{2,\text{ж}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,09
	$2\text{BrO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}_{2,\text{ж}} + 4\text{OH}^-$	+0,45
	$\text{BrO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	+0,76
C	$\text{CO}_{2,\text{г}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{CO}_{,\text{г}} + \text{H}_2\text{O}$	-0,12
	$2\text{CO}_{2,\text{г}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,49
	$\text{CO}_{2,\text{г}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HCOOH}$	-0,20
	$\text{CNO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{CN}^- + 2\text{OH}^-$	-0,97
	$2\text{HCNO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O} + (\text{CN})_{2,\text{г}}$	+0,33
	$(\text{CN})_{2,\text{г}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{HCN}$	+0,37
Ca	$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}_{\text{ТБ}}$	-2,87
	$\text{CaO}_{\text{гидр}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}_{\text{ТБ}} + \text{H}_2\text{O}$	-2,19
	$\text{CaO}_{\text{б/в}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}_{\text{ТБ}} + \text{H}_2\text{O}$	-1,90
	$\text{Ca}(\text{OH})_{2,\text{ТБ}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ca}_{\text{ТБ}} + 2\text{OH}^-$	-3,03
Cd	$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}_{\text{ТБ}}$	-0,40
	$\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}_{\text{ТБ}} + 4\text{CN}^-$	-1,09
	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}_{\text{ТБ}} + 4\text{NH}_3$	-0,61
	$\text{Cd}(\text{OH})_{2,\text{ТБ}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}_{\text{ТБ}} + 2\text{OH}^-$	-0,81
	$\text{CdS}_{\text{ТБ}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cd}_{\text{ТБ}} + \text{S}^{2-}$	-1,17
Ce	$\text{Ce}^{3+} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}$	-2,48
	$[\text{Ce}(\text{OH})_2]^{2+} + 2\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,73
	$[\text{Ce}(\text{OH})]^{3+} + \text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	+1,71
	$[\text{Ce}(\text{ClO}_4)_6]^{2-} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + 6\text{ClO}_4^-$	+1,70
	$[\text{Ce}(\text{NO}_3)_6]^{2-} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + 6\text{NO}_3^-$	+1,60
	$[\text{Ce}(\text{SO}_4)_3]^{2-} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Ce}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$	+1,44
Cl	$\text{Cl}_{2,\text{г}} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,35
	$\text{Cl}_{2,\text{водн}} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,39
	$\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,19
	$\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$	+0,36
	$2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2,\text{г}} + 8\text{H}_2\text{O}$	+1,39
	$\text{ClO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+1,21
	$\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$	+0,33
	$\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$	+0,66
	$2\text{HClO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2,\text{г}} + \text{H}_2\text{O}$	+1,63
	$2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Cl}_{2,\text{г}} + 4\text{OH}^-$	+0,40
Co	$\text{Co}^{3+} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+1,81

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$\text{Co}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Co}^{2+}$	+1,30
	$\text{Co}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}_{\text{TB}}$	-0,28
	$\text{Co}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 8\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 3\text{Co}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+2,11
	$\text{Co}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons 2\text{Co}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,75
	$\text{Co}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2e \rightleftharpoons \text{Co}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	-0,73
	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + e \rightleftharpoons [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	+0,1
	$\text{CoO}(\text{OH})_{,\text{TB}} + \text{H}_2\text{O} + e \rightleftharpoons \text{Co}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + \text{OH}^-$	+0,17
Cr	$\text{Cr}^{3+} + e \rightleftharpoons \text{Cr}^{2+}$	-0,41
	$\text{Cr}^{3+} + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}_{\text{TB}}$	-0,74
	$\text{Cr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cr}_{\text{TB}}$	-0,91
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+1,33
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 12\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{CrOH}^{2+} + 5\text{H}_2\text{O}$	+1,26
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 10\text{H}^+ + 6e \rightleftharpoons 2\text{Cr}(\text{OH})_2^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,14
	$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 12e \rightleftharpoons 2\text{Cr}_{\text{TB}} + 7\text{H}_2\text{O}$	+0,29
	$\text{HCrO}_4^- + 7\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,20
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_{3,\text{TB}} + 5\text{OH}^-$	-0,13
	$\text{HCrO}_4^- + 6\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{CrOH}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,28
	$\text{CrO}_4^{2-} + 7\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{CrOH}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,40
	$\text{CrO}_4^{2-} + 6\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{Cr}(\text{OH})_2^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,28
	$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{CrO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,95
	$\text{CrO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 3e \rightleftharpoons \text{CrO}_3^{3-} + \text{H}_2\text{O}$	+0,36
Cu	$\text{Cu}^{2+} + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+$	+0,16
	$\text{Cu}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}}$	+0,34
	$\text{Cu}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}}$	+0,52
	$\text{HCuO}_2^- + 3\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,73
	$\text{CuO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,51
	$\text{HCuO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,13
	$\text{CuO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,52
	$2\text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+$	+0,20
	$2\text{HCuO}_2^- + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,78
	$2\text{CuO}_2^{2-} + 6\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_2\text{O}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+2,56
	$\text{CuO} + 2\text{H}^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{H}_2\text{O}$	+0,62
	$\text{Cu}^{2+} + \text{Br}^- + e \rightleftharpoons \text{CuBr}_{\text{TB}}$	+0,64
	$\text{Cu}^{2+} + \text{Cl}^- + e \rightleftharpoons \text{CuCl}_{\text{TB}}$	+0,54
	$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e \rightleftharpoons \text{CuI}_{\text{TB}}$	+0,86
	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + e \rightleftharpoons [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + 2\text{NH}_3$	-0,01
	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+ + e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}} + 2\text{NH}_3$	-0,12
	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Cu}_{\text{TB}} + 4\text{NH}_3$	-0,07

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В	
F	$F_{2,r} + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2HF$	+2,81	
	$F_{2,r} + 2e \rightleftharpoons 2F^-$	+2,87	
	$F_2O + 2H^+ + 4e \rightleftharpoons 2HF + H_2O$	+2,12	
	$F_2O + 2H^+ + 4e \rightleftharpoons 2F^- + H_2O$	+2,15	
	$F_2O + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons F_{2,r} + H_2O$	+1,44	
Fe	$Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+}$	+0,77	
	$Fe^{3+} + 3e \rightleftharpoons Fe_{TB}$	-0,04	
	$Fe^{2+} + 2e \rightleftharpoons Fe_{TB}$	-0,44	
	$Fe(OH)^{2+} + H^+ + e \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2O$	+0,91	
	$Fe(OH)_2^+ + 2H^+ + e \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2H_2O$	+1,19	
	$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e \rightleftharpoons Fe^{3+} + 4H_2O$	+1,70	
	$FeO_4^{2-} + 7H^+ + 3e \rightleftharpoons Fe(OH)^{2+} + 3H_2O$	+1,65	
	$FeO_4^{2-} + 6H^+ + 3e \rightleftharpoons Fe(OH)_2^+ + 2H_2O$	+1,56	
	$FeO_4^{2-} + 5H^+ + 3e \rightleftharpoons HFeO_2 + 2H_2O$	+1,00	
	$HFeO_2^- + 3H^+ + 2e \rightleftharpoons Fe_{TB} + 2H_2O$	+0,49	
	$[Fe(CN_6)]^{3-} + e \rightleftharpoons [Fe(CN_6)]^{4-}$	+0,36	
	$Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{3+} + e \rightleftharpoons Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{2+}$	+1,06	
	H	$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_{2,r}$	±0,0000
		$2H^+ (10^{-7}M) + 2e \rightleftharpoons H_{2,r}$	-0,41
$H_{2,r} + 2e \rightleftharpoons 2H^-$		-2,25	
$2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_{2,r} + 2OH^-$		-0,83	
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2H_2O$		+1,77	
$HO_2^- + H_2O + 2e \rightleftharpoons 3OH^-$		+0,88	
Hg		$2Hg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Hg_2^{2+}$	+0,91
	$Hg_2^{2+} + 2e \rightleftharpoons 2Hg_{ж}$	+0,79	
	$HgO_{TB} + H_2O + 2e \rightleftharpoons Hg_{ж} + 2OH^-$	+0,10	
	$HgO_{TB} + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons Hg_{ж} + H_2O$	+0,93	
	$2Hg(OH)_{2,TB} + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Hg_2^{2+} + 4H_2O$	+1,28	
	$Hg_2Cl_{2,TB} + 2e \rightleftharpoons 2Hg_{ж} + 2Cl^-$	+0,27	
	$Hg_2Br_{2,TB} + 2e \rightleftharpoons 2Hg_{ж} + 2Br^-$	+0,14	
	$Hg_2I_{2,TB} + 2e \rightleftharpoons 2Hg_{ж} + 2I^-$	-0,04	
	$Hg_2C_2O_{4,TB} + 2e \rightleftharpoons 2Hg_{ж} + C_2O_4^{2-}$	+0,42	
	$HgS_{TB,чepн} + 2e \rightleftharpoons Hg_{ж} + S^{2-}$	-0,67	
	$HgS_{TB,кpаш} + 2e \rightleftharpoons Hg_{ж} + S^{2-}$	-0,70	
	$[Hg(CN)_4]^{2-} + 2e \rightleftharpoons Hg_{ж} + 4CN^-$	-0,37	
	I	$[I_3]^- + 2e \rightleftharpoons 3I^-$	-0,536
$I_{2,водн} + 2e \rightleftharpoons 2I^-$		+0,621	
$3I_2 + 2e \rightleftharpoons 2[I_3]^-$		+0,789	

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$\text{H}_5\text{IO}_6 + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{IO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,6
	$\text{HIO}_5^{2-} + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{IO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,898
	$\text{HIO}_5^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{HIO} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,389
	$2\text{HIO}_5^{2-} + 18\text{H}^+ + 14\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 10\text{H}_2\text{O}$	+1,384
	$3\text{HIO}_5^{2-} + 27\text{H}^+ + 22\text{e} \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- + 15\text{H}_2\text{O}$	+1,357
	$\text{HIO}_5^{2-} + 9\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + 5\text{H}_2\text{O}$	+1,288
	$\text{HIO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+1,626
	$\text{IO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,653
	$\text{HIO}_4 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{HIO} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,290
	$\text{IO}_4^- + 7\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{HIO} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,235
	$2\text{HIO}_4 + 14\text{H}^+ + 14\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 8\text{H}_2\text{O}$	+1,300
	$3\text{HIO}_4 + 21\text{H}^+ + 22\text{e} \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- + 12\text{H}_2\text{O}$	+1,276
	$\text{HIO}_4 + 7\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,215
	$\text{IO}_3^- + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,155
	$\text{IO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{IO}^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,972
	$2\text{HIO}_3 + 10\text{H}^+ + 10\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,169
	$3\text{HIO}_3 + 15\text{H}^+ + 16\text{e} \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- + 9\text{H}_2\text{O}$	+1,145
	$\text{HIO}_3 + 5\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,0777
	$2\text{HIO} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,354
	$2\text{IO}^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,005
	$3\text{HIO} + 3\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,213
	$3\text{IO}^- + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons [\text{I}_3]^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,701
	$\text{IO}^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,313
	$\text{HIO} + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$	+0,987
	$2\text{ICl}_{3,\text{TB}} + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 6\text{Cl}^-$	+1,28
	$\text{ICl}_{\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 2\text{Cl}^-$	+1,22
	$\text{ICl} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 2\text{Cl}^-$	+1,19
	$2\text{IBr}_{\text{ВОДН}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{I}_{2,\text{TB}} + 2\text{Br}^-$	+1,02
K	$\text{K}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{K}_{\text{TB}}$	-2,925
Li	$\text{Li}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Li}_{\text{TB}}$	-3,03
Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}_{\text{TB}}$	-2,37
	$\text{Mg}(\text{OH})_{\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	-2,69
	$\text{MgO}_{\text{TB,ГИДР}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	-1,869
	$\text{MgO}_{\text{TB,О/В}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mg}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	-1,722
Mn	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_{\text{TB}}$	-1,18
	$\text{Mn}^{\text{IV}} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{\text{III}} (3,5\text{M H}_2\text{SO}_4)$	+1,65
	$\text{Mn}^{\text{III}} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{\text{II}} (3,5\text{M H}_2\text{SO}_4)$	+1,59
	$\text{MnO}_4^- + \text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_4^{2-}$	+0,576

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2,\text{TB}} + 4\text{OH}^-$	+0,588
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2,\alpha,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,695
	$\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2,\beta,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,679
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,506
	$\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,507
	$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,257
	$\text{MnO}_4^{2-} + 5\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{HMnO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,234
	$\text{MnO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{MnO}_{2,\text{TB}} + 4\text{OH}^-$	+0,51
	$\text{MnO}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^-$	-0,05
	$\text{MnO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,23
	$\text{MnO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,948
	$\text{Mn}(\text{OH})_{3,\text{TB}} + \text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + \text{OH}^-$	+0,1
	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_{\text{TB}}$	-1,18
	$\text{Mn}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	-1,55
	$\text{HMnO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Mn}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,163
N	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{2,\text{r}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,775
	$2\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{4,\text{r}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,80
	$\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,94
	$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+0,835
	$\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,96
	$\text{NO}_{2,\text{r}} + \text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_2^-$	+0,893
	$\text{NO}_{2,\text{r}} + \text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{HNO}_2$	+1,093
	$\text{NO}_{2,\text{r}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{\text{r}} + \text{H}_2\text{O}$	+1,049
	$2\text{NO}_{2,\text{r}} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,229
	$2\text{NO}_{2,\text{r}} + 8\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_{2,\text{r}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,363
	$\text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{\text{r}} + \text{H}_2\text{O}$	+1,202
	$\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{NO}_{\text{r}} + \text{H}_2\text{O}$	+1,004
	$2\text{NO}_2^- + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,396
	$2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_{\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,297
	$2\text{NO}_2^- + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_{2,\text{r}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,520
	$2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{N}_{2,\text{r}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,454
	$\text{NO}_2^- + 7\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{NH}_{3,\text{r}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,789
	$\text{HNO}_2 + 7\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,864
	$\text{N}_{2,\text{r}} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3,\text{r}}$	+0,057
	$\text{N}_{2,\text{r}} + 2\text{H}_2\text{O} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}\cdot\text{H}_2\text{O}$	+0,092
	$\text{N}_{2,\text{r}} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{NH}_4^+$	+0,275
Na	$\text{Na}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{Na}_{\text{TB}}$	-2,713
Ni	$\text{Ni}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}_{\text{TB}}$	-0,250

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$\text{NiO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,593
	$\text{NiO}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	+0,49
	$\text{Ni}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Ni}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,753
	$\text{Ni}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons 3\text{HNiO}_2^- + \text{H}^+$	-0,718
	$\text{Ni}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 8\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 3\text{Ni}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+1,977
	$\text{HNiO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,648
	$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Ni}_{\text{TB}} + 6\text{NH}_3$	-0,49
O	$\text{O}_{2,\text{r}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
	$\text{O}_{2,\text{r}} + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightleftharpoons 4\text{OH}^-$	+0,401
	$\text{O}_{3,\text{r}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{O}_{2,\text{r}} + \text{H}_2\text{O}$	+2,076
	$\text{O}_{3,\text{r}} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 3\text{H}_2\text{O}$	+1,501
	$\text{O}_{3,\text{r}} + \text{H}_2\text{O} + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{O}_{2,\text{r}} + 2\text{OH}^-$	+1,24
	$\text{O}_{2,\text{r}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_2$	+0,69
	$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,776
P	$\text{P}_{\text{кр}} + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3,\text{r}}$	-0,111
	$\text{P}_{\text{бел}} + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{PH}_{3,\text{r}}$	-0,063
	$\text{PO}_4^{3-} + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HPO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	+0,121
	$\text{HPO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HPO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	-0,234
	$\text{H}_2\text{PO}_4^{2-} + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HPO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	-0,447
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$	-0,260
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{PO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$	-0,329
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	-0,276
	$\text{PO}_4^{3-} + 8\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,128
	$\text{PO}_4^{3-} + 8\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,156
	$\text{HPO}_4^{2-} + 7\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,288
	$\text{HPO}_4^{2-} + 7\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,316
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,358
	$\text{H}_2\text{PO}_4^- + 6\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,386
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,383
	$\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 4\text{H}_2\text{O}$	-0,411
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	-0,499
	$\text{HPO}_3^{2-} + 5\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,298
	$\text{HPO}_3^{2-} + 5\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,346
	$\text{H}_2\text{PO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,419
	$\text{H}_2\text{PO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,467
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{кр}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,454
	$\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{P}_{\text{бел}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,502
	$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{H}_3\text{PO}_3$	+0,38

Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,94
Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}_{\text{TB}}$	-0,126
	$\text{Pb}^{4+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}$	+1,694
	$\text{PbO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,455
	$\text{PbO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{PbSO}_{4,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,685
	$\text{PbO}_{2,\text{TB}} + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HPbO}_2^-$	+0,621
	$3\text{PbO}_3^{2-} + 10\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 5\text{H}_2\text{O}$	+2,515
	$\text{PbO}_3^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{PbO}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+2,001
	$\text{PbO}_3^{2-} + 3\text{H}^+ + \text{e} \rightleftharpoons \text{HPbO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,547
	$\text{PbO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+2,375
	$\text{Pb}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{PbO}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	+0,249
	$\text{Pb}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 8\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 3\text{Pb}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+2,094
	$\text{Pb}_3\text{O}_{4,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons 3\text{HPbO}_2^- + \text{H}^+$	+0,390
	$\text{PbO}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,249
	$\text{PbSO}_{4,\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}_{\text{TB}} + \text{SO}_4^{2-}$	-0,335
	$\text{HPbO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pb}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,702
	$\text{Pb}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{PbH}_2$	-1,507
Pt	$\text{Pt}^{2+} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pt}_{\text{TB}}$	+1,2
	$\text{PtO}_{2,\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pt}(\text{OH})_{2,\text{TB}}$	+1,1
	$\text{Pt}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pt}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	+0,15
	$\text{Pt}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Pt}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,98
S	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+0,17
	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{SO}_3^{2-} + 2\text{OH}^-$	-0,93
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_{\text{TB}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,357
	$\text{HSO}_4^- + 7\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_{\text{TB}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,339
	$\text{SO}_4^{2-} + 8\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,149
	$\text{SO}_4^{2-} + 9\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,252
	$\text{SO}_4^{2-} + 10\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_{\text{r}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,303
	$\text{HSO}_4^- + 9\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_{\text{r}} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,289
	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{SO}_4^{2-}$	+2,010
	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{HSO}_4^-$	+2,123
	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+0,219
	$\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 12\text{H}^+ + 10\text{e} \rightleftharpoons 4\text{S}_{\text{TB}} + 6\text{H}_2\text{O}$	+0,416
	$\text{S}_2\text{O}_6^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{SO}_3^{2-}$	+0,026
	$\text{SO}_{2,\text{r}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,451
	$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,449
	$2\text{SO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,705
	$2\text{HSO}_3^- + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,491



Элемент	Уравнение полуреакции	E <sup>0</sup> , В
	$4\text{HSO}_3^- + 8\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$	+0,581
	$\text{SO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons \text{S}^{2-} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,231
	$\text{S}_{\text{TB}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$	-0,476
	$\text{S}_{\text{TB}} + \text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HS}^-$	-0,065
	$\text{S}_{\text{TB}} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}_{\text{r}}$	+0,142
	$\text{S}_2^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{HS}^-$	+0,298
	$\text{S}_2^{2-} + 2\text{e} \rightleftharpoons 2\text{S}^{2-}$	-0,524
	$\text{S}_3^{2-} + 3\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 3\text{HS}^-$	+0,097
	$\text{S}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 4\text{HS}^-$	+0,033
	$\text{S}_5^{2-} + 5\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons 5\text{HS}^-$	+0,003
Sb	$\text{Sb}^{\text{V}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}^{\text{III}} (6\text{M HCl})$	+0,818
	$\text{Sb}^{\text{V}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}^{\text{III}} (3,5\text{M HCl})$	+0,746
	$\text{Sb}_2\text{O}_{5,\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons 2\text{SbO}^+$	+0,581
	$\text{SbO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_{\text{TB}} + \text{H}_2\text{O}$	+0,212
	$\text{SbO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{SbO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+0,353
	$\text{SbO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HSbO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,678
	$\text{SbO}_3^- + 4\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{SbO}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,704
	$\text{SbO}_2^+ + 2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{SbO}^- + \text{H}_2\text{O}$	+0,720
	$2\text{SbO}_3^- + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,772
	$\text{SbO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,446
	$\text{HSbO}_2 + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,230
	$\text{Sb}_2\text{O}_{5,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Sb}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,692
	$\text{Sb}_2\text{O}_{3,\text{TB}} + 6\text{H}^+ + 6\text{e} \rightleftharpoons 2\text{Sb}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,152
	$\text{Sb}_{\text{TB}} + 3\text{H}^+ + 3\text{e} \rightleftharpoons \text{SbH}_{3,\text{r}}$	-0,510
Si	$\text{SiO}_{2,\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Si}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,86
	$\text{SiO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Si}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,455
	$\text{HSiO}_3^- + 5\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Si}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,632
	$\text{H}_2\text{SiO}_3 + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Si}_{\text{TB}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,780
	$\text{SiO}_{2,\text{TB}} + 8\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{SiH}_{4,\text{r}} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,377
	$\text{SiO}_3^{2-} + 10\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{SiH}_{4,\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,176
	$\text{HSiO}_3^- + 9\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{SiH}_{4,\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,265
	$\text{H}_2\text{SiO}_3 + 8\text{H}^+ + 8\text{e} \rightleftharpoons \text{SiH}_{4,\text{r}} + 3\text{H}_2\text{O}$	-0,339
	$\text{Si}_{\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{SiH}_{4,\text{r}}$	+0,102
	$\text{SiF}_6^{2-} + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Si}_{\text{TB}} + 6\text{F}^-$	-1,2
Sn	$\text{Sn}^{\text{IV}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}^{\text{II}}$	+0,154
	$\text{Sn}^{\text{IV}} + 4\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}_{\text{TB}}$	+0,01
	$\text{Sn}^{\text{II}} + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{Sn}_{\text{TB}}$	-0,136
	$\text{SnO}_3^{2-} + 3\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{HSnO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	+0,374

Элемент	Уравнение полуреакции	$E^0, \text{В}$
	$\text{SnO}_3^{2-} + 6\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,844
	$\text{HSnO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Sn}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,333
	$\text{Sn}_{\text{TB}} + 4\text{H}^+ + 4e \rightleftharpoons \text{SnH}_{4,\Gamma}$	-1,074
Sr	$\text{Sr}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Sr}_{\text{TB}}$	-2,89
Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}}$	-0,763
	$\text{ZnO}_2^{2-} + 4\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,441
	$\text{HZnO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 2\text{H}_2\text{O}$	-0,054
	$\text{ZnO}_2^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 4\text{OH}^-$	-1,216
	$\text{Zn}(\text{OH})_{2,\text{TB}} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 2\text{OH}^-$	-1,245
	$\text{ZnS}_{\text{TB}} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + \text{S}^{2-}$	-1,40
	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 4\text{NH}_3$	-1,04
	$[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2+} + 2e \rightleftharpoons \text{Zn}_{\text{TB}} + 4\text{CN}^-$	-1,26

Таблица 8

КОМПЛЕКСЫ С НЕОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ И ИХ КОНСТАНТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ( $\beta$ )

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
Аммиачные												
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	$2,09 \cdot 10^3$	3,32	$1,62 \cdot 10^7$	7,21								
$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$3,24 \cdot 10^2$	2,51	$2,95 \cdot 10^4$	4,47	$5,89 \cdot 10^5$	5,77	$3,63 \cdot 10^6$	6,56				
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	97,7	1,99	$3,16 \cdot 10^3$	3,50	$2,69 \cdot 10^4$	4,43	$1,18 \cdot 10^5$	5,07	$1,35 \cdot 10^{30}$	5,13	$2,45 \cdot 10^4$	4,39
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	$2,00 \cdot 10^7$	7,3	$1,00 \cdot 10^{14}$	14	$1,26 \cdot 10^{20}$	20,1	$5,01 \cdot 10^{25}$	25,7	$6,31 \cdot 10^{30}$	30,8	$4,57 \cdot 10^{33}$	33,66
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$	$8,51 \cdot 10^5$	5,93	$5,50 \cdot 10^8$	8,74								
$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$9,77 \cdot 10^3$	3,99	$2,14 \cdot 10^7$	7,33	$1,15 \cdot 10^{10}$	10,06	$1,07 \cdot 10^{12}$	12,03				
$[\text{Fe}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	25,1	1,4	$1,59 \cdot 10^2$	2,2			$5,01 \cdot 10^3$	3,7				
$[\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$6,31 \cdot 10^8$	8,8	$3,16 \cdot 10^{17}$	17,5	$3,16 \cdot 10^{18}$	18,5	$1,82 \cdot 10^{19}$	19,26				
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	$4,68 \cdot 10^2$	2,67	$4,17 \cdot 10^4$	4,62	$2,51 \cdot 10^6$	6,40	$2,09 \cdot 10^7$	7,32	$1,26 \cdot 10^8$	8,10	$1,02 \cdot 10^8$	8,01
$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$	$1,51 \cdot 10^2$	2,18	$2,69 \cdot 10^4$	4,43	$5,50 \cdot 10^6$	6,74	$2,51 \cdot 10^9$	9,40				
Бромидные												
$[\text{AgBr}_5]^{4-}$	$2,40 \cdot 10^4$	4,38	$2,19 \cdot 10^7$	7,34	$7,08 \cdot 10^8$	8,85	$5,01 \cdot 10^8$	8,70	$2,00 \cdot 10^9$	9,30		
$[\text{BiBr}_6]^{3-}$	$1,82 \cdot 10^2$	2,26	$2,82 \cdot 10^4$	4,45	$2,14 \cdot 10^6$	6,33	$6,61 \cdot 10^7$	7,82	$2,63 \cdot 10^9$	9,42	$5,01 \cdot 10^9$	9,70
$[\text{CdBr}_4]^{2-}$	$1,70 \cdot 10^2$	2,23	$6,31 \cdot 10^2$	2,80	$3,98 \cdot 10^3$	3,60	$5,01 \cdot 10^3$	3,70				
$[\text{HgBr}_4]^{2-}$	$1,12 \cdot 10^9$	9,05	$2,14 \cdot 10^{17}$	17,33	$5,50 \cdot 10^{19}$	19,74	$4,37 \cdot 10^{21}$	21,64				
$[\text{PbBr}_4]^{2-}$	$1,70 \cdot 10^2$	2,23	$3,02 \cdot 10^2$	2,48	$1,82 \cdot 10^3$	3,26	$2,00 \cdot 10^3$	3,30				
$[\text{SnBr}_3]^-$	5,37	0,73	13,8	1,14	22,39	1,35						
Гидроксо-												
$[\text{Ag}(\text{OH})_3]^{2-}$	$2,00 \cdot 10^2$	2,30	$1,00 \cdot 10^4$	4,0	$1,59 \cdot 10^5$	5,2						
$[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$	$1,10 \cdot 10^9$	9,04					$1,00 \cdot 10^{33}$	33,0				
$[\text{Bi}(\text{OH})_4]^-$	$2,51 \cdot 10^{12}$	12,4	$6,31 \cdot 10^{15}$	15,8			$1,59 \cdot 10^{35}$	35,2				
$[\text{Cd}(\text{OH})_4]^{2-}$	$1,48 \cdot 10^4$	4,17	$2,14 \cdot 10^8$	8,33	$1,05 \cdot 10^9$	9,02	$3,98 \cdot 10^8$	8,6				
$[\text{Co}(\text{OH})_3]^-$	$2,51 \cdot 10^4$	4,4	$3,98 \cdot 10^4$	4,6	$3,16 \cdot 10^{10}$	10,5						
$[\text{Cr}(\text{OH})_4]^-$	$1,26 \cdot 10^{10}$	10,1	$6,31 \cdot 10^{17}$	17,8			$7,94 \cdot 10^{29}$	29,9				

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
$[\text{Cu}(\text{OH})_4]^{2-}$	$1,00 \cdot 10^7$	7,0	$4,79 \cdot 10^{13}$	13,68	$1,0 \cdot 10^{17}$	17,0	$3,16 \cdot 10^{18}$	18,5				
$[\text{Fe}(\text{OH})_4]^{2-}$	$3,63 \cdot 10^5$	5,56	$5,89 \cdot 10^9$	9,77	$4,68 \cdot 10^9$	9,67	$3,63 \cdot 10^8$	8,56				
$[\text{Fe}(\text{OH})_3]$	$7,41 \cdot 10^{11}$	11,87	$1,48 \cdot 10^{21}$	21,17	$4,68 \cdot 10^{30}$	30,67						
$[\text{Hg}(\text{OH})_3]^-$	$2,00 \cdot 10^{10}$	10,30	$5,01 \cdot 10^{21}$	21,70	$1,59 \cdot 10^{21}$	21,20						
$[\text{Ni}(\text{OH})_3]^-$	$9,33 \cdot 10^4$	4,97	$3,55 \cdot 10^8$	8,55	$2,14 \cdot 10^{11}$	11,33						
$[\text{Pb}(\text{OH})_3]^-$	$7,94 \cdot 10^6$	6,9	$6,31 \cdot 10^{10}$	10,08	$2,00 \cdot 10^{11}$	11,3						
$[\text{Sb}(\text{OH})_4]^-$			$2,00 \cdot 10^{24}$	24,3	$5,01 \cdot 10^{36}$	36,7	$2,00 \cdot 10^{38}$	38,3				
$[\text{Sn}(\text{OH})_3]^-$	$7,24 \cdot 10^{11}$	11,86	$4,37 \cdot 10^{20}$	20,64	$1,35 \cdot 10^{25}$	25,13						
$[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-}$	$2,51 \cdot 10^4$	4,40	$2,00 \cdot 10^{11}$	11,30	$1,38 \cdot 10^{13}$	13,14	$4,57 \cdot 10^{14}$	14,64				
$[\text{Zr}(\text{OH})_4]$	$2,09 \cdot 10^{14}$	14,32	$1,82 \cdot 10^{28}$	28,26	$8,13 \cdot 10^{41}$	41,91	$1,86 \cdot 10^{55}$	55,27				
Йодатные												
$[\text{Ag}(\text{IO}_3)_2]^-$	4,27	0,63	79,4	1,90								
Йодидные												
$[\text{AgI}_4]^{3-}$	$3,80 \cdot 10^6$	6,58	$5,50 \cdot 10^{11}$	11,74	$4,79 \cdot 10^{13}$	13,68	$1,00 \cdot 10^{14}$	14,00				
$[\text{BiI}_6]^{3-}$	$7,76 \cdot 10^2$	2,89					$8,91 \cdot 10^{14}$	14,95	$6,31 \cdot 10^{16}$	16,8	$1,26 \cdot 10^{19}$	19,1
$[\text{CdI}_4]^{2-}$	$1,91 \cdot 10^2$	2,28	$2,69 \cdot 10^3$	3,43	$3,09 \cdot 10^4$	4,49	$2,57 \cdot 10^5$	5,41				
$[\text{HgI}_4]^{2-}$	$7,41 \cdot 10^{12}$	12,87	$6,61 \cdot 10^{23}$	23,82	$3,98 \cdot 10^{27}$	27,60	$1,51 \cdot 10^{30}$	30,18				
$[\text{PbI}_4]^{2-}$	18,2	1,26	$1,41 \cdot 10^3$	3,15	$8,32 \cdot 10^3$	3,92	$2,95 \cdot 10^4$	4,47				
Нитритные												
$[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^-$	75,9	1,88	$6,76 \cdot 10^2$	2,83								
$[\text{Cd}(\text{NO}_2)_4]^{2-}$	63,1	1,80	$1,02 \cdot 10^3$	3,01	$6,46 \cdot 10^3$	3,81	$1,26 \cdot 10^3$	3,1				
$[\text{Cu}(\text{NO}_2)_3]^-$	18,2	1,26	36,3	1,56	14,45	1,16						
Роданидные												
$[\text{Ag}(\text{SCN})_4]^{3-}$	$5,62 \cdot 10^4$	5,75	$6,03 \cdot 10^9$	9,78			$1,51 \cdot 10^{11}$	11,18				
$[\text{Bi}(\text{SCN})_6]^{3-}$	14,1	1,15	83,18	1,92	$5,50 \cdot 10^2$	2,74	$2,51 \cdot 10^3$	3,40			$1,70 \cdot 10^4$	4,23
$[\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$	$1,00 \cdot 10^3$	3,0	$1,00 \cdot 10^3$	3,0	$2,00 \cdot 10^2$	2,3	$1,59 \cdot 10^2$	2,2				

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
$[\text{Cr}(\text{SCN})_6]^{3-}$	$1,20 \cdot 10^3$	3,08	$6,31 \cdot 10^4$	4,80	$6,31 \cdot 10^5$	5,8	$1,26 \cdot 10^6$	6,1	$2,51 \cdot 10^5$	5,4	$6,31 \cdot 10^3$	3,8
$[\text{Cu}(\text{SCN})_6]^{5-}$			$1,29 \cdot 10^{12}$	12,11	$7,94 \cdot 10^9$	9,90	$1,23 \cdot 10^{10}$	10,09	$3,89 \cdot 10^9$	9,59	$1,86 \cdot 10^9$	9,27
$[\text{Cu}(\text{SCN})_4]^{2-}$	$2,00 \cdot 10^2$	2,30	$4,47 \cdot 10^3$	3,65	$1,55 \cdot 10^5$	5,19	$3,31 \cdot 10^6$	6,52				
$[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$	$1,07 \cdot 10^3$	3,03	$2,14 \cdot 10^4$	4,33	$3,27 \cdot 10^4$	4,63	$3,39 \cdot 10^4$	4,53	$1,70 \cdot 10^4$	4,23	$1,70 \cdot 10^3$	3,23
$[\text{Hg}(\text{SCN})_3]^-$			$1,51 \cdot 10^{29}$	29,18	$2,00 \cdot 10^{30}$	30,3						
$[\text{Ni}(\text{SCN})_3]^-$	15,14	1,18	43,65	1,64	64,57	1,81						
$[\text{Zn}(\text{SCN})_4]^{2-}$	50,12	1,7	$1,48 \cdot 10^2$	2,17	$2,19 \cdot 10^2$	2,34	$1,02 \cdot 10^2$	2,01				
							$5,03 \cdot 10^3$	3,7				
Сульфитные												
$[\text{Ag}(\text{SO}_3)_3]^{3-}$	$3,98 \cdot 10^5$	5,60	$4,79 \cdot 10^8$	8,68	$1,0 \cdot 10^9$	9,00						
$[\text{Cu}(\text{SO}_3)_3]^{3-}$	$7,08 \cdot 10^7$	7,85	$5,01 \cdot 10^8$	8,70	$2,29 \cdot 10^9$	9,36						
$[\text{Hg}(\text{SO}_3)_3]^{4-}$			$1,18 \cdot 10^{24}$	24,07	$9,12 \cdot 10^{24}$	24,96						
Тиосульфатные												
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{3-}$	$6,61 \cdot 10^8$	8,82	$2,88 \cdot 10^{13}$	13,46	$1,41 \cdot 10^{14}$	14,15						
$[\text{Cd}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{4-}$	$8,71 \cdot 10^5$	3,94	$3,02 \cdot 10^6$	6,48	$1,59 \cdot 10^8$	8,20						
$[\text{Cu}(\text{S}_2\text{O}_3)_3]^{3-}$	$1,86 \cdot 10^{10}$	10,27	$1,66 \cdot 10^{12}$	12,22	$6,92 \cdot 10^{13}$	13,84						
$[\text{Hg}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$			$7,24 \cdot 10^{29}$	29,86	$1,82 \cdot 10^{32}$	32,26	$4,07 \cdot 10^{33}$	33,61				
$[\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$	$5,01 \cdot 10^2$	2,7	$1,35 \cdot 10^5$	5,13	$2,24 \cdot 10^6$	6,35	$1,59 \cdot 10^7$	7,20				
$[\text{Zn}(\text{S}_2\text{O}_3)_4]^{6-}$	$1,95 \cdot 10^2$	2,29	$3,89 \cdot 10^4$	4,59			4,0	0,6				
Фосфатные												
$[\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3]$	$10^3$	3	$2,00 \cdot 10^5$	5,3	$3,98 \cdot 10^7$	7,6						
$[\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_4]^-$	$3,16 \cdot 10^3$	3,5					$1,41 \cdot 10^9$	9,15				
Фторидные												
$[\text{AgF}]$	2,29	0,36										
$[\text{AlF}_6]^{3-}$	$1,26 \cdot 10^7$	7,10	$9,55 \cdot 10^{11}$	11,98	$6,76 \cdot 10^{15}$	15,83	$3,39 \cdot 10^{18}$	18,53	$1,59 \cdot 10^{20}$	20,20	$4,68 \cdot 10^{20}$	20,67
$[\text{CrF}_3]$	$1,59 \cdot 10^5$	5,20	$3,47 \cdot 10^8$	8,54	$1,05 \cdot 10^{11}$	11,02						
$[\text{FeF}_5]^{2-}$	$1,1 \cdot 10^6$	6,04	$5,50 \cdot 10^{10}$	10,74	$5,5 \cdot 10^{13}$	13,74	$5,5 \cdot 10^{15}$	15,74	$1,26 \cdot 10^{16}$	16,10		

Продолжение табл. 8

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
Хлоридные												
$[\text{AgCl}_4]^{3-}$	$1,10 \cdot 10^3$	3,04	$1,74 \cdot 10^5$	5,24	$1,10 \cdot 10^5$	5,04	$1,38 \cdot 10^6$	6,14				
$[\text{BiCl}_6]^{3-}$	$2,69 \cdot 10^2$	2,43	$5,01 \cdot 10^4$	4,7	$1,00 \cdot 10^5$	5,0	$3,98 \cdot 10^5$	5,6	$1,26 \cdot 10^6$	6,1	$2,63 \cdot 10^6$	6,42
$[\text{CdCl}_4]^{2-}$	$1,12 \cdot 10^2$	2,05	$3,98 \cdot 10^2$	2,60	$2,51 \cdot 10^2$	2,40	$7,94 \cdot 10^2$	2,90				
$[\text{FeCl}_2]$	2,29	0,36	2,51	0,40								
$[\text{FeCl}_3]$	28,18	1,45	$1,26 \cdot 10^2$	2,10	12,6	1,10						
$[\text{HgCl}_4]^{2-}$	$5,50 \cdot 10^6$	6,74	$1,66 \cdot 10^{13}$	13,22	$1,18 \cdot 10^{14}$	14,07	$1,66 \cdot 10^{16}$	16,22				
$[\text{PbCl}_4]^{2-}$	41,70	1,62	$2,75 \cdot 10^2$	2,44	$1,10 \cdot 10^2$	2,04	10,0	1,00				
$[\text{SnCl}_4]^{2-}$	32,4	1,51	$1,74 \cdot 10^2$	2,24	$1,07 \cdot 10^2$	2,03	30,20	1,48				
$[\text{SnCl}_6]^{3-}$											6,61	0,82
$[\text{SbCl}_6]^{3-}$			$3,09 \cdot 10^3$	3,49	$1,57 \cdot 10^4$	4,18	$5,25 \cdot 10^4$	4,72	$5,25 \cdot 10^4$	4,72	$1,29 \cdot 10^4$	4,11
Цианидные												
$[\text{Ag}(\text{CN})_4]^{3-}$			$7,08 \cdot 10^{19}$	19,85	$3,55 \cdot 10^{20}$	20,55	$2,63 \cdot 10^{19}$	19,42				
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$	$1,51 \cdot 10^5$	5,18	$3,98 \cdot 10^9$	9,60	$8,32 \cdot 10^{13}$	13,92	$1,29 \cdot 10^{17}$	17,11				
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$											$1,23 \cdot 10^{19}$	19,09
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$											$1,00 \cdot 10^{64}$	64
$[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-}$			$1,00 \cdot 10^{24}$	24,0	$3,98 \cdot 10^{28}$	28,6	$2,00 \cdot 10^{30}$	30,3				
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$											$1,00 \cdot 10^{24}$	24,0
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$											$1,00 \cdot 10^{31}$	31,0
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{18}$	18,00	$5,01 \cdot 10^{34}$	34,70	$3,16 \cdot 10^{38}$	38,53	$3,24 \cdot 10^{41}$	41,51				

Таблица 9

КОМПЛЕКСЫ С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ И ИХ КОНСТАНТЫ УСТОЙЧИВОСТИ ( $\beta$ )

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
Ацетатные ( $L - C H_3 C O O$ ) <sup>-</sup>												
[AgL <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	5,37	0,73	4,37	0,64								
[CdL <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	20,0	1,30	1,91·10 <sup>2</sup>	2,28	2,63·10 <sup>2</sup>	2,42	1,0·10 <sup>2</sup>	2,00				
[CoL <sub>2</sub> ]			85,10	1,93								
[CuL <sub>2</sub> ]	1,74·10 <sup>2</sup>	2,24	2,00·10 <sup>3</sup>	3,30								
[FeL <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	1,59·10 <sup>3</sup>	3,2	1,26·10 <sup>6</sup>	6,1	2,0·10 <sup>8</sup>	8,3						
[HgL <sub>2</sub> ]			2,62·10 <sup>8</sup>	8,43								
[NiL <sub>2</sub> ]	13,2	1,12	64,57	1,81								
[PbL <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	3,31·10 <sup>2</sup>	2,52	8,91·10 <sup>3</sup>	3,95	2,51·10 <sup>6</sup>	6,40	3,16·10 <sup>8</sup>	8,50				
Оксалатные ( $L - C_2 O_4$ ) <sup>2-</sup>												
[AlL <sub>3</sub> ] <sup>3-</sup>	2,0·10 <sup>7</sup>	7,3	1,00·10 <sup>13</sup>	13,0	2,0·10 <sup>16</sup>	16,3						
[CdL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	1,00·10 <sup>4</sup>	4,0	4,57·10 <sup>5</sup>	5,66								
[CoL <sub>3</sub> ] <sup>4-</sup>	5,01·10 <sup>4</sup>	4,7	5,01·10 <sup>6</sup>	6,7	5,01·10 <sup>9</sup>	9,7						
[CuL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	5,01·10 <sup>6</sup>	6,7	2,51·10 <sup>9</sup>	9,4								
[FeL <sub>3</sub> ] <sup>4-</sup>	5,01·10 <sup>4</sup>	4,7			1,66·10 <sup>5</sup>	5,22						
[FeL <sub>3</sub> ] <sup>3-</sup>	2,51·10 <sup>9</sup>	9,4	1,59·10 <sup>16</sup>	16,2	3,98·10 <sup>19</sup>	19,6						
[MgL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	3,55·10 <sup>2</sup>	2,55	2,40·10 <sup>4</sup>	4,38								
[MnL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	6,61·10 <sup>3</sup>	3,82	1,78·10 <sup>5</sup>	5,25								
[NiL <sub>3</sub> ] <sup>4-</sup>	~2·10 <sup>5</sup>	~5,3	~3·10 <sup>6</sup>	6,5	~10 <sup>14</sup>	~14						
[PbL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>			3,47·10 <sup>6</sup>	6,54								
[ZnL <sub>3</sub> ] <sup>4-</sup>	1,0·10 <sup>5</sup>	5,0	2,29·10 <sup>7</sup>	7,36	1,41·10 <sup>8</sup>	8,15						
Салицилатные ( $L - C_6 H_4 (C O O) O$ ) <sup>2-</sup>												
[CuL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	3,98·10 <sup>10</sup>	10,6	2,82·10 <sup>18</sup>	18,45								
[FeL <sub>2</sub> ] <sup>2-</sup>	3,55·10 <sup>6</sup>	6,55	1,78·10 <sup>11</sup>	11,25								

Комплексный ион	$\beta_1$	$\lg \beta_1$	$\beta_2$	$\lg \beta_2$	$\beta_3$	$\lg \beta_3$	$\beta_4$	$\lg \beta_4$	$\beta_5$	$\lg \beta_5$	$\beta_6$	$\lg \beta_6$
$[\text{FeL}_3]^{3-}$	$3,02 \cdot 10^{16}$	16,48	$1,44 \cdot 10^{28}$	25,16	$6,92 \cdot 10^{36}$	36,84						
$[\text{NiL}_2]^{2-}$	$8,91 \cdot 10^6$	6,95	$5,62 \cdot 10^{11}$	11,75								
Сульфосалицилатные ( $\text{L} - \text{C}_6\text{H}_3\text{O}(\text{COO})(\text{SO}_3)^{3-}$ )												
$[\text{AlL}_3]^{6-}$	$1,59 \cdot 10^{13}$	13,20	$6,76 \cdot 10^{22}$	22,83	$7,76 \cdot 10^{28}$	28,89						
$[\text{CuL}_2]^{4-}$	$3,31 \cdot 10^9$	9,52	$2,82 \cdot 10^{16}$	16,45								
$[\text{FeL}_2]^{4-}$	$7,94 \cdot 10^5$	5,90	$7,94 \cdot 10^9$	9,90								
$[\text{FeL}_3]^{6-}$	$1,05 \cdot 10^{15}$	15,02	$5,75 \cdot 10^{25}$	25,76	$3,98 \cdot 10^{32}$	32,60						
$[\text{MnL}_2]^{4-}$	$1,74 \cdot 10^5$	5,24	$1,74 \cdot 10^8$	8,24								
Тартратные ( $\text{L} - (\text{CHOH})_2(\text{COO})_2^{2-}$ )												
$[\text{AlL}_2]^-$			$3,98 \cdot 10^8$	9,6								
$[\text{BaL}]$	$3,47 \cdot 10^2$	2,54										
$[\text{BiL}_2]^-$			$2,00 \cdot 10^{11}$	11,3								
$[\text{CaL}_2]^{2-}$	$9,55 \cdot 10^2$	2,98	$1,02 \cdot 10^9$	9,01								
$[\text{CdL}]$	$5,01 \cdot 10^2$	2,7										
$[\text{CoL}]$	$6,31 \cdot 10^2$	2,8										
$[\text{CuL}_4]^{6-}$	$1,00 \cdot 10^3$	3,0	$1,29 \cdot 10^5$	5,11	$5,75 \cdot 10^5$	5,76	$1,59 \cdot 10^6$	6,20				
$[\text{FeL}_2]^{2-}$			$6,31 \cdot 10^4$	4,8								
$[\text{FeL}_2]^-$	$3,09 \cdot 10^7$	7,49	$7,94 \cdot 10^{11}$	11,9								
$[\text{MgL}]$	22,91	1,36										
$[\text{MnL}]$	$7,94 \cdot 10^2$	2,9										
$[\text{NiL}_2]^{2-}$			$2,51 \cdot 10^5$	5,4								
$[\text{PbL}]$	$6,03 \cdot 10^3$	3,78										
$[\text{SrL}]$	38,90	1,59										
$[\text{ZnL}]$	$1,20 \cdot 10^2$	2,08										



**ВЫЧИСЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ТИТРИМЕТРИЧЕСКИХ  
ОПРЕДЕЛЕНИЙ**

Определяемое вещество	Фактор эквивалентности	Молярная масса эквивалента, г/моль
1	2	3
<b>1. Кислотно основные титрования</b>		
$\text{Ba(OH)}_2$	1/2	85,67
$\text{Ba(OH)}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	1/2	157,73
$\text{HCOOH}$ (муравьиная)	1	46,026
$\text{CH}_3\text{COOH}$ (уксусная)	1	60,052
$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ (янтарная)	1/2	59,045
$\text{H}_2\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (винная)	1/2	75,044
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (щавелевая)	1/2	45,018
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1/2	63,033
$\text{HCl}$	1	36,461
$\text{HNO}_3$	1	63,0128
$\text{H}_2\text{SO}_4$	1/2	49,037
$\text{K}_2\text{CO}_3$ (с фенолфталеином)	1	138,206
$\text{K}_2\text{CO}_3$ (с метиловым оранжевым)	1/2	69,103
$\text{KHCO}_3$	1	100,115
$\text{KOH}$	1	56,1056
$\text{NH}_3$	1	17,0304
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1/2	190,68
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (с фенолфталеином)	1	105,989
$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (с метиловым оранжевым)	1/2	52,9942
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	1/2	143,070
$\text{NaHCO}_3$	1	84,007
$\text{NaOH}$	1	39,9971
<b>2. Методы окисления-восстановления</b>		
$\text{As}_2\text{O}_3$	1/4	49,4604
$\text{BaS}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1	267,48
$\text{Ce}(\text{NH}_4)_4(\text{SO}_4)_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1	632,53
$\text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	404,30
$\text{Fe}(\text{Fe}^{3+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+})$	1	55,847
$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1	392,13
$\text{FeSO}_4$	1	151,90
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1	278,01
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (щавелевая)	1/2	45,018
$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1/2	63,033
$\text{H}_2\text{O}_2$	1/2	17,0073

1	2	3
H <sub>2</sub> S (иодометрически)	1/2	17,04
I <sub>2</sub>	1/2	126,9045
ICl	1/2	81,1785
KBrO <sub>3</sub>	1/6	27,833
KClO <sub>3</sub>	1/6	20,425
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1/3	64,730
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	1/6	49,031
K <sub>3</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	1	329,25
K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub>	1	368,35
K <sub>4</sub> Fe(CN) <sub>6</sub> ·3H <sub>2</sub> O	1	422,40
KIO <sub>3</sub>	1/6	35,6668
KMnO <sub>4</sub>	1/5	31,6068
KNO <sub>2</sub>	1/2	42,552
NaAsO <sub>2</sub>	1/2	69,955
Na <sub>2</sub> HAsO <sub>3</sub>	1/2	84,954
Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1/2	67,000
NaNO <sub>2</sub>	1/2	34,4977
Na <sub>2</sub> S (S <sup>2-</sup> → S <sup>0</sup> )	1/2	39,02
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	1/2	63,02
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	158,10
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O	1	248,18
Аскорбиновая кислота	1/2	88,063
Резорцин (броматометрически)	1/6	18,35
Стрептоцид (броматометрически)	1/4	43,05
Стрептоцид (нитритометрически)	1	172,21
Сульфаминовая кислота	1	97,09
Сульфаниловая кислота	1	209,24
Фенол (броматометрически)	1/6	15,69
<b>3. Методы осаждения и комплексообразования</b>		
AgNO <sub>3</sub>	1	169,873
HBr	1	80,912
HCN (по Мору, Фольгарду, Фаянсу)	1	27,026
HCl	1	36,461
HI	1	127,9124
HNCS (по Фольгарду)	1	59,09
Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·H <sub>2</sub> O	1/2	171,31
Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1/2	280,61
KBr	1	119,002
KCN (по Мору, Фольгарду, Фаянсу)	1	65,116
KCl	1	74,551
K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	1	97,095

1	2	3
KNCS	1	97,18
KI	1	166,0027
NH <sub>4</sub> Cl	1	53,491
NH <sub>4</sub> NCS	1	76,12
NaBr	1	102,894
NaCl	1	58,443
NaI	1	149,8942
<b>4. Методы титрования ЭДТА (этилендиаминтетраацетатом натрия, комплексомом III, трилоном Б)</b>		
BaCl <sub>2</sub>	1	208,24
Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	261,34
Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	1	394,995
BiONO <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O	1	305,000
CaCO <sub>3</sub>	1	100,09
CaCl <sub>2</sub>	1	110,99
CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1	219,08
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	164,09
CaO	1	56,08
CuSO <sub>4</sub>	1	159,60
Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	324,60
MgCl <sub>2</sub>	1	95,211
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	148,314
MgSO <sub>4</sub>	1	120,36
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub> (ЭДТА)	1	336,209
Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O (ЭДТА - дигидрат)	1	372,239
Zn	1	65,38
ZnCl <sub>2</sub>	1	136,29
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1	189,39
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	1	297,48
ZnO	1	81,38
ZnSO <sub>4</sub>	1	161,44
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	1	287,54

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Название индикатора	Интервал рН перехода окраски в воде	Изменение окраски
Метиловый фиолетовый (1-й переход)	0,13-0,5	желтая – зеленая
Метиловый зеленый	0,1-2,0	желтая – зеленая
Метиловый фиолетовый (2-й переход)	1,0-1,5	зеленая – синяя
Тимоловый синий (1-й переход)	1,2-2,8	красная – желтая
Тропеолин 00	1,4-3,2	красная – желтая
Метиловый фиолетовый (3-й переход)	2,0-3,0	синяя – фиолетовая
$\beta$ -Динитрофенол	2,4-4,0	бесцветная – желтая
$\alpha$ -Динитрофенол	2,8-4,4	бесцветная – желтая
Метиловый оранжевый	3,0-4,4	красная – желтая
Бромфеноловый синий	3,0-4,6	желтая – синяя
Конго красный	3,0-5,2	сине-фиолетовая – красная
Ализариновый красный S (1-й переход)	3,7-5,2	желтая – фиолетовая
$\gamma$ -Динитрофенол	4,0-5,4	бесцветная – желтая
Метиловый красный	4,4-6,2	красная – желтая
<i>m</i> -Нитрофенол	5,6-7,6	бесцветная – желтая
Бромтимоловый синий	6,0-7,6	желтая – синяя
Нейтральный красный	6,8-8,0	красная – желтая
Тропеолин 000	7,6-9,0	коричнево-желтая – малиново-красная
Тимоловый синий (2-й переход)	8,0-9,6	желтая – синяя
Фенолфталеин	8,2-10,0	бесцветная – красная
Тимолфталеин	9,4-10,5	бесцветная – синяя
Тропеолин 0	11,0-13,0	желтая – оранжево-коричневая
Индигокармин	11,6-14,0	синяя – желтая
1, 3, 5-Тринитробензол	12,2-14,0	бесцветная – оранжевая

## ХАРАКТЕРИСТИКИ АДсорбционных индикаторов

Название	Определяемые ионы	Титрант	Изменение окраски
Ализариновый красный (ализаринсульфокислота)	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ $\text{SCN}^-$	$\text{Pb}^{2+}$ $\text{Ag}^+$	желтая – розово-красная
Бромфениловый синий (тетрабромфенолсульфоталеин)	$\text{Ti}^+$ $\text{Hg}^{2+}$ $\text{SCN}^-$ $\text{I}^-$ , $\text{Cl}^-$ $\text{Br}^-$	$\text{I}^-$ $\text{Cl}^-$ $\text{Ag}^+$ $\text{Ag}^+$ $\text{Hg}_2^{2+}$	желтая – зеленая сиреневая – желтая фиолетовая – синезеленая
Дифенилкарбазид	$\text{CN}^-$  $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$	$\text{Ag}^+$  $\text{Hg}_2^{2+}$	желто-зеленая – синезеленая бесцветная – фиолетовая
Дифенилкарбазон	$\text{Cl}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{CN}^-$ $\text{Cl}^-$ $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ $\text{SCN}^-$	$\text{Hg}_2^{2+}$ $\text{Ag}^+$ $\text{Ag}^+$ $\text{Ag}^+$	красная – фиолетовая желтая – зеленая розовая – синяя
2,7-Дихлорфлуоресцеин	$\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$	$\text{Ag}^+$	желто-зеленая – розово-красная
Родамин 6Ж (этиловый эфир диэтиламино-о-карбоксифенил-ксантенилхлорида)	$\text{Br}^-$	$\text{Ag}^+$	желто-красная – фиолетовая
Конго красный (Дифенилбис-(1-амино-2-нафтилазо-4-сульфокислота)	$\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$	$\text{Ag}^+$	красно-синяя
Флуоресцеин (резорцинфталейн)	$\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{I}^-$ , $\text{SCN}^-$	$\text{Ag}^+$	желто-зеленая – розовая
Эозин (тетрабромо (R) флуоресцеин)	$\text{I}^-$ , $\text{Br}^-$	$\text{Ag}^+$	оранжевая – краснофиолетовая
Эритрозин (дииодо (R) флуоресцеин)	$\text{I}^-$ $\text{MoO}_4^-$	$\text{Ag}^+$ $\text{Pb}^{2+}$	оранжевая – темно-красная

## ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОХРОМНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Название индикатора	Рациональное название индикатора	Рекомендуется для определения элементов	Интервал перехода окраски, рН	Изменение окраски	
				комплекс с элементом	индикатор
Ализарин (ализариновый красный, сульфоализарин)	1,2-диоксиантрахинон-3-сульфоукислота	Th Sc Y	2,3-3,4 2 5	розовая красная розовая	желтая зеленая желтая
Арсенazo I (уранон)	2-(о-арсенофенилазо)-1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфоукислота	U (IV), Th (IV) Ca, Mg	1,7-3,0 10	синяя фиолетовая	розовая красно-оранжевая
Арсенazo III	1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфоукислота-2,7-бис-(-азо-1)-2-фениларсоновая кислота	U, Th, Zn	сильно кислая	сине-зеленая	красная
Бром-пирогалловый красный	3', 3'' –дибромсульфогаллеин	Bi	2-3	винно-красная	оранжево-желтая
		Pb	5-6	синяя	красная
		Cd, Ni (II)	9,3	синяя	красная
		Mg, Mn	10	синяя	фиолетовая
Глицинкрезолowy красный	3,3' -бис- (N-карбоксиметил аминометил)-о-крезолсульфогфалеин (натриевая соль)	Cu (II)	5-6	красная	желтая
Глицинтимоловы й синий	3,3' -ди- (N-карбоксиметил)аминометил-тимолсульфогфалеин (натриевая соль)	Cu (II)	5-5,5	синяя	желтая или зеленовато-желтая
Дитизон	2-Фенилгидразин-фенилазотио-муравьиная кислота	Pb, Zn, Cd	4,7-5,4	красная	сине-зеленая
		Bi	2,5-5,0	красная	сине-зеленая

Название индикатора	Рациональное название индикатора	Рекомендуется для определения элементов	Интервал перехода окраски, рН	Изменение окраски	
				комплекс с элементом	индикатор
Крезолфталексон	3,3'-бис-( <i>N, N</i> -дикарбоксиметил)аминометил-о-крезолфталеин (натриевая соль)	Ca, Ba, Sr	10-11	пурпуровая	розовая
Ксиленовый оранжевый	3,3'-бис-( <i>N, N</i> -дикарбоксиметил)аминометил тимолсульффталеин	Bi, Fe (III)	1-2	красно-фиолетовая	желтая
		Th	2,5-3,5	красно-фиолетовая	желтая
		Pb, Zn, Cd	5-6	красно-фиолетовая	желтая
		Hg (II), Co Mn, Mg, Ca	10	фиолетовая	серая
Метилтимоловый синий	3,3'-бис-( <i>N, N</i> -дикарбокси-метил)аминометил тимолсульффталеин (натриевая соль)	Pb, Cd, Mn, Zn Hg (II), La, Sc	5-6,5	синяя	желтая
		Pb, Zn, Cd, Mg, Cu, Ca, Ba, Sr	11,5-12,5	синяя	серая или серо-желтая
Морин	2', 3,4', 5,7-пентаоксифлавоин	Ga, Tn	4,5-6	зеленая флуоресц.	флуоресц. гасится
Мурексид	5,5'-нитрилодипурпуровая кислота, аммонийная соль	Mn (II), Ni (II) Co (II), Zn, Cd	9-10	от желтой до красной	фиолетовая
		Ca	>12	от желтой до красной	фиолетовая
Нафтоловый фиолетовый	4-(4-нитрофенилазо) -2-бис-(карбоксиметил) аминометил-1-нафтол	Bi	1-2	красно-фиолетовая	красно-оранжевая
		Cu (II), Zn, Cd, Co (II), Mg, Mn (II)	10-11	красно-фиолетовая	синяя

Название индикатора	Рациональное название индикатора	Рекомендуется для определения элементов	Интервал перехода окраски, рН	Изменение окраски	
				комплекс с элементом	индикатор
ПАН	1 -(2-пиридилазо)-2-нафтол	Cu (II), Zn, Cd	5-7	розово-красная	желтая
		Ni (II)	4	розово-красная	желтая
		Cu (II)	<2,5	розово-красная	желтая
		Bi	1-3	розово-красная	желтая
ПАР	4-(2-пиридилазо)-резорцин	Bi, Tl (III)	1-2	оранжевая или красная	зелено-желтая
		Al, Hg (II)	3		
			6-11		
Прокатехиновый фиолетовый	3,3', 4'-триоксифуксин-2"-сульфоновая кислота	Bi, Th, Ga	2-3	синяя	желтая
		Sn, Pb	4,5-5,5	синяя	желтая
		Fe, Cu (II)	5,5-6,5	синяя	желтая
		Zn, Mg, Cd, Co(II) Mn (II) Ni (II),	9-11	синяя	красно-фиолетовая
Пирогалловый красный	Пирогаллол-сульфоталеин	Bi	2-3	красная	оранжево-желтая
		Pb	5-6	фиолетовая	красная
		Ni (II), Co (II)	9	синяя	красная
Салициловая кислота	о-оксибензойная кислота	Fe (III)	1,8-3	фиолетовая	желтая
Тимолфталеин-комплексон	3,3-бис-(N, N-дикарбокси-метил)-аминометилфталеин (натриевая соль)	Ca, Ba, Sr Ag, Mn (II)	10-11	синяя	б/цв.



Название индикатора	Рациональное название индикатора	Рекомендуется для определения элементов	Интервал перехода окраски, рН	Изменение окраски	
				комплекс с элементом	индикатор
Тиرون	1,2-диоксибензол-3,5-ди-сульфо-кислота (натриевая соль)	Fe (III), Ti (IV)	2-3	синяя	желтая
Флуорексон (флуоресцеин-комплексон, кальцеин)	бис-(N, N-дикарбоксиметил)-аминометил-флуоресцеин (натриевая соль)	Ca, Ba, Sr	>10	желто-зеленая флуоресц. красная или красно-фиолетов.	флуоресц. гасит.; р-р розов. желто-зеленая флуоресц.
		Cu (II), Mn (II)	10-11		
Хромазурол S	3"-сульфо-2", 6"-дихлор-3, 3'-диметил-4-оксифуксон-5, 5'-дикарбоновая кислота	Fe (III), Th, Zr	2-3	красно-фиолетовая или фиолетово-синяя	желтая, оранжевая или желто-зеленая
		Al, Ce, La	4-5		
		Cu (II)	6-6,5		
		Ni (II)	7,5		
		Ca, Mg	10-11		
Эриохромцианин R	2"-сульфо-3, 3'-диметил-4-оксифуксон-5, 5'-дикарбоновая кислота	Zr	1,4	розовая пурпурная	желтая оранжевая
		Th, Fe (III)	2-3		
		Al	5-6	фиолетовая	желтая
		Mg, Cu (II)	10		
		Ca	11,5		
Эриохром черный - Т	1-(1-окси-2-нафтилазо-6-нитро-2-нафтол-4-сульфо-кислота (натриевая соль)	лантаниды	8-9	винно-красная	синяя
		Pb, Zn, Mg Ca, Ba, Mn (II) Fe(III), Cd, Hg(II)	8-10		
СПАДНС	2-(4-сульфофенилазо)-1,8-диоксинафталин-3,6-дисульфо-кислота	Zr	1,5-2,5	пурпурно-розовая сине-фиолетовая	желтая пурпурно-красная
		Th	2,5-3,5		

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Название индикатора	$E_0^h$ при рН = 0	Изменение окраски	
		окисл.	восст.
Сафранин-Т	0,24	красная	бесцветная
Нейтральный красный	0,24	красная	бесцветная
Индигомоносульфоновая кислота	0,26	синяя	бесцветная
Индиготетрасульфоновая кислота	0,37	синяя	бесцветная
Метиленовая синяя	0,53	зеленовато- голубая	бесцветная
2-6- Дихлорфенолиндо- фенол	0,64	синяя	бесцветная
2-6- Дибромбензолиндо- фенол	0,67	синяя	бесцветная
Дифениламин (дифенил- бензидин)	0,76	фиолетовая	бесцветная
Дифениламинсульфоно- вая кислота	0,85	красно- фиолетовая	бесцветная
N-фенилантраниловая ки- слота	1,08	фиолетово- красная	бесцветная
1,10-Фенантролин-Fe (II)- комплекс	1,06	бледно-голубая	красная
Нитро- <i>o</i> -фенантролин- Fe (II)-комплекс	1,25	бледно-голубая	фиолетово- красная

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Алимарин И.П., Ушакова Н.Н.* Справочное пособие по аналитической химии. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 104 с.
2. *Бессероводородные* методы качественного полумикроанализа: Учебное пособие для вузов / А.П. Крешков, К.Н. Мочалов, Ю.Я. Михайленко и др.; Под ред. А.П. Крешкова. – М.: Высш. шк., 1971. – 222 с.
3. *Васильев В.П.* Аналитическая химия: В 2-х ч. – М.: Высш.шк., 1989. – Кн.1. – 319 с.; Кн.2. – 383 с.
4. *Лурье Ю.Ю.* Справочник по аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 447 с.
5. *Основы* аналитической химии: В 2-х кн. Учеб. для вузов / Ю.А. Золотов, Е.Н. Дорохова, В.И. Фадеева и др.; Под ред. Ю.А. Золотова. – М.: Высш. шк., 1996. – Кн.1. – 383 с.; Кн.2. – 461 с.
6. *Скуг Д., Уэст Д.* Основы аналитической химии: В 2-х кн. – М.: Мир., 1979. – Кн.1. – 480 с.; Кн.2. – 430 с.
7. *Пономарев В.Д.* Аналитическая химия: В 2-х ч. – М.: Высш.шк., 1982. – Ч.1. – 304 с; Ч.2. – 303 с.
8. *Практическое* руководство по аналитической химии / Под ред. А.Н. Гайдукевича. – В 3 ч. Ч.1. Качественный анализ, ч.2. Количественный анализ, ч.3. Инструментальные методы анализа. – Х.: Изд-во УкрФА, 1994. – Ч.1. – 193 с., ч.2. – 263 с.; ч.3. – 236 с.
9. *Практикум* по аналитической химии / Под ред. В.Д.Пономарева, Л.И.Ивановой. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.
10. *Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В.* Аналитическая химия: В 2-х кн. – М.: Химия, 1990. – Кн.1. – 480 с.; Кн.2. – 460 с.

### *Дополнительная*

1. *Коренман И.М.* Методы количественного химического анализа. – М.: Химия, 1989. – 124 с.
2. *Коренман И.М.* Новые титриметрические методы. – М.: Химия, 1983. – 176 с.
3. *Крешков А.П.* Основы аналитической химии: В 3-х кн. – М.: Химия, 1976. – Кн.1. – 471 с.; Кн.2. – 479 с.; Кн.3. – 487 с.
4. *Мечковский С.А.* Аналитическая химия. – Минск, 1991. – 333 с.
5. *Москвин Л.Н., Зарицина Л.Г.* Методы разделения и концентрирования в аналитической химии. – Л.: Химия, 1991 – 255 с.
6. *Сигиа С., Ханна Дж.Г.* Количественный органический анализ по функциональным группам. – М.: Химия, 1983. - 672 с.
7. *Янсон Э.Ю., Путнинь Я.К.* Теоретические основы аналитической химии. – М.: Высш.шк., 1980. – 261 с.

*Навчальне видання*

**Болотов** Валерій Васильович  
**Жукова** Тамара Володимирівна  
**Микитенко** Олена Євгенівна  
**Свєчнікова** Олена Миколаївна  
**Сич** Юлія Василівна  
**Костіна** Тетяна Анатоліївна  
**Петухова** Ірина Юріївна  
**Мороз** Валерій Петрович

# **АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ У СХЕМАХ І ТАБЛИЦЯХ**

## **ДОВІДНИК**

Російською мовою

Відповідальний за випуск *Д. Ю. Рубашкін*  
Художник обкладинки *І. М. Величко*

Підписано до друку 19.08.2002. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папір офсетний. Гарнітура Times ET.  
Друк офсетний. Умов. друк. арк. 21,5. Обл.-вид. арк. 22,75. Тираж 1500 прим.

Видавництво Національної фармацевтичної академії України.  
Україна, 61002 Харків, вул. Пушкінська, 53.  
Свідоцтво серії ДК № 33 від 04.04.2000.

Видавництво ТОВ “Золоті сторінки”.  
Україна, 61145 Харків, вул. Космічна, 26.  
Свідоцтво серії ДК № 276 від 12.12.2000.