

А.Н. Трифонова И.В. Мельситова

Аналитическая ХИМИЯ

Лабораторный практикум



А.Н. Трифонова
И.В. Мельситова

Аналитическая химия

Лабораторный практикум

*Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений
высшего образования
по химическим специальностям*



Минск
«Вышэйшая школа»
2013

УДК 543(075.8)
ББК 24.4я73
Т69

Рецензенты: кафедра аналитической химии УО «Белорусский государственный технологический университет»; доцент кафедры химии УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» кандидат химических наук *Ф.Ф. Лахвич*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства

Трифонова, А. Н.

Т69 Аналитическая химия. Лабораторный практикум : учеб. пособие / А. Н. Трифонова, И. В. Мельситова. – Минск : Выш. шк., 2013. – 160 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2246-4.

Рассматриваются основные теоретические положения качественного и количественного анализа, химические методы обнаружения и определения неорганических веществ. Приводятся схемы систематического анализа, а также важнейшие качественные реакции катионов и анионов. Дается описание хода лабораторных работ по бумажной хроматографии, гравиметрическому и титриметрическому методам.

Для студентов учреждений высшего образования по химическим специальностям. Может быть полезна студентам по фармацевтическим, медицинским, сельскохозяйственным специальностям.

Учебное издание

**Трифонова Анна Николаевна
Мельситова Инна Владимировна**

**АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ
Лабораторный практикум**

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Малышева*. Художественный редактор *Т.В. Шабунько*. Технический редактор *Н.А. Лебедевич*. Корректор *В.И. Аверкина*. Компьютерная верстка *Ю.Н. Трусевич*

Подписано в печать 22.08.2013. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,3. Уч.-изд. л. 9,84. Тираж 500 экз. Заказ

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».

ЛИ № 02330 / 0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Красная звезда». ЛП № 02330/0552716 от 03.04.2009.

1-й Загородный пер., 3, 220073, Минск

**УДК 543(075.8)
ББК 24.4я73**

ISBN 978-985-06-2246-4

© Трифонова А.Н., Мельситова И.В., 2013

© Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”, 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Аналитическая химия – это наука, разрабатывающая теоретические основы и методы химического анализа. Главной практической задачей аналитической химии является определение состава веществ и их смесей.

Изучение аналитической химии играет важную роль в системе подготовки студентов-химиков – будущих технологов, экологов, фармацевтов, исследователей. Знание теории и практики химического анализа необходимо им как для последующего изучения ряда общих дисциплин (физической химии, физико-химических методов анализа, коллоидной химии), так и для будущей профессиональной деятельности. Аналитическая химия лежит в основе исследований состава синтезированных веществ, определения равновесных концентраций в различных физико-химических процессах. Владение химическими методами анализа необходимо для осуществления контроля качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции в химической и фармацевтической промышленности. Без аналитической химии невозможно существование службы экологического мониторинга.

Данное пособие разработано в помощь студентам учреждений высшего образования при выполнении лабораторного практикума в рамках дисциплины «Аналитическая химия». В нем кратко рассматриваются основные теоретические положения качественного и количественного анализа, химические методы обнаружения и определения неорганических веществ, приводятся схемы систематического анализа катионов и анионов, важнейшие качественные реакции. Дается непосредственное описание хода лабораторных работ по бумажной хроматографии, гравиметрическому и титриметрическому методам анализа. Большой объем учебного материала представлен в виде схем и таблиц, удобных для их использования и самостоятельного выполнения студентами практических заданий.

Пособие построено таким образом, чтобы стимулировать студентов к самостоятельному и осознанному изучению предмета. Им предстоит выполнить определенные задания самостоятельно, например предложить схему определения, вывести формулу для расчета, а также ответить на контрольные вопросы. В пособие включены справочные таблицы для решения задач, а также список дополнительной литературы, которая будет полезна при углубленном изучении аналитической химии.

Учебное пособие предназначено для студентов химических специальностей. Оно может быть полезно также при изучении курса аналитической химии в учреждениях высшего образования фармацевтического, медицинского, сельскохозяйственного, экологического профиля.

Авторы выражают искреннюю признательность доктору химических наук, профессору С.М. Лещеву и доктору химических наук, профессору С.А. Мечковскому за ценные рекомендации и замечания, высказанные при написании данного пособия, а также рецензентам – коллективу кафедры аналитической химии УО «Белорусский государственный технологический университет» (особо старшему преподавателю кандидату химических наук Т.Н. Зиньковой) и доценту кафедры химии УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка» кандидату химических наук Ф.Ф. Лахвичу – за ценные советы и замечания, способствовавшие улучшению содержания книги.

Все отзывы и предложения просьба направлять по адресу: издательство «Вышэйшая школа», проспект Победителей, 11, 220048, Минск.

Авторы

1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА И ТЕХНИКА РАБОТЫ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

1.1. Организация рабочего места и техника безопасности

Организация рабочего места

1. Работать в химической лаборатории необходимо в халате.
2. В лаборатории запрещается принимать пищу, курить, включать и выключать рубильники и трогать приборы, не относящиеся к выполняемой работе.
3. Рабочее место необходимо содержать в чистоте. Рассыпанные или разлитые реактивы следует немедленно убрать и нейтрализовать.
4. Учебные и методические пособия, рабочие тетради и лабораторные журналы, предназначенные для выполнения работы, не должны находиться на лабораторном столе.
5. Реактивы, предназначенные для общего пользования, нельзя уносить на свое рабочее место. Пипетки, служащие для взятия реактивов, и пробки от склянок после взятия требуемого количества реактива необходимо немедленно возвращать на место.
6. Сухие реактивы следует брать чистым шпателем или специальной стеклянной ложечкой.
7. Неиспользованный избыток реактива нельзя выливать обратно в склянку с реактивом.
8. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, выключить все электроприборы, выключить воду, газ и вытяжную вентиляцию.

Техника безопасности в аналитической лаборатории

1. При работе с химическими реактивами необходимо соблюдать осторожность и аккуратность. Особенно это относится к растворам кислот и щелочей.
2. При разбавлении концентрированных растворов кислот (особенно серной) и щелочей следует небольшими порциями вливать реагент в воду, а не наоборот, тщательно перемешивая раствор. Во избежание попадания паров и брызг кислот и щелочей в глаза работу следует выполнять в специальных очках.
3. Отработанные химические реактивы следует сливать в специальную емкость для отходов реактивов, находящуюся в лаборатории в вы-

тяжном шкафу. Запрещается сливать реактивы и продукты реакции в канализацию.

4. После использования серебросодержащих реактивов их следует выливать в специальную емкость для отходов серебра.

5. Следует избегать попадания реактивов на открытые участки кожи, а также тщательно мыть руки по окончании работы.

6. Все опыты, связанные с применением или образованием газообразных ядовитых веществ, а также паров вредных и резко пахнущих соединений, проводятся только в вытяжном шкафу. В случае отключения вытяжной вентиляции работы в вытяжном шкафу должны быть немедленно прекращены.

7. Нагревание растворов в пробирке следует проводить на водяной бане. При этом необходимо постоянно поддерживать достаточное количество воды в резервуаре бани.

8. При нагревании растворов следует пользоваться держателями и следить за тем, чтобы отверстие пробирки не было обращено в сторону самого работающего или соседа по рабочему столу.

9. Не следует наклоняться над сосудом, в котором происходит нагревание или кипение жидкости, во избежание попадания брызг в лицо и глаза.

10. Запах паров или выделяющегося газа следует определять не вдыханием их непосредственно из рабочего сосуда, а легким движением руки направлять парь к себе и осторожно вдыхать.

11. Работу с горючими и легковоспламеняющимися веществами следует проводить только вдали от огня и электронагревательных приборов.

12. Запрещается загромождать проходы, выходы, а также подступы к средствам пожаротушения и электрооборудованию.

13. Запрещается курить, бросать в мусорные корзины спички, окурки и прочие отходы, пропитанные легковоспламеняющимися и горючими жидкостями.

14. При возникновении пожара или возгорании оборудования, мебели либо реактивов следует немедленно сообщить об этом преподавателю, выключить вытяжные шкафы и покинуть лабораторию. Запрещается открывать окна!

15. При воспламенении одежды необходимо загасить огонь на горящем, набросив на него асбестовое одеяло или другие подручные средства, например халат, шерстяное одеяло, либо применив порошковый огнетушитель. Запрещается использовать углекислотный огнетушитель для тушения возгорания одежды на человеке! Погасив огонь, следует приступить к оказанию первой доврачебной помощи.

Оказание первой доврачебной помощи

1. При ожогах химическими веществами, особенно кислотами и щелочами, пораженный участок кожи быстро промывают большим количеством воды, а затем на обожженное место накладывают примочки из 2%-го раствора питьевой соды (при ожоге кислотой) и из 2%-го раствора борной кислоты (при ожоге щелочами). При сильных ожогах после оказания первой помощи следует немедленно обратиться к врачу.

2. При попадании брызг или паров кислоты либо щелочи в глаза их следует сразу же промыть большим количеством воды. После этого надо немедленно обратиться к врачу.

3. При термических ожогах обожженное место необходимо охладить, наложить сухую нетугую повязку и отправить пострадавшего в медпункт.

4. При отравлении парами вредных и ядовитых веществ вывести пострадавшего на свежий воздух, вызвать врача или отправить в медпункт.

5. При отравлении через пищевод необходимо промыть пострадавшему желудок, после чего отправить в медпункт.

6. При порезах рук или лица стеклом надо удалить из раны мелкие осколки, затем промыть рану 3%-м раствором пероксида водорода, наложить повязку и при необходимости обратиться за медицинской помощью.

1.2. Оборудование и посуда. Правила выполнения основных операций

Лабораторные весы и техника взвешивания

Весы широко применяются в аналитической практике. В химико-аналитических лабораториях используются весы различных типов, которые различаются не только конструктивными особенностями, но и допустимой предельной нагрузкой, точностью, чувствительностью, ценой деления и т.д.

Лабораторные весы подразделяют на следующие группы:

- аналитические (полумикро-, микро-, ультрамикроаналитические);
- общелабораторные (технические);
- специальные (для исследований при пониженных давлениях, высоких и низких температурах, в агрессивных средах и т.п.);
- механические, электронные, гидравлические и пневматические (по способу создания уравновешивающей силы).

Независимо от конструкции существуют общие требования к взвешиванию на технических и аналитических весах. Для получения точного результата необходимо соблюдать следующие правила:

- перед каждым взвешиванием обязательно проверить исправность весового оборудования;
- если при осмотре замечены какие-либо неисправности, то следует обратиться к преподавателю или лаборанту;
- запрещается самостоятельно устранять неисправности;
- запрещается двигать весы;
- запрещается ставить на чашки весов влажные и грязные предметы, взвешивать предметы с температурой, отличающейся от температуры весовой комнаты;
- для уменьшения влияния погрешностей на результаты анализа все взвешивания желательнее проводить на одних и тех же весах, пользуясь (при необходимости) одним и тем же набором разновесов;
- во избежание нарушения условий работы весов запрещается опираться на полку или стол, на котором установлены весы.

Правила работы с центрифугой

1. Центрифуга должна быть установлена на горизонтальной плоскости, надежно закреплена и заземлена.

2. Противоположные гнезда центрифуги должны быть равномерно нагружены. Для этого в них вставляют пробирки одного размера, которые наполняют одинаковым объемом жидкости.

3. Для эффективного центрифугирования количество жидкости не должно превышать $3/5$ высоты пробирки.

4. Во время включения и центрифугирования крышка центрифуги должна быть закрыта.

5. После окончания центрифугирования следует выключить центрифугу, дождаться полной ее остановки и только после этого открывать крышку.

6. Запрещается останавливать центрифугу рукой или каким-либо предметом.

7. В случае ненормальной работы центрифуги (удары, вибрация, посторонний шум и т.д.) ее необходимо остановить и сообщить преподавателю или лаборанту.

Правила работы с химической посудой

Химическая посуда, применяемая в аналитической лаборатории, должна быть устойчива к воздействию реагентов, легко отмываться от загрязнений. Материал, из которого она изготовлена, должен быть тер-

моустойчив и обладать малым коэффициентом теплового расширения. В аналитической практике применяют чаще всего стеклянную посуду; используют также посуду из фарфора, полиэтилена, кварца, платины.

По назначению лабораторную посуду можно разделить на *мерную* (пипетки, бюретки, мерные колбы, мерные мензурки и цилиндры) и *посуду общего назначения* (стаканы, колбы, пробирки, воронки, бюксы, кристаллизаторы, тигли, чашки для выпаривания и пр.). Мерная посуда имеет точную градуировку, ее в отличие от посуды общего назначения нельзя нагревать.

В химическом анализе очень большое значение имеет чистота используемой посуды. Стеклянная посуда считается чистой, если при сливании воды на ее стенках не образуется отдельных капель.

Для мытья посуды в лаборатории применяют различные реагенты.

Хромовая смесь – моющее средство, наиболее часто используемое в лабораториях. Для приготовления хромовой смеси к измельченному бихромату калия ($\approx 5\%$ по массе) добавляют концентрированную серную кислоту и осторожно нагревают на водяной бане при перемешивании до растворения $K_2Cr_2O_7$. При мытье хромовой смесью посуду ополаскивают водой, наливают слегка подогретую хромовую смесь до $1/4$ – $1/3$ объема сосуда и осторожно смачивают внутренние стенки. Затем хромовую смесь выливают обратно в сосуд, в котором она хранится. Обработанную посуду оставляют на несколько минут, после чего промывают многократно водопроводной водой и 2–3 раза ополаскивают дистиллированной водой. Сильно загрязненную посуду обрабатывают хромовой смесью несколько раз.

Хромовая смесь не применяется, если посуда загрязнена такими веществами, как парафин, керосин, воск, минеральные масла и пр. Для удаления этих загрязнений следует использовать органические растворители.

Перманганат калия используют для мытья химической посуды в смеси с концентрированной серной кислотой. Ни в коем случае нельзя заменять серную кислоту хлороводородной, так как она окисляется перманганатом с образованием свободного хлора.

Раствор перманганата наливают в промытую водой посуду, затем тонкой струйкой добавляют серную кислоту в таком количестве, чтобы после добавления раствор нагрелся до температуры 50 – 60 °С. Если после обработки на стенках посуды образуется бурый налет, его удаляют раствором гидросульфита натрия, соли Мора или щавелевой кислоты. Отработанный подкисленный раствор перманганата повторно не используют.

Смесь хлороводородной кислоты и пероксида водорода также используют для мытья химической посуды. Для приготовления смеси берут равные объемы 6 н. раствора HCl и 5–6%-го раствора H_2O_2 . Смесь

нагревают до температуры 30–40 °С, обрабатывают ею стенки посуды, затем выливают обратно для повторного использования, а посуду промывают водой, как указано выше.

Для очистки посуды от загрязнений можно применять концентрированные серную кислоту или щелочи.

После мытья посуду необходимо хорошо высушить (на воздухе или в сушильном шкафу при температуре 80–100 °С).

1.3. Погрешности анализа и обработка результатов

Аналитический сигнал

Химический анализ является, как правило, многостадийным процессом, состоящим из пробобора, разложения пробы, разделения компонентов, концентрирования и пр. Заключительная стадия анализа включает измерение аналитического сигнала (оптическая плотность, масса, объем, сила электрического тока, потенциал электрода), с величиной которого корреляционно связано содержание определяемого компонента, и расчет результатов определения.

Аналитический сигнал – среднее значение измерения физической величины на заключительной стадии анализа, функционально связанное с содержанием (концентрацией) определяемого компонента.

Методы расчета концентрации вещества по величине аналитического сигнала

Метод градуировочного графика. При использовании этого метода готовят серию стандартных растворов с разными концентрациями.

Затем для каждого приготовленного раствора получают соответствующую величину аналитического сигнала и строят градуировочный график зависимости величины аналитического сигнала (y) от концентрации (C) (рис. 1.1). Величина a соответствует сигналу контрольного опыта. Коэффициент k , равный тангенсу угла наклона прямой (α), называется *коэффициентом чувствительности*.

Если полученная линейная градуировочная зависимость не проходит через начало координат, то она описывается уравнением

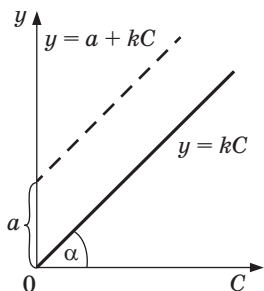


Рис. 1.1. Градуировочный график

$$y = a + kC.$$

В случае, если прямая проходит через начало координат, коэффициент $a = 0$ и уравнение приобретает вид

$$y = kC.$$

Если при построении градуировочного графика возникают затруднения из-за значительного разброса результатов, то уравнение градуировочной функции можно получить *методом наименьших квадратов*: коэффициенты a и k должны быть такими, чтобы сумма квадратов разностей между экспериментальными и рассчитанными по полученному уравнению значениями была минимальной. Согласно методу наименьших квадратов коэффициенты a и k рассчитываются по следующим формулам:

$$k = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2}; \quad a = \frac{\sum y - k\sum x}{n}.$$

Если градуировочная функция описывается уравнением $y = kC$, то для расчета ее углового коэффициента используется формула

$$k = \frac{\sum xy}{\sum x^2}.$$

Для минимизации погрешности градуировочный график следует строить таким образом, чтобы неизвестная концентрация вещества попадала примерно в его середину.

Метод стандартных растворов (стандартов). Метод одного стандарта используют в том случае, если уравнение зависимости величины аналитического сигнала от концентрации имеет вид $y = kC$. Измеряют величину аналитического сигнала ($y_{ст}$) для стандарта – раствора с известной концентрацией вещества ($C_{ст}$) и величину аналитического сигнала (y_x) для раствора с неизвестной концентрацией вещества (C_x). Расчет выполняют по формуле

$$C_x = \frac{C_{ст}y_x}{y_{ст}}.$$

Концентрацию стандартного раствора подбирают таким образом, чтобы аналитические сигналы для стандартного и исследуемого растворов имели максимально близкие значения.

Метод двух стандартов (ограничивающих растворов) используют, если уравнение зависимости величины аналитического сигнала от концентрации имеет вид $y = a + kC$. Измеряют величины аналитических

сигналов для двух стандартных растворов с разными концентрациями вещества (C_1 и C_2) такими, что по сравнению с предполагаемой неизвестной концентрацией (C_x)

$$C_2 > C_x; C_1 < C_x.$$

Неизвестную концентрацию рассчитывают по формуле

$$C_x = C_1 + \frac{(C_2 - C_1)(y_x - y_1)}{y_2 - y_1}.$$

Метод добавок. Данный метод используется, если при определении содержания компонента необходимо учесть влияние матрицы на величину аналитического сигнала. Метод добавок не учитывает сигнал фона, т.е. может применяться только в том случае, если зависимость величины аналитического сигнала от концентрации описывается линейным уравнением без свободного члена ($y = kC$).

Расчетный метод добавок. Измеряют величину аналитического сигнала анализируемой пробы (y_x) с неизвестной концентрацией определяемого компонента (C_x). Затем в эту же пробу вводят стандартную добавку с известным содержанием определяемого компонента и снова измеряют величину аналитического сигнала ($y_{x+доб}$). Концентрацию определяемого компонента в анализируемой пробе рассчитывают по формуле

$$C_x = \frac{C_{доб} V_{доб} y_x}{(V_{доб} + V_x) y_{x+доб} - V_x y_x},$$

где $C_{доб}$, $V_{доб}$ – соответственно концентрация и объем добавленного раствора определяемого компонента; V_x – объем анализируемого раствора.

Если в добавленном растворе концентрация определяемого компонента значительно больше, чем в анализируемом, то разбавлением можно пренебречь, и расчет проводят по формуле

$$C_x = \frac{C_{доб} V_{доб} y_x}{V_x (y_{x+доб} - y_x)}.$$

Графический метод добавок. В несколько одинаковых порций (*аликвот*) анализируемой пробы вносят различные точные количества определяемого компонента. Одну аликвоту оставляют без добавки. Измеряют величину аналитического сигнала для каждой аликвоты. Строят график зависимости величины полученного сигнала от концентрации добавки и экстраполируют его до пересечения с осью абсцисс (рис. 1.2).

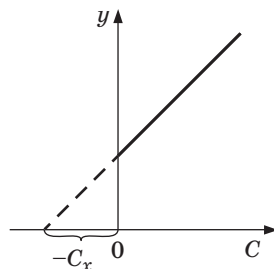


Рис. 1.2. Определение концентрации компонента графическим методом добавок

Длина отрезка, отсекаемого этой прямой на оси абсцисс влево от нуля координат, соответствует неизвестной концентрации (C_x) определяемого компонента.

Погрешности измерений

Каждая из стадий аналитического определения характеризуется своей погрешностью, которая входит в общую погрешность анализа.

По способу выражения различают абсолютные и относительные погрешности.

Абсолютная погрешность (Δx_i) – это разность между экспериментальным (x_i) и истинным ($x_{ист}$) значениями измеряемой величины:

$$\Delta x_i = x_i - x_{ист}$$

Относительная погрешность (D) – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$D = \frac{|x_i - x_{ист}|}{x_{ист}}$$

или

$$D(\%) = \frac{|x_i - x_{ист}|}{x_{ист}} \cdot 100\%$$

В зависимости от причины возникновения различают систематические, случайные погрешности и промахи.

Систематическая погрешность – это погрешность, которая при всех измерениях одной и той же величины остается постоянной или изменяется по постоянно действующему закону. Систематическая

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА И ТЕХНИКА РАБОТЫ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ	5
1.1. Организация рабочего места и техника безопасности	5
Организация рабочего места	5
Техника безопасности в аналитической лаборатории	5
Оказание первой доврачебной помощи	7
1.2. Оборудование и посуда. Правила выполнения основных операций ...	7
Лабораторные весы и техника взвешивания	7
Правила работы с центрифугой	8
Правила работы с химической посудой	8
1.3. Погрешности анализа и обработка результатов	10
Аналитический сигнал	10
Методы расчета концентрации вещества по величине аналитического сигнала	10
Погрешности измерений	13
Статистическая обработка результатов	15
Нормальное распределение	17
Распределение Стьюдента	18
Обнаружение и исключение промахов. Пример статистической обработки результатов	19
Сравнение выборок	21
Приближенные вычисления и значащие цифры	22
2. КАЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	24
2.1. Основные понятия и методы качественного анализа	24
2.2. Техника проведения химических реакций качественного анализа ...	27
2.3. Аналитическая классификация катионов	29
Схемы и методы классификации катионов	29
Сероводородная (сульфидная) классификация катионов	30
Аммиачно-фосфатная классификация катионов	31
Кислотно-основная классификация катионов	32
<i>Лабораторная работа № 1. Изучение свойств катионов I и II аналитических групп</i>	<i>34</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Систематический анализ смеси катионов I и II аналитических групп</i>	<i>39</i>

<i>Лабораторная работа № 3. Изучение свойств катионов</i>	
III аналитической группы.	41
<i>Лабораторная работа № 4. Систематический анализ смеси катионов</i>	
III аналитической группы. Кислотно-основной метод	54
<i>Лабораторная работа № 5. Систематический анализ смеси катионов</i>	
III аналитической группы. Сероводородный метод.	55
<i>Лабораторная работа № 6. Изучение свойств катионов</i>	
IV и V аналитических групп	57
<i>Лабораторная работа № 7. Систематический анализ смеси катионов</i>	
I–V аналитических групп.	67
2.4. Аналитическая классификация анионов	74
<i>Лабораторная работа № 8. Изучение свойств анионов</i>	
I–III аналитических групп	74
<i>Лабораторная работа № 9. Систематический анализ смеси анионов</i>	
I–III аналитических групп	90
<i>Лабораторная работа № 10. Анализ неизвестного</i>	
неорганического вещества (смеси веществ)	95
2.5. Разделение и обнаружение катионов	
методом бумажной хроматографии.	96
<i>Лабораторная работа № 11. Анализ смеси катионов</i>	
методом бумажной хроматографии.	98
3. КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	100
3.1. Гравиметрический метод анализа	100
Основные положения гравиметрического анализа.	100
Техника выполнения основных операций	
в гравиметрическом анализе.	102
<i>Лабораторная работа № 12. Определение бария</i>	<i>109</i>
<i>Лабораторная работа № 13. Определение содержания</i>	
<i>кристаллизационной воды в медном купоросе</i>	<i>111</i>
<i>Лабораторная работа № 14. Определение железа в соли Мора</i>	<i>112</i>
3.2. Титриметрический метод анализа	114
Основные положения титриметрического анализа	114
Техника выполнения основных операций.	116
Кислотно-основное титрование	120
<i>Лабораторная работа № 15. Стандартизация раствора</i>	
<i>хлороводородной кислоты</i>	<i>120</i>
<i>Лабораторная работа № 16. Определение гидроксида натрия</i>	<i>121</i>
<i>Лабораторная работа № 17. Определение временной жесткости воды. . .</i>	<i>122</i>

<i>Лабораторная работа № 18.</i> Определение карбонат-ионов и щелочи или карбонат- и гидрокарбонат-ионов при совместном присутствии	123
<i>Лабораторная работа № 19.</i> Определение хлороводородной и борной кислот при совместном присутствии	125
<i>Лабораторная работа № 20.</i> Определение аммиака в солях аммония.	127
Окислительно-восстановительное титрование.	128
Перманганатометрия.	128
<i>Лабораторная работа № 21.</i> Стандартизация раствора перманганата калия.	129
<i>Лабораторная работа № 22.</i> Определение железа в соли Мора	130
Дихроматометрия	131
<i>Лабораторная работа № 23.</i> Определение железа в соли Мора	131
<i>Лабораторная работа № 24.</i> Определение железа в сплаве	132
Йодометрия	133
<i>Лабораторная работа № 25.</i> Стандартизация раствора тиосульфата натрия.	134
<i>Лабораторная работа № 26.</i> Определение меди	135
<i>Лабораторная работа № 27.</i> Определение сульфитов	136
<i>Лабораторная работа № 28.</i> Определение хлороводородной кислоты.	137
Броматометрия.	138
<i>Лабораторная работа № 29.</i> Определение сурьмы.	139
Осадительное титрование.	140
Аргентометрия.	141
<i>Лабораторная работа № 30.</i> Определение хлорид-ионов методом Мора	141
Комплексонометрическое титрование.	142
<i>Лабораторная работа № 31.</i> Стандартизация раствора ЭДТА.	145
<i>Лабораторная работа № 32.</i> Определение кальция и магния при совместном присутствии	145
<i>Лабораторная работа № 33.</i> Определение общей жесткости воды.	146
<i>Лабораторная работа № 34.</i> Определение меди	147
Приложения	149
Рекомендуемая литература	157