

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова»

**Л.Ф. Попова**

# **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

*Практикум  
по аналитической химии*

Архангельск  
САФУ  
2014

УДК 543(07)  
ББК 24.46я7  
П58

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом  
Северного (Арктического) федерального университета  
имени М.В. Ломоносова*

*Рецензенты:*

кандидат химических наук, доцент кафедры общей  
и биоорганической химии ГБОУ ВПО СГМУ **Т.А. Корельская**,  
кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории  
и методики предмета АО ИППК РО **А.Н. Нестерова**

**Попова, А.Ф.**

П58      Инструментальные методы анализа: практикум по аналитической химии: учебное пособие / А.Ф. Попова; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2014. – 263 с. : ил.

ISBN 978-5-261-01007-4

Содержит рекомендации для подготовки и проведения лабораторно-практических работ по одному из разделов аналитической химии – инструментальным методам анализа. Представлены краткие теоретические сведения по каждой теме, методики выполнения лабораторных работ по анализу химических соединений и некоторых природных объектов, вопросы для самоконтроля, контрольные задачи. Рассмотрены примеры решения типовых расчетных задач.

Пособие соответствует стандарту по дисциплине «Аналитическая химия» вариативной (профильной) части ФГОС ВПО по направлениям подготовки 020100.62 «Химия» и 050100 «Педагогическое образование» (квалификация (степень) бакалавр), профили «Химия», «Биология». Может быть использовано студентами других специальностей (022000.62 «Экология и природопользование», 02.0400.62 «Биология»), а также учителями при обучении химии в школах инновационного типа.

УДК 543(07)  
ББК 24.46я7

ISBN 978-5-261-01007-4    © Попова А.Ф., 2014  
© Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2014

## ВВЕДЕНИЕ

*Аналитическая химия* – это раздел химической науки, разрабатывающий на основе фундаментальных законов химии и физики принципиальные методы и приемы качественного и количественного анализа атомного, молекулярного и фазового состава вещества. Методы аналитической химии позволяют отвечать на вопросы о том, из чего состоит вещество, какие компоненты входят в его состав. Современная аналитическая химия включает в себя два основных раздела: *качественный анализ* – обнаружение элементов, ионов, функциональных групп, индивидуальных соединений в анализируемом объекте; *количественный анализ* – определение количественного содержания отдельных составных частей в исследуемом веществе.

Аналитическая химия относится к прикладным наукам, однако практическое значение ее весьма огромно и разнообразно. Оно определяется как уровнем развития общества, общественной потребностью в результатах анализа, так и уровнем развития самой аналитической химии. Любой аналитик должен хорошо знать теоретические основы химии и в совершенстве владеть умениями и навыками проведения качественного и количественного анализа как неорганических, так и органических соединений. Поэтому задачами курса аналитической химии являются закрепление и углубление знаний по общей и неорганической химии, выработка умений и навыков в обращении с химической посудой, реактивами, приборами.

Используемые в аналитической химии методы анализа делятся на химические, физические, физико-химические. Все они основаны на использовании зависимости физико-химического свойства вещества, называемого аналитическим сигналом, от природы вещества и его содержания в анализируемой пробе.

*Химические методы*, основанные на использовании химических реакций для определения состава системы, с визуальным фиксированием аналитического эффекта, не всегда удовлетворяют современным требованиям и многообразным запросам практики. В период научно-технического прогресса и развития новых отраслей науки и техники, народного хозяйства в целом более важное место занимают инструментальные методы анализа.

Под общим названием «*инструментальные методы*» объединяются физические и физико-химические методы анализа, так как для их проведения обычно требуются специальные приборы и инструменты. В *физических методах* измеряется свойство, непосредственно зависящее от природы атомов и их концентрации в системе. *Физико-химические методы* анализа основаны на зависимости физических свойств от химического состава системы.

Быстрота, точность, простота операций, высокая чувствительность, возможность автоматизации аналитического контроля производства обеспечивают применение инструментальных методов анализа в самых разных отраслях экономики. Они незаменимы при проведении экологического мониторинга. На основе данных, полученных с помощью физических и физико-химических методов анализа, составляется объективная картина состояния водных, атмосферных и биосферных ресурсов, намечаются пути удаления экологически опасных компонентов из природных объектов.

Общее число инструментальных методов довольно велико. Основные из них: методы разделения и концентрирования, в том числе хроматографические; электрохимические методы; спектральные и оптические методы. Кроме этого, выделяют комбинированные методы, сочетающие в себе несколько ранее перечисленных.

Аналитическая химия – наука экспериментальная, однако, чтобы в будущем химик-аналитик мог успешно развивать новые научные направления и самостоятельно решать практические задачи, он должен хорошо усвоить теоретические основы современных методов анализа. Этому, несомненно, способствует решение расчетных задач, касающихся теории и практики различных разделов аналитической химии.

Решение задач является важнейшим средством развития химического мышления, одним из путей осуществления связи теории с практикой, применения полученных знаний. Велика и развивающая функция решения задач, которая формирует рациональные приемы мышления, устраняет формализм знаний, прививает навыки самоконтроля, развивает самостоятельность.

Данное учебное пособие представляет собой практикум, включающий лабораторные работы и типовые расчетные задачи по основным разделам *инструментальных методов анализа (методам разделения и концентрирования, хроматографическим, спектроскопическим, электрохимическим, комбинированным методам)*. В пособии приведены требования к оформлению расчетных задач. В каждом разделе представлены краткие теоретические сведения, облегчающие выполнение лабораторных работ и понимание решения задач, показаны примеры решения задач (простых и повышенной трудности), даны вопросы для самоконтроля и задачи для самостоятельного решения.

*В тексте пособия звездочкой (\*) отмечены факультативные задания или научно-исследовательские работы, выполнять которые студенты могут по своему желанию.*

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Глава 1. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.....	6
§ 1. Аналитический сигнал и его измерение.....	6
§ 2. Методические приемы инструментальных методов ...	7
§ 3. Статистическая обработка экспериментальных данных .....	10
*Глава 2. МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ. ЭКСТРАКЦИЯ .....	18
§ 1. Количественные характеристики разделения и концентрирования .....	18
§ 2. Экстракция.....	19
Глава 3. ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА .....	31
§ 1. Хроматографические параметры.....	31
§ 2. Газовая хроматография .....	38
§ 3. Жидкостная хроматография .....	42
Глава 4. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА .....	60
§ 1. Основы спектроскопии .....	60
§ 2. Атомная спектроскопия .....	68
§ 3. Молекулярная спектроскопия .....	76
§ 4. Другие оптические методы .....	122
Глава 5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА.....	145
§ 1. Потенциометрические методы .....	145
§ 2. Кондуктометрические методы .....	169
§ 3. Кулонометрические методы .....	179
§ 4. Вольтамперометрические методы.....	185
*Глава 6. ДРУГИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ .....	198
§ 1. Кинетические методы .....	198
§ 2. Инфракрасная (ИК) спектроскопия .....	206
§ 3. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса .....	209
Глава 7. КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ .....	213
Глава 8. АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ .....	217
§ 1. Вода. Спектроскопические методы анализа.....	217
§ 2. Вода. Электрохимические методы анализа. Прямая потенциометрия .....	234
§ 3. Воздух.....	250
§ 4. Биосреды .....	253
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	255
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	256