



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



Кафедра биологии растений и химии

ХИМИЯ

**Теоретический раздел
Лекция
Физико-химические методы анализа**



ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

1. Введение. Классификация ФХМА

Физические и физико-химические (инструментальные) методы анализа

Физико-химические методы анализа, основаны на зависимости физических свойств вещества от его природы, причем аналитический сигнал представляет собой величину физического свойства, функционально связанную с концентрацией или массой определяемого компонента. Физико-химические методы анализа могут включать химические превращения определяемого соединения, растворение образца, концентрирование анализируемого компонента, маскирование мешающих веществ и других.

В отличие от «классических» химических методов анализа, где аналитическим сигналом служит масса вещества или его объем, в физико-химические методы анализа в качестве аналитического сигнала используют интенсивность излучения, силу тока, электропроводность, разность потенциалов и др. Физико-химические методы анализа часто используют при определении низких содержаний (порядка $10^{-3}\%$ и менее), где классические химические методы анализа обычно неприменимы.

В области средних и высоких концентраций химические и физико-химические методы анализа успешно конкурируют между собой, взаимно дополняя друг друга. Физико-химические методы анализа развиваются в направлении поиска новых химических аналитических свойств вещества, увеличения точности анализа, конструирования новых прецизионных аналитических приборов, совершенствования существующих методик и автоматизации анализа.

Интенсивно развивается в последнее время проточно-инжекционный анализ - один из наиболее универсальных вариантов автоматизированного анализа, основанный на дискретном введении микрообъемов анализируемого раствора в поток жидкого носителя с реагентом и последующего детектирования смеси тем или иным физико-химическим методом.

Деление аналитических методов на физические, химические и физико-химические весьма условно. Часто к физико-химическим методам анализа относят, например, ядерно-физические методы. В последнее время наметилась тенденция делить методы анализа на химические, физические и биологические - вовсе без физико-химических.

Инструментальные методы - методы анализа, основанные на использовании специальных приборов, измеряющих физические характеристики веществ. Физические методы основаны на прямом измерении физических характеристик анализируемого вещества. Физико-химические методы основа-



ны на применении химических реакций, в результате которых изменяются физические характеристики какого-либо участника реакции. Инструментальные методы широко используются для анализа органических и неорганических веществ при решении многих проблем химии, биологии, технологии, экологии.

По чувствительности и селективности они близки химическим методам анализа, могут использоваться как для качественного, так и для количественного анализа.

Преимуществами инструментальных методов анализа по сравнению с химическими является небольшая продолжительность анализа и малый объем пробы, необходимый для исследования.

Однако оборудование, которое при этом используется, как правило, имеет большую стоимость, необходима высокая профессиональная подготовка химика-аналитика, работающего на этих приборах.

Недостатком инструментальных методов является необходимость предварительной калибровки прибора, то есть нахождения зависимости измеряемого прибором сигнала от концентрации анализируемого вещества.

По методу измерения, лежащему в основе анализа, инструментальные методы анализа можно разделить на следующие группы:

- спектральные (оптические)
- хроматографические
- электрохимические
- радиофизические
- радиометрические
- масс-спектроскопические и др.

По диапазону определяемых концентраций различают:

макрометоды 1-100%

полумикрометоды 0,1 – 1%

микрометоды 10^{-6} – 0,1%

ультрамикрометоды 10^{-9} – 10^{-6} %

По объему пробы, необходимой для анализа:

макрометоды (0,1 – 1) г; (0,1 – 10) мл

полумикрометоды (0,01 – 0,1) г; (0,1 – 1) мл

микрометоды (10^{-3} – 0,01) г; (0,01 – 0,1) мл

ультрамикрометоды (10^{-9} – 10^{-6}) г; (10^{-3} – 10^{-4}) мл

Инструментальные методы анализа характеризуются следующими показателями:

Чувствительность (предел обнаружения) - наименьшая концентрация анализируемого вещества, определяемая данным методом с доверительной вероятностью 0,95.



Селективность (разрешающая способность) - способность метода отличать один аналитический сигнал от другого.

Воспроизводимость - степень совпадения нескольких параллельных результатов; выявляет случайные ошибки.

Правильность (точность) - степень совпадения полученных результатов с истинными значениями; выявляет систематические ошибки.

2. Единицы измерения

В физико-химических методах анализа применяется все единицы измерения, применяемые в классическом анализе. Однако широкий диапазон измеряемых концентраций, масс и объёмов привёл к необходимости использования дополнительных единиц измерения, отличающихся в основном десятичными приставками.

Приведенные в этом параграфе единицы применяются обычно для твёрдых проб. Для жидких и газообразных проб обычно применяются единицы, описанные в следующем параграфе.

Процентоподобные величины

а) Промилле (‰) – показывают число массовых частей не на 100 частей пробы, а на 1000. Считаются как обыкновенные проценты, но вместо умножения на 100% умножают на 1000‰.

Множитель чисел	приставка		
	наименование	обозначение	
		рус..	межд.
10^{18}	экса	Э	E
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санتي	с	c
10^{-3}	мили	м	m
10^{-6}	микро	мк	μ (u)
10^{-9}	нано(мили-микро)	н(ммк)	n (mμ, mu)
10^{-12}	пико	п	p (μμ)
10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-18}	атто	а	a



б) миллиграмм-проценты (мг%) и микрограмм-проценты (мкг%) - показывают, в отличие от обычных процентов, не число грамм на 100 грамм пробы, а число милли- или микрограмм, соответственно. Для расчёта миллиграмм-процентов необходимо массу компонента в миллиграммах разделить на массу пробы в граммах и умножить на 100%. По правилам сокращения единиц измерения эту единицу следовало бы называть "миллипроцент" и обозначать "м%", но традиционно используется не совсем правильное название. Микрограмм-проценты считаются точно так же, только масса компонента берётся в микрограммах. Миллиграмм- и микрограмм-проценты полностью эквивалентны иногда применяемым единицам "мг/100г" и "мкг/100г". Соотношение между процентоподобными величинами: $1\% = 10\% = 1000\text{мг}\% = 1000000\text{мкг}\%$

В англоязычной литературе для обозначения малых содержаний обычно применяются миллионные доли или части на миллион ppm (parts per million), части на миллиард ppb (parts per billion - это англоязычное название миллиарда), части на триллион ppt (parts per trillion). Чтобы рассчитать эти величины, достаточно массу компонента разделить на массу пробы в одинаковых единицах измерения и перенести запятую вправо на 6 позиций для расчёта миллионных долей, на 9 и 12 позиций для расчёта миллиардных и триллионных долей, соответственно.

Биллион — слово, не используемое в российской системе наименования чисел, в других **системах наименования чисел** является как число с:

- 9 нулями ($1\ 000\ 000\ 000=10^9$, **тысяча миллионов**) в **системе наименования чисел с короткой шкалой**;
- 12 нулями ($1\ 000\ 000\ 000\ 000=10^{12}$, **миллион миллионов**) в **системе наименования чисел с длинной шкалой**.

В некоторых странах, использующих систему наименования чисел с короткой шкалой, в том числе и в России^[1], название «биллион» не используется, а числа с 9 и 12 нулями называются соответственно «**миллиард**» и «**триллион**».

	Короткая шкала	Длинная шкала	Россия
10^9	биллион	миллиард	миллиард
10^{12}	триллион	биллион	триллион

По сути, эти величины являются простой безразмерной массовой долей с перенесенной для удобства записи запятой. Эти величины обычно переносятся в русскоязычную литературу без перевода. В русскоязычной литературе для обозначения малых содержаний обычно применяются единицы измерения типа (масса компонента)/(масса пробы), обычно мг/кг и мкг/кг. Для их



расчёта массу компонента в мили- или микрограммах соответственно делят на массу пробы в килограммах.

Так как 1кг равен 1000г или 1000000мг, то 1 мг равен одной миллионной от килограмма. Поэтому существует простое соотношение между русскоязычными и англоязычными единицами измерения малых содержаний: 1мг/кг = 1ppm. Аналогично 1мкг/кг = 1ppb; 1нг/кг = 1ppt.

Общее соотношение между единицами: 0,01(это массовая доля) = 1% = 10‰ = 1000мг% = 10⁶мкг% = 10⁴ppm = 10⁴мг/кг = 10⁷ppb = 10⁷мкг/кг = 10¹⁰ppt = 10¹⁰нг/кг

Запоминать это и последующие соотношение не нужно, их следует выводить из анализа размерности (мг/кг, мкг/кг, нг/кг) и определения единиц (% , ‰, мг%, ppm, ppb, ppt). Определение перечисленных единиц следует запомнить.

3. Единицы измерения концентрации растворов

В физико-химическом анализе преимущественно применяются единицы типа титра (масса компонента / объём раствора). Наиболее часто применяются мг/л. Перевод между различными единицами осуществляется на основе знания десятичных приставок. Небольшая разница между 1л и 1дм³, 1мл и 1см³, 1мл и 1мм³ не учитывается.

0.001г/мл = 1г/л = 1000мг/л = 1000000мкг/л = 1мг/мл = 1000мкг/мл = 1мкг/мкл

Также применяется молярная и нормальная концентрация с различными десятичными приставками:

$$1\text{ моль/л} = 1000\text{ ммоль/л} = 1000\text{ моль/м}^3$$

$$1\text{ гэкв/л} = 1000\text{ мгэкв/л}$$

Изредка применяется такие единицы, как г/100мл, мг/100мл, мкг/100мл; моль/100мл, ммоль/100мл и т.п., которые называются масс-объёмными процентами, миллиграмм-объёмными процентами, моль-объёмными процентами и т.п. При этом иногда используется обозначения типа:

$$1\% (\text{w/v}) = 1\% (\text{масса/объём}) = 1\text{ г}/100\text{ мл} = 10\text{ г/л};$$

$$1\text{ моль}/100\text{ мл} = 10\text{ моль/л}$$

При расчётах с использованием редко используемых объёмных процентов следует учитывать, что в случае жидких растворов сумма процентных содержаний всех компонентов не равна точно 100%, так как при смешивании жидкостей суммарный объём не совсем точно равен сумме объёмов компонентов. $W(\%, \text{об.}) = V(\text{компонент}) / V(\text{раствор})$

Для выполнения расчётов с объёмными процентами (например, чтобы перевести их в моль/л и мг/л) необходимо знать плотность компонента.



4. Международные единицы активности витаминов и ферментов

Количество многих биологических веществ часто выражают в так называемых международных единицах "МЕ" (international units - IU). Величина массы или количества молей, приходящихся на 1МЕ, зависит от конкретного вещества.

Например, для витамина А 1МЕ соответствует 0,3 мкг ретинола или 0,344 мкг ретинолацетата; для витамина Е 1МЕ соответствует 1мг полностью рацемического синтетического токоферолацетата, для витамина D 1МЕ соответствует 0,025 мкг эргокальциферола или холекальциферола, имеющих природную конфигурацию хиральных центров.

Подобные единицы измерения первоначально возникают, когда исследователи сталкиваются с каким-нибудь новым биологически активным веществом. Например, заметили, что некоторые продукты способны предотвращать рахит. Предположили, что в этих продуктах присутствует некоторое предотвращающее рахит вещество, и назвали его витамином D. Название дали задолго до того, как какое-либо конкретное вещество было выделено и охарактеризовано.

Пока вещество не выделено, измерить его в молях или миллиграммах невозможно. Невозможно взять навеску для приготовления стандартного раствора. Чтобы хоть как-то сравнивать различные продукты, химики и диетологи договорились считать, что если некоторое количество продукта способно при ежедневном скармливании предотвратить развитие рахита у одного молодого самца крысы определённого возраста и веса, то в этой порции содержится 1 МЕ витамина D. Спустя много лет трудом многих исследователей выделяют и охарактеризовывают соединения, обладающие D-витаминной активностью, и узнают, какие же именно количества этих веществ соответствуют 1МЕ витамина D. Но так как во всей обширной литературе к тому времени витамин D измеряется в МЕ, то единица сохраняется. Точно так же в современных исследованиях, когда сталкиваются с новой биологической активностью каких-либо образцов, первоначально придумывают для гипотетического вещества определение международной единицы. И измеряют концентрацию нового вещества в МЕ биологическими тестами на крысах, или мышах, или мухах-дрозофилах, или холерных вибрионах, или ствольных клетках, или шимпанзе и т.д., в соответствии с определением МЕ для данной активности.

МЕ применяются преимущественно в биологических тестах, которые не являются темой настоящих методических указаний. МЕ может определяться не только на основе биотеста. Например, для измерения количества каталаз и пероксидаз (группа ферментов, разлагающих перекись водорода) за 1 МЕ



приняли такое количества фермента, которое способно при реакции с избытком перекиси водорода выделять кислород со скоростью 1 мл/мин.

Во многих случаях медицинские препараты, содержание компонентов в которых приводится в МЕ, анализируют физико-химическими методами. При этом массу вещества, соответствующего 1 МЕ, химики-аналитики обычно берут из справочной литературы.

Задача 1. Озолили 0,5 г зерна мокрым способом. Раствор перелили в мерную колбу на 25 мл и довели до метки. В этом растворе концентрация кадмия оказалась 0.002 мг/л. Определите содержание кадмия в зерне в процентах, промилле, мг%, мг/кг, мкг/кг, нг/кг, ppm, ppb, ppt.

Решение:

сразу найдём массу вещества во всей порции, при этом нужно внимательно следить за единицами измерения

$$25\text{мл} = 0,025\text{л}$$

$$0,025\text{л} \cdot 0,002\text{мг/л} = 0,00005\text{мг}$$

При расчёте процентов и промилле массы компонента и пробы должны иметь строго одинаковые единицы измерения.

$$0,5\text{г} = 500\text{ мг}$$

$$\omega_{\text{Cd},\%} = 0,00005\text{мг} / 500\text{мг} \cdot 100\% = 0,00001\%$$

$$\omega_{\text{Cd},\text{‰}} = 0,00005\text{мг} / 500\text{мг} \cdot 1000\text{‰} = 0,0001\text{‰}$$

Миллиграмм-проценты (мг%) - единица измерения, показывающая количество миллиграммов вещества на 100 г пробы, для её расчёта массу компонента в миллиграммах делят на вес пробы в граммах и умножают на 100%:

$$\omega_{\text{Cd},\text{мг}\%} = 0,00005\text{мг} / 0,5\text{г} \cdot 100\% = 0,01\text{мг}\%$$

Теперь рассчитаем мг/кг, мкг/кг, нг/кг. Для этого массу загрязнителя в соответствующих единицах массы делят на массу пробы в килограммах.

$$0,00005\text{мг} = 0,05\text{мкг} = 50\text{нг}; \quad 0,5\text{г} = 0,0005\text{кг}$$

$$\omega_{\text{Cd},\text{мг/кг}} = 0,00005\text{мг} / 0,0005\text{кг} = 0,1\text{мг/кг}$$

$$\omega_{\text{Cd},\text{мкг/кг}} = 0,05\text{мкг} / 0,0005\text{кг} = 100\text{мкг/кг}$$

$$\omega_{\text{Cd},\text{нг/кг}} = 50\text{нг} / 0,0005\text{кг} = 100000\text{ нг/кг}$$

Теперь рассчитаем массовую долю и переведём в её в миллионные доли ppm (parts per million), миллиардные ppb (parts per billion), и триллионные ppt (parts per trillion).

$$\frac{0,00005\text{ мг}}{500\text{ мг}} = 0,0000001 = \frac{0,1}{1000000} = 0,1\text{ ppm} =$$

$$= \frac{100}{1'000'000'000} = 100\text{ ppb} = \frac{100'000}{10^{12}} = 100000\text{ppt}$$



ppm, ppb и ppt можно рассчитать найти и по другому. Так как $1\text{ кг} = 1000\text{ г}$, а $1\text{ г} = 1000\text{ мг}$, то $1\text{ кг} = 1'000'000\text{ мг}$. Так как в 1 кг содержится $1'000'000\text{ мг}$, то $1\text{ мг/кг} = 1\text{ ppm}$. То есть мг/кг просто соответствуют ppm. Аналогично мкг/кг соответствует ppb, а нг/кг - ppt.

Ответ: $\omega_{\text{Cd}} = 0,00001\% = 0,0001\% = 0,01\text{ мг}\% = 0,1\text{ мг/кг} = 0,1\text{ ppm} = 100\text{ мкг/кг} = 100\text{ ppb} = 100000\text{ нг/кг} = 100000\text{ ppt}$.

Задача 2.

Для определения селена сожгли в кислороде навеску биоматериала 5 г. Продукты сгорания поглотили щелочью, щелочной раствор довели до 10 мл. В полученном растворе (в него перешёл весь селен из пробы) оказалось $1,12 \cdot 10^{-6}$ моль/л селена. Найдите содержание селена в пробе в %, мг/кг, ppm.

Решение:

Сразу найдём количество моль селена во всей порции:

$1,12 \cdot 10^{-6}$ моль/л \cdot 0,01 л = $1,12 \cdot 10^{-8}$ моль (здесь сразу перевели миллилитры в литры, чтобы сократить размерность). Теперь моли переводим в граммы и миллиграммы:

$$1,12 \cdot 10^{-8} \text{ моль} \cdot 78,96 \text{ г/моль} = 8,844 \cdot 10^{-7} \text{ г} = 8,844 \cdot 10^{-4} \text{ мг}$$

Теперь находим содержание:

$$\omega_{\text{Se}, \%} = 8,844 \cdot 10^{-7} \text{ г} / 5 \text{ г} \cdot 100\% = 1,769 \cdot 10^{-5}\%$$

$$\omega_{\text{Se}, \text{ мг/кг}} = 8,844 \cdot 10^{-4} \text{ мг} / 0,005 \text{ кг} = 0,1769 \text{ мг/кг}$$

Так как в килограмме ровно миллион миллиграммов, то количество мг/кг равно числу ppm. $\Rightarrow \omega_{\text{Se}, \text{ ppm}} = 0,1769 \text{ ppm}$.

Ответ: $\omega_{\text{Se}} = 1,769 \cdot 10^{-5}\% = 0,1769 \text{ мг/кг} = 0,1769 \text{ ppm}$.

1. При анализе на металлы озолили пробу весом 0,5 г. и раствор золы в кислоте довели до 50 мл. Из них взяли 1 и снова развели до 50 мл. В этом растворе оказалось $T(\text{K})=1$ мг/л. Какое содержание K в пробе в процентах, мг/кг, ppm, ppb.

2. При анализе на металлы озолили пробу весом 1 г. и раствор золы в кислоте довели до 25 мл. В этом растворе оказалось $T(\text{Hg})=0,01$ мг/л. Какое содержание Hg в пробе в процентах, мг/кг, ppm, ppb.

3. При анализе на металлы озолили пробу весом 0,25 г. и раствор золы в кислоте довели до 100 мл. В этом растворе оказалось $T(\text{Fe})=0,1$ мг/л. Какое содержание Fe в пробе в процентах, мг/кг, ppm, ppb.



Расчеты по химическим методам анализа

1. Титриметрия



Вычислить нормальность раствора HCl , если на титрование 20 см^3 его израсходовано $19,2 \text{ см}^3$ $0,1\text{N}$ раствора NaOH . Здесь первое, что нужно сделать – записать уравнение реакции: $\text{HCl} + \text{KOH} \rightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$

Потом вступает в силу закон эквивалентов: $V_{\text{в-ва}} \cdot N_{\text{в-ва}} = V_{\text{титранта}} \cdot N_{\text{титранта}}$

Для прямого титрования получаем значение концентрации вещества сразу, для обратного титрования и титрования заместителя придется разбить процесс на этапы и немного модифицировать формулу. Что важно, для всех видов титрования (кислотно-основного, осадительного, комплексометрического, окислительно-восстановительного) расчеты абсолютно аналогичны. Единственное, следует помнить, что число эквивалентности для веществ, участвующих в окислительно-восстановительных реакциях, определяется числом электронов, принимающих участие в реакции.

2. Гравиметрия

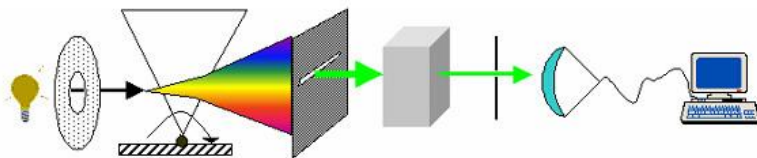


При гравиметрическом определении фосфора в анализируемом образце фосфата получили массу гравиметрической формы $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$, равную $0,4895\text{г}$. Рассчитайте содержание фосфора в образце в пересчете на P_2O_5 . Опять же пишем уравнение реакции, можно просто схему: $\text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow \text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Определяем гравиметрический фактор, как отношение молекулярной массы определяемого вещества к молекулярной массе гравиметрической формы, учитывая стехиометрические коэффициенты в уравнении. Далее рассчитываем массу вещества по формуле: $m(\text{X}) = F \cdot m(\text{ГФ})$.



Расчеты по ФХМА



Для определения концентрации анализируемого вещества по экспериментальным данным используется несколько методик.

1. Расчётные

- прямые методы. Значение аналитического сигнала (A_x) сразу пересчитывается в концентрацию C_x .

$$C_x = f(A_x).$$

Формулы пересчета специфичны для каждого метода.

- метод добавок. Снимается значение A_x , затем к исследуемому образцу прибавляется аликвота раствора с известной концентрацией определяемого компонента $C_{ст}$.

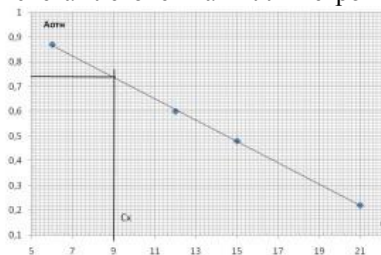
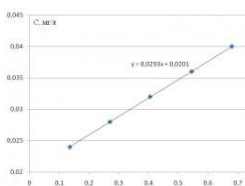
$$C_x = C_{ст} \frac{A_x}{A_{x+ст} - A_x}.$$

- метод одного стандарта. Фиксируются значения аналитического сигнала стандартного раствора $A_{ст}$ и исследуемого A_x .

$$C_x = C_{ст} \frac{A_x}{A_{ст}}.$$

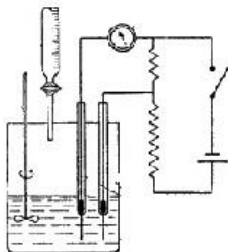
2. Градуировочный график

Измеряются значения аналитического сигнала для нескольких стандартных растворов, строится градуировочный график в координатах $C_{ст} - A_{ст}$, как правило, линейный. Затем измеряется A_x и по графику определяется значение концентрации. Естественно, график лучше строить в Excel, причем, в координатах $A_{ст} - C_{ст}$, тогда по уравнению линии тренда можно сразу рассчитать C_x без дополнительных построений и счета клеточек на миллиметровке.



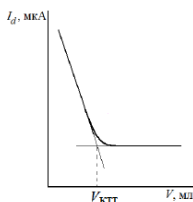


3. Титрование

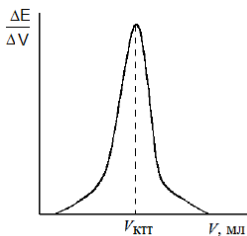


Многие электрохимические методы анализа (кондуктометрия, амперометрия, кулонометрия, потенциометрия) проводят в режиме титрования – в систему постепенно добавляется (или генерируется внутри системы) титрант, одновременно фиксируется изменение аналитического сигнала. На выходе получается набор данных, по которым нужно построить кривую титрования и определить конечную точку титрования (КТТ).

В случае кондуктометрического, амперометрического, кулонометрического титрования это можно сделать по исходной (интегральной) кривой титрования.



А в случае потенциометрического титрования лучше построить дифференциальную кривую.



Хочется отметить, что большинство способов определения концентрации в ФХМА универсальны, т.е. если вы рассчитываете C_x по градуировочному графику, то абсолютно не важно, используете ли вы данные фотометрическо-



го, люминисцентного или потенциометрического анализа. Исключение – прямые методы.

Условия задач по ФХМА могут выглядеть очень громоздкими из-за детального описания этапов приготовления исследуемого раствора (растворение навески, разбавление, отбор аликвот). В таких случаях нужно сначала определить концентрацию по одной из предложенных методик, а потом учесть все разбавления, используя навыки, полученные при решении базовых задач.

В заключение, порекомендуем следующие пособия, там есть и теоретический материал, и подробные примеры решения задач: Харитонов Ю.А., Григорьева В.Ю. Примеры и задачи по аналитической химии. ГОЭТАР-Медиа, 2008.

Таблица 2

Выбор светофильтра по цвету раствора

Цвет раствора	Область поглощения лучей раствором, нм	Цвет светофильтра
1	2	3
Желто-зеленый	400-450	Фиолетовый
Желтый	450-480	Синий
Оранжевый	480-490	Зелено-синий
Красный	490-500	Сине-зеленый
Пурпурный	500-560	Зеленый
Фиолетовый	560-575	Желто-зеленый
Синий	575-590	Желтый
Зелено-синий	590-625	Оранжевый
Сине-зеленый	625-700	Красный



ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Ахметов, Н. С. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Н. С. Ахметов. – М.: Высш. шк., 2006. – 743. .
2. Барковский, Е. В. Аналитическая химия: Учеб. пособие/ Е. В. Барковский. – Мн.: Высш. шк., 2004. – 351 с.
3. Барковский, Е. В. Введение в химию биогенных элементов и химический анализ: Учеб. пос./ Е. В. Барковский, С. В. Ткачев и др. – М.: Высш. шк., 1997. –126 с.
4. Болдырев, А. И. Физическая и коллоидная химия. – М.: Высш. шк., 1983.
5. Гольбрайх, З. Е. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие/ З. Е. Гольбрайх.–М.:ООО «Издательство Астрель»,2004.–383с
6. Грандберг, И.И. Органическая химия: Учеб. для студ. вузов обучающихся на агрономических специальностях/ И. И. Грандберг. – М.: Дрофа, 2004. –672 с.
7. Князев Д. А. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Д. А. Князев, С. Н. Смартыгин. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
8. Руководство к изучению курса “Общая и неорганическая химия”: Пособие для студентов нехимических специальностей / И. Е. Шиманович [и др.]; под ред. И.Е. Шимановича. – 3-е изд. – Минск: РИВШ, 2008. – 112 с.
9. Химия. Лабораторный практикум: учеб. пособие/А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная, И. В. Ковалева, Т. В. Булак.–Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 320 с.
10. Угай Я. А. Общая и неорганическая химия: Учебник для вузов/ Я. А. Угай. 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2004. – 440 с.
11. Химия: учебно-методический комплекс: Учебно-методическое пособие / О. В. Поддубная, И.В. Ковалева и др. – Горки: БГСХА, 2011. – 452 с. ISBN 978-985-467-359-2
12. Хмельницкий, Р. А. Физическая и коллоидная химия: Учебник для вузов/ Р. А. Хмельницкий. – М.: Высш. шк., 1988.
13. Цитович, Н. К. Курс аналитической химии: Учебник для вузов/ Н. К. Цитович. – М.: Высш. шк., 1987. – 403 с.
14. Цыганов, А. Р. Сборник задач и упражнений по химии: Учеб. пособие / А. Р. Цыганов, О. В. Поддубная. – Минск: ИВЦ Минфина, 2013. – 236 с.
15. Щербина, А.Э. Органическая химия. Задачи и упражнения: Учеб. пособие / А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич, И.В. Сенько. – Минск : Новое знание, 2007. – 304 с.

Дополнительная

1. Белясова, Н.А. Биохимия и молекулярная биология: Учеб. пособие/ Н.А. Белясова. – Минск: Книжный дом, 2004. – 416 с.
2. Введение в лабораторный практикум по неорганической химии: Учеб. пособие / В.В. Свиридов, Г.А.Попкович и др. – Мн : Выш. шк., 2003. – 96 с.
3. Дорохова, Е. Н. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа: Учебник для почвенно-агрохимических специальностей / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Высш. шк., 1991. – 354 с.
4. Жарский, И. М.Теоретические основы химии: сборник задач: Учеб. пособие. – Минск.: Аверсев, 2004. – 397 с.
5. Практикум по общей и биоорганической химии: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. В. А. Попкова. – 3-е изд. – М.: Изд. центр «Академия», 2008. – 240 с.
6. Слесарев, В. И. Химия: основы химии живого: Учебник для вузов / В. И. Слесарев. – СПб: Химиздат, 2001. – 784 с.
7. Степин, Б. Д. Неорганическая химия: Учебник для вузов/ Б. Д. Степин, А.А. Цветков. – М.: Высш. шк., 1994. – 608 с.

Справочники:

1. Краткий химический справочник. – М.: Химия, 1977.



Учреждение образования
«Белорусская государственная
орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия»



2. Кольман, Я. Наглядная биохимия: Пер. с нем/ Я.Кольман, К.Г. Рем. – М.: Мир, 2000. – 469 с.
3. Лидин, Р.А. Химические свойства неорганических веществ/ Под ред. Р.А. Лидина. – 5-е изд., стер. – М.: КолосС, 2008, – 480 с.

Составитель
Поддубная Ольга Владимировна