

В. И. ВЕРШИНИН, И. В. ВЛАСОВА, И. А. НИКИФОРОВА

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

УЧЕБНИК

Рекомендовано

Учебно-методическим объединением по специальностям педагогического образования в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химия»

Допущено

Учебно-методическим объединением по направлениям педагогического образования в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Педагогическое образование»



Москва

Издательский центр «Академия»

2011

УДК 543(075.8)

ББК 24.4я73

В188

Рецензенты:

- доцент кафедры неорганической и физической химии Омского государственного педагогического университета, канд. хим. наук *Э. М. Анфингер*;
зав. кафедрой химии Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева, д-р хим. наук, профессор *Л. М. Горностаев*;
зав. кафедрой неорганической химии Томского государственного педагогического университета, д-р хим. наук, профессор *С. В. Ковалева*;
профессор кафедры химии Красноярского государственного педагогического университета имени В. П. Астафьева, д-р биол. наук *М. И. Лесовская*;
зав. кафедрой химии Орловского государственного университета, д-р хим. наук, профессор *Э. Р. Оскотская*;
доцент кафедры химии Орловского государственного университета, канд. хим. наук *И. Н. Сенчакова*;
зав. кафедрой аналитической химии и химической экологии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук, профессор *Р. К. Чернова*;
профессор кафедры аналитической химии химического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, д-р хим. наук *Т. Н. Шеховцова*

Вершинин В. И.

В188 Аналитическая химия : учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования / В. И. Вершинин, И. В. Власова, И. А. Никифорова. — М. : Издательский центр «Академия», 2011. — 448 с.

ISBN 978-5-7695-6292-1

Учебник создан в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки «Педагогическое образование» (квалификация «бакалавр»).

В учебнике изложены теоретические основы современной аналитической химии. Рассмотрены принципы и возможности химических, физических и физико-химических методов анализа. Представлены методы разделения и концентрирования. Особое внимание уделено метрологическим аспектам химического анализа. Освещены этапы развития химического анализа и аналитической химии как науки.

Для студентов учреждений высшего педагогического профессионального образования. Может быть полезен студентам классических и технических университетов, а также преподавателям и специалистам-аналитикам.

УДК 543(075.8)

ББК 24.4я73

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

© В. И. Вершинин, И. В. Власова, И. А. Никифорова, 2011
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-6292-1

К ЧИТАТЕЛЯМ

Аналитическую химию изучают студенты учреждений высшего профессионального образования разного типа — классических университетов, химико-технологических и просто технологических, медицинских, сельскохозяйственных, педагогических, военных и других вузов. Объемы курсов, их целеполагающая направленность, соответствие современному уровню науки — аналитическая химия и практики химического анализа различаются очень существенно. Для всех этих учебных курсов нужны учебники, соответствующие особенностям вузов, принятым учебным планам и программам. Учебников должно быть много, и они должны быть разными. Важно, чтобы они были современными по отбору и оценке приводимых сведений, глубокими (по возможности) и правильными в изложении материала, написанными логично, четко, просто и увлекательно. Учебников по аналитической химии немало. Но одни — слишком капитальные, объемные, излишне детализированные, сложные для широкой студенческой аудитории, другие — не отражают современное состояние науки.

В чем особенность книги В. И. Вершинина и его коллег? Она написана учеными, активно работающими в области аналитической химии, и одновременно опытными преподавателями, имеющими свое мнение о том, чему и как нужно учить студентов и какие навыки они должны выработать.

Особое внимание в учебнике уделено истории аналитической химии. Мы встречаем на страницах книги имена тех, кто внес большой вклад в аналитическую химию. Это не только оживляет изложение предмета. Это правильно с методологической и методической точек зрения. Открытия в науке «с дерева не падают», они являются результатом долгих поисков, сопровождающихся успехами и неудачами, открытиями и разочарованиями.

В учебнике рассмотрены общие вопросы и ключевые направления аналитической химии, многие важные методы химического анализа, охарактеризованы особенности анализа ряда объектов. Учебник получил многочисленные и весьма положительные отзывы, было признано целесообразным опубликовать его в Издательском центре «Академия». Несомненно, книга будет очень полезна широкой аудитории студентов и преподавателей — и не только педагогических вузов.

Академик Ю. А. Золотов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебная дисциплина «Аналитическая химия» — важная часть общепрофессиональной и естественно-научной подготовки будущих преподавателей химии. Базовый курс аналитической химии изучают тысячи студентов всех педагогических вузов России, хотя большинство выпускников не предполагают профессионально заниматься химическим анализом. Возникает вопрос: почему нужно знать основы аналитической химии.

Во-первых, хорошо известно, что какие-либо анализы время от времени приходится проводить всем химикам, а не только тем, кто специально готовился работать в контрольно-аналитических лабораториях. Каждый учитель химии должен уметь выполнять несложные анализы, это придется делать и на уроках, и на внеклассных мероприятиях (см. приложение). Отметим, что не только для школьников, но и для студентов-химиков самостоятельное проведение анализов — очень интересное занятие!

Во-вторых, любой специалист и особенно учитель химии должен представлять себе возможности современных методов анализа. Ведь в основе ряда естественных наук (не только химии!), как и в основе многих отраслей промышленного производства, лежит информация о химическом составе веществ, т. е. результаты анализов. Нужно знать, как получали эту информацию, насколько ей можно доверять. С возможностями разных методов анализа учитель химии обязан знакомить и своих учеников, этого требуют современные стандарты школьного образования.

В-третьих, с результатами анализов имеют дело все люди, независимо от их специальности. Пример — анализ крови, необходимый, чтобы диагностировать заболевание или подтвердить (в ходе криминалистической экспертизы) невиновность человека. Другой пример — регулярные анализы пищевых продуктов, питьевой воды, воздуха, обеспечивающие безопасность населения.

В-четвертых, изучая курс аналитической химии, студенты учатся работать с измерительными приборами и химической посудой, начинают лучше разбираться во многих химических и физических процессах, овладевают смежными науками, в результате их мышление становится более логичным, а руки — более умелыми.

Содержание курса аналитической химии регламентировано государственными образовательными стандартами, а также рекомендациями и типовыми программами, принимаемыми учебно-методическими объединениями по педагогическому образованию. Реальное содержание курса в том или ином вузе определяется с учетом практических задач, которые встанут перед выпускниками, времени изучения и

объема данного курса в общей структуре образовательной программы, подготовленности студентов к освоению, а преподавателей — к изложению материала, наличия учебной литературы, необходимого оборудования и др. Поэтому содержание курса аналитической химии в разных вузах отличается, однако в любом случае оно должно отражать современный уровень развития аналитической химии как науки, и это наиболее важный фактор.

Старшему поколению учителей химии хорошо известны учебники В. Н. Алексеева, А. П. Крешкова, И. В. Пятницкого, Н. Я. Логинова. Они отражали уровень развития науки, достигнутый к 50—60-м гг. XX в. Основное внимание уделялось качественному анализу с применением групповых реагентов и цветных реакций, в меньшей степени — гравиметрии и титриметрии. Из теоретических вопросов детально рассматривались лишь способы управления ионными равновесиями, которые со времен В. Оствальда используют в химических методах анализа. Этот подход стал традиционным и привычным. Он имеет свои методические преимущества: позволяет закрепить и конкретизировать знания студентов, полученные при изучении неорганической и общей (физической) химии, не требует сложного оборудования.

Однако к концу XX в. аналитическая химия как наука ушла далеко вперед. Она сблизилась с физикой, метрологией, информатикой, приобрела междисциплинарный характер, т. е. перестала быть только частью химии. Изменился и арсенал методов, применяемых на практике для установления состава веществ. Теперь в контрольно-аналитических лабораториях никто не проводит полный качественный анализ сплавов или минералов, пользуясь сероводородной (или какой-либо другой) схемой разделения ионов; соответствующую информацию гораздо проще получить спектроскопическими методами. В большинстве лабораторий не применяют и гравиметрию. Даже титриметрический анализ, сохранивший свою практическую значимость, теперь используют гораздо реже, чем 30—40 лет назад. Преимущественное положение к концу XX в. заняли так называемые инструментальные методы, которым при обучении студентов педагогических вузов должного внимания ранее не уделялось. Некоторые инструментальные методы (фотометрию, потенциометрию, электрогравиметрию) изучали, но довольно поверхностно; о других (атомно-эмиссионном спектральном анализе, газовой хроматографии) лишь кратко информировали, многие важные методы (ферментативный анализ, масс-спектрометрию, атомную абсорбцию) даже не упоминали. Не рассматривали ни теоретические вопросы, связанные с инструментальными методами, ни возможность применения этих методов в анализе тех или иных объектов. Зачастую недостаточное внимание уделяли анализу органических веществ и объектов окружающей среды, методам разделения и концентрирования микропримесей, метрологическим аспектам анализа. Как правило, рассматривали лишь элементный анализ, хотя другие виды анализа (вещественный, молекулярный, структурно-групповой, локальный) в XX в. стали не менее важными, чем элементный анализ.

Отставание вузовского курса аналитической химии от современного уровня развития науки, отрыв от практики работы контрольно-аналитических лабораторий, безусловно, снижают качество подготовки специалистов. Такое отставание особенно заметно в вузах, в которых нет отдельных кафедр аналитической химии и не ведутся научные исследования в области химического анализа. Курс аналитической химии там нередко считают вспомогательным, видят в нем лишь средство закрепления и углубления студенческих знаний по неорганической химии. Такой подход объясняют тем, что педагогические вузы не готовят специалистов-аналитиков. Однако базовый курс аналитической химии на это и не рассчитан. Даже в классических университетах, которые действительно готовят профессиональных аналитиков, этот курс имеет иные цели. Систематизируя и сопоставляя мнения специалистов, можно составить перечень задач, решаемых в любом вузе при преподавании курса аналитической химии:

- ознакомление с методами химического анализа и их возможностями;
- обоснование происхождения знаний о составе веществ и химических реакциях, формирование научного мировоззрения будущих специалистов;
- изучение материала по химическим процессам, не входящего в другие учебные курсы (характеристические свойства атомов и молекул, комплексообразование в растворе, экстракция и др.);
- развитие и закрепление учебного материала других курсов, формирование знаний и умений, обеспечивающих последующее изучение других дисциплин;
- развитие творческих способностей, логики мышления, аккуратности и т. п.;
- обучение технике лабораторных работ и самостоятельному выполнению простейших анализов, работе на приборах, выбору методик, оценке точности результатов анализа и т. п.

При изучении курса аналитической химии в педагогических вузах на первое место, вероятно, следует поставить историко-методологический и ознакомительный аспекты*. Сейчас многие выпускники этих вузов хорошо знают, как устроены молекулы белков, как именно проходят реакции нуклеофильного замещения в ароматических углеводородах, какой состав имеет атмосфера Марса и Венеры. Молодые учителя передают подобные знания своим ученикам, но зачастую даже не представляют, как человечество получило эти знания, как проверить вызвавшие интерес утверждения учебников. Схоластика чисто книжного обучения учителей может и должна быть преодолена именно в ходе изучения курса аналитической химии. В противном случае формируемая в сознании учащихся научная картина мира окажется недостаточно обоснованной. Важен и воспитательный аспект,

* Эти вопросы детально рассмотрены в статье В. И. Вершинина «Содержание и методическое обеспечение базового курса аналитической химии» (Журнал аналитической химии. — 2005 — Т. 60. — № 9. — С. 992 — 1003).

который часто недооценивают. Самостоятельное выполнение несложных анализов предоставляет студенту уникальную возможность получить необходимые навыки («чувство вещества», умение работать с приборами) и развить ряд личностных качеств, которые невозможно выработать при изучении других учебных дисциплин.

Новые требования к содержанию курса аналитической химии привели к изданию в 1995—2005 гг. серии учебников нового поколения, содержание которых было приближено к современному уровню аналитической химии как науки. Для классических университетов (специальность «Химия») издан двухтомный учебник «Основы аналитической химии», написанный под руководством академика Ю. А. Золотова специалистами кафедры аналитической химии химического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. Появились современные учебники по курсу аналитической химии для будущих фармацевтов, инженеров и агрономов, вышли из печати практикумы, задачки и другая методическая литература нового поколения. Издан ряд переводных руководств, некоторые из которых являются настоящей энциклопедией современных методов анализа.

К сожалению, уровень исходной подготовки большинства студентов педагогических вузов не позволяет им эффективно использовать учебники для классических университетов. Кроме того, на изучение курса аналитической химии в педагогических вузах отводится примерно в три раза меньше аудиторных часов. Следует учесть и специфические требования действующих в педагогических вузах стандартов и программ, а также особенности реализуемых межпредметных связей. Современным учебником по аналитической химии для студентов педагогических вузов может стать книга, которую держит в руках читатель. Учебно-методическое объединение по специальностям педагогического образования, функционирующее на базе Московского педагогического государственного университета, рекомендовало эту книгу в качестве учебника для специальности «Химия». Студенты, обучающиеся по направлению «Педагогическое образование», смогут использовать эту книгу в качестве учебного пособия повышенного типа. Это соответствует решению Учебно-методического объединения по направлениям педагогического образования, функционирующего на базе Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена (Санкт-Петербург), и подтверждается опытом ряда вузов. В частности, при подготовке бакалавров образования в Омском государственном педагогическом университете успешно используют изданную авторами ранее книгу «Основы аналитической химии» (Омск: Изд-во ОмГУ, 2007), предназначенную преимущественно для студентов классических университетов. Предлагаемая новая книга в методическом и содержательном отношении близка к последней и может быть использована в качестве учебного пособия студентами классических университетов, обучающимися по специальности «Химия».

В настоящем учебнике, в отличие, например, от известного в педагогических вузах учебного пособия Н. Я. Логинова и соавторов,

значительно сокращен материал, посвященный химическим методам качественного анализа, в то же время усилено внимание к инструментальным методам и метрологическим аспектам анализа. Включены краткие сведения о хемометрике, сенсорах и многих других предметах, весьма важных для специалистов XXI в. Рассказано о работе контрольно-аналитических лабораторий, способах решения некоторых реальных задач, наиболее ярких достижениях аналитиков. Особое внимание уделено истории химического анализа. Предложен весьма важный, хотя и «внепрограммный» для педагогических вузов материал, который может быть использован факультативно. Так, в гл. 8 рассмотрены методы и особенности анализа объектов окружающей среды.

Безусловно, кроме данного учебника студенты педагогических вузов могут пользоваться и другими учебными изданиями. Например, материал по гравиметрии и титриметрии весьма подробно изложен в учебнике В. Н. Алексеева «Количественный анализ». Эта книга во многом устарела, но она очень хорошо написана, поэтому с давних пор пользуется любовью студентов. Материал по качественному анализу смесей ионов полнее изложен в книге Н. Я. Логинова и соавторов «Аналитическая химия» или в учебнике А. П. Крешкова «Основы аналитической химии».

Некоторые трудные для студентов разделы курса мы рассматриваем на качественном уровне, без математических выкладок и детальных физических обоснований. Соответствующий материал при желании можно найти в учебнике «Основы аналитической химии» под редакцией Ю. А. Золотова или в недавно переведенном на русский язык двухтомном учебнике под редакцией Р. Кельнера и соавторов, широко используемом в странах Евросоюза.

Однотипный материал, относящийся к разным методам анализа, мы даем только один раз, в обобщенной форме. Это касается расчета результатов анализа по аналитическому сигналу, моделирования кривых титрования и некоторых других вопросов. Инструкции к лабораторным работам в эту книгу не включены — их с большим успехом можно представить в виде отдельных практикумов, учитывающих направленность образовательных программ и возможности конкретного вуза. По тем же причинам не включены расчетные задачи и справочные сведения. После каждой главы приведены контрольные задания. В виде приложения даны рекомендации по методике изучения химического анализа в школах и внешкольных образовательных учреждениях. Рекомендации составлены на основе материалов, подготовленных кандидатом педагогических наук Н. А. Ждан (Омский институт повышения квалификации работников образования) и заслуженным учителем Российской Федерации Н. А. Белан. Как следует из этих материалов, место химического анализа в школьном курсе химии в соответствии с новыми государственными стандартами стало гораздо более значимым, и это должно быть принято во внимание при подготовке учителей химии.

Ввести в данную книгу новый материал без увеличения ее объема и перегрузки студентов можно было только за счет обобщения и ча-

стичного сокращения материала по классическим методам анализа. Однако при любой перестройке содержания и методики преподавания курса аналитической химии нельзя допускать ухудшения общехимической подготовки выпускников по сравнению с ее нынешним уровнем. Углубление и конкретизация химических знаний остаются одной из важных задач курса аналитической химии. Авторы данной книги стремились к достижению некоторого компромисса между разными задачами этого курса, а читатели смогут судить, удалось ли это.

Авторы настоящего учебника — преподаватели кафедры аналитической химии Омского государственного университета имени Ф. М. Достоевского — одновременно преподают (или преподавали ранее) аналитическую химию в Омском государственном педагогическом университете. Глава 6 и частично гл. 8 написаны доцентом И. В. Власовой, гл. 3, 4 — доцентом И. А. Никифоровой, остальные главы — заслуженным работником высшей школы Российской Федерации профессором В. И. Вершининым, взявшим на себя труд по общему редактированию учебника.

Авторы благодарят всех, кто принимал участие в выработке плана этой книги и подготовке рукописи к изданию, особенно профессора кафедры общей и аналитической химии Московского государственного областного университета Ю. М. Дедкова, начальника управления образовательных программ Омского государственного педагогического университета доцента Э. М. Анфингера. Большую ценность имели замечания, предложения и дополнения, сделанные академиком Ю. А. Золотовым, членом-корреспондентом Российской академии наук Э. Е. Нифантьевым, профессорами Л. М. Горностаевым, Г. З. Казиевым, С. В. Ковалевой, М. И. Лесовской, Э. Р. Оскотской, В. Н. Пак, Т. Н. Шеховцовой, Р. К. Черновой и другими специалистами. Так, материалы, любезно предоставленные Т. Н. Шеховцовой, послужили основой подразд. 4.8, посвященного кинетическим и биохимическим методам.

Авторы будут признательны всем, кто пожелает сообщить свои замечания и предложения (электронный адрес: vyvershinin@yandex.ru). Все замечания будут внимательно рассмотрены и в случае переиздания учебника учтены.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

1.1. Химический анализ

Возникновение химического анализа. Люди с древних времен пытались узнать, из чего состоят объекты окружающего их мира. Двигало ими не только естественное любопытство, но и житейский опыт, свидетельствующий, что знания о составе веществ позволяют предугадывать свойства этих веществ и правильно их использовать, а также (и это особенно важно!) получать материалы с новыми свойствами. Еще за несколько тысячелетий до нашей эры люди умели выплавлять из некоторых минералов медь и железо; они догадывались, что металлы содержатся в минералах изначально, только в скрытой форме, подобно соли в морской воде. В Древнем Египте умели изготавливать сплавы, содержащие сразу несколько металлов, и понимали, что свойства сплава определяются тем, какие металлы и в каком соотношении находятся в этом сплаве. Так, понимали, что свойства и ценность золотых изделий зависят от того, насколько велико в них содержание примесей — серебра и меди.

С развитием ремесел и торговли потребовались способы определения состава смесей и сложных веществ. Сведения о таких способах приведены в древних рукописях, даже в Библии. Состав золотых изделий узнавали по изменению их массы и цвета после прокаливания («испытание огнем»); содержание металла в руде определяли, проводя пробную плавку; содержание соли в воде находили, взвешивая сухой остаток после выпаривания пробы. Так возникло «пробирное искусство» — начальная форма химического анализа, первый этап его многовековой истории. Более детально история химического анализа будет рассмотрена в гл. 9.

Ремесленники и торговцы веками использовали эмпирические приемы «пробирного искусства», но не могли объяснить и обобщить их. Состав веществ в те времена еще не был предметом научных исследований. Древнегреческие философы (Эмпедокл, Демокрит и др.) предполагали, что реальные вещества имеют некоторую внутреннюю структуру, состоят из мельчайших неделимых частичек — *атомов*, причем все атомы чистого вещества одинаковы, а атомы разных веществ различны по размерам и свойствам. Но древнегреческие ученые не пытались определять состав и структуру реальных веществ опытным путем*. Не занимались этим и алхимики, пытавшиеся превращать одни вещества в другие (например, медь и свинец в золото).

* Кроме Архимеда из Сиракуз, определившего содержание золота и серебра в царской короне по ее массе и объему.

Лишь в XVII в. английский ученый Роберт Бойль (1627 — 1691) указал, что установление состава веществ должно стать основной целью химических исследований. Составными частями всех веществ, с точки зрения Р. Бойля, являются те «элементы», на которые можно разложить исходные вещества, но которые далее разложить уже невозможно. Р. Бойль ввел новое понятие «химический анализ», понимая его как разложение веществ с целью определения их состава. Однако со временем оказалось, что состав смесей или сложных соединений можно узнать и без их полного разложения. Поэтому современное понимание термина «химический анализ» отличается от того смысла, который вкладывал в него Р. Бойль.

Химическим анализом называют получение информации о составе и структуре веществ, независимо от того, каким именно способом получают такую информацию.

Одни способы (методы) анализа основаны на проведении химических реакций со специально добавляемыми реагентами, в других — химические реакции играют вспомогательную роль, третьи вовсе не связаны с протеканием реакций. Однако результатом химического анализа в любом случае является информация о *химическом составе вещества*, т. е. о качественном и количественном содержании входящих в него атомов и молекул. Это обстоятельство подчеркивают, используя прилагательное «химический» в словосочетании «химический анализ».

Кроме определения состава веществ нередко требуется установить, насколько равномерно распределен в исследуемом твердом веществе какой-либо элемент, существуют ли в этом веществе участки с разным составом или разной кристаллической решеткой. Для органических веществ важнейшей структурной характеристикой является строение молекул. Так, анализируя белки, выясняют последовательность расположения аминокислот в полипептидных цепях (первичную структуру). Анализируя дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК), изучают последовательность расположения нуклеотидов в макромолекуле. Однако исследование структуры веществ является задачей химиков-аналитиков лишь отчасти. Аналитики не изучают распределение электронной плотности в атомах, не занимаются строением атомов или атомных ядер, хотя эти вопросы тоже входят в понятие «структура вещества». Такие исследования составляют предмет других наук, прежде всего физики.

Значение химического анализа. В XVIII в. и первой половине XIX в. европейскими учеными были созданы классические методы анализа, основанные на проведении химических реакций. В это время химический анализ стал важнейшим способом объективного научного исследования, способом познания природы. С помощью аналитических методов были открыты химические элементы, детально исследованы свойства элементов и их соединений, определен состав множества природных веществ. Многочисленные анализы позволили установить основные законы химии (закон постоянства состава веществ, закон сохранения массы веществ, закон эквивалентов и др.), подтвердили атомно-молекулярное учение.

Химический анализ стал средством научного исследования не только в химии, но и в геологии, биологии, медицине и других науках. Значительная часть знаний о природе, накопленных человечеством со времен Бойля, получена именно путем химического анализа.

Возможности аналитиков резко возросли во второй половине XIX в. и особенно в XX в., когда было создано множество физических методов анализа. Они позволили решить задачи, с которыми не удавалось справиться классическими методами. Ярким примером могут быть знания о составе Солнца и звезд, полученные еще в конце XIX в. методом спектрального анализа. Столь же ярким примером на рубеже XX и XXI в. стала расшифровка строения гена. В этом случае исходная информация была получена методом масс-спектрометрии.

Химический анализ — это не только способ научных исследований. Еще в XIX в. его стали широко применять на промышленных предприятиях, контролируя таким способом технологические процессы. В настоящее время методы аналитического контроля используют в металлургии и нефтепереработке, атомной энергетике и пищевой промышленности, производстве строительных материалов и удобрений, при изготовлении лекарственных препаратов и в других отраслях народного хозяйства. Методы химического анализа оказались очень важными для сельскохозяйственного производства, диагностики и профилактики заболеваний, раскрытия преступлений. Особое значение для общества приобрел анализ объектов окружающей среды (природных вод, воздуха, почвы и т. п.).

Разработка конкретных методик и развитие химического анализа возможны только на основе специальных научных исследований.

Теоретическим фундаментом химического анализа стала отдельная наука — *аналитическая химия*.

1.2. Аналитическая химия как наука

Наука аналитическая химия сформировалась в XVIII—XIX вв. Существует множество определений (дефиниций) этой науки. Приведем наиболее краткое и очевидное определение.

***Аналитическая химия* — наука об определении химического состава веществ.**

Можно дать более точное и развернутое определение*.

***Аналитическая химия* — наука, развивающая общую методологию, методы и средства изучения химического состава (а также структуры) веществ и разрабатывающая способы анализа разных объектов.**

Объект и направления исследований. Объектом исследований аналитиков-практиков являются конкретные химические вещества. Объектом, который изучает аналитическая химия как наука, является процесс анализа в целом, а также те свойства веществ, те химические и физические процессы, которые можно использовать для получения информации о составе исследуемых материалов. Аналитическую химию обычно относят к прикладным наукам, но она имеет свой предмет фундаментальных исследований, отличный от других наук. Если для

* Золотов Ю.А., Вершинин В.И. История и методология аналитической химии. — М.: Издательский центр «Академия», 2007.

других химических наук основной интерес представляют типические (общие) свойства веществ, относящихся к тем или иным классам или группам, то для аналитической химии наиболее важны характеристические свойства веществ, отличающие каждый индивидуальный объект от других объектов того же класса.

Например, общие свойства спиртов изучают химики-органики, а способы определения спиртов как класса органических соединений и каждого отдельного спирта (например, этанола) разрабатывают аналитики. Для этого они выявляют те особенности химических и физических свойств спиртов, которые отличают их от других органических соединений. Еще важнее выявить характеристические свойства отдельных спиртов (например, этанола), отличающие их друг от друга. Изучение характеристических свойств индивидуальных объектов особенно важно в тех случаях, когда изучают материалы сложного состава, содержащие смеси родственных веществ.

Исследования в области аналитической химии в России преимущественно ведут в научно-исследовательских институтах и университетах. Цели этих исследований следующие:

- развитие теоретических основ различных методов анализа;
- создание новых методов и методик, разработка аналитических приборов и реагентов;
- решение конкретных аналитических задач, имеющих большое экономическое или социальное значение; например, разработка надежных способов аналитического контроля для ядерной энергетики и производства полупроводниковых приборов (эти задачи были успешно решены в 1950—1970-е гг.), а также способов оценки техногенного загрязнения окружающей среды (эта задача решается в настоящее время).

Аналитики могут проводить научные исследования в рамках какого-либо одного метода (спектрального, хроматографического и т. п.) анализа, могут изучать проблемы, общие для нескольких или даже для всех методов. Укажем некоторые вопросы, имеющие «общеаналитическое» значение:

- исследование форм, в которых существуют элементы и их соединения в тех или иных условиях;
- автоматизация анализа;
- создание стандартных образцов веществ с точно известным составом;
- разработка критериев для сопоставления разных методов анализа и для выбора наиболее подходящего метода и т. д.

Аналитическая химия в системе наук. В XVIII в. и первой половине XIX в. аналитическая химия была основной частью единой химической науки. В дальнейшем, по мере развития органической и физической химии, аналитическая химия стала отдельной наукой, одной из ряда химических наук. Однако современную аналитическую химию уже нельзя считать только химической наукой. В конце XX в., когда физические методы анализа заняли «господствующее» положение, когда особую важность приобрели метрологические и математические аспекты анализа, аналитическая химия как наука стала междисциплинарной. Это не исключительное явление; такие междисциплинарные науки, как кибернетика и информатика ведут свое начало от математики, но не являются чисто математическими науками.

Связи аналитической химии с другими науками имеют диалектический характер. С одной стороны, аналитическая химия всегда обеспечивала другие науки

идеями и методами, подчас в значительной степени предопределяя успехи этих наук. На современном этапе своего развития аналитическая химия продолжает снабжать другие химические науки методиками и приборами для проведения исследований. То же относится к исследованиям в области экспериментальной физики, медицины и биологии. В частности, изучение механизмов метаболизма и наследственности на молекулярном уровне стало возможным только после создания точных и высокочувствительных методов химического анализа биологических объектов (биополимеров). С помощью аналитических методов экологи смогли оценить масштабы и выявить пути техногенного загрязнения окружающей среды. Достижения аналитической химии сыграли определенную роль в развитии гуманитарных наук (археологии, искусствоведения и др.). Специалисты-аналитики неоднократно получали Нобелевские премии и за создание принципиально новых методов анализа (масс-спектрометрии, полярографии, газожидкостной хроматографии), и за фундаментальные достижения в области химии, физики и медицины (открытие изотопов, установление структуры сывороточных белков и т.п.), ставшие возможными благодаря применению новых аналитических методов.

С другой стороны, аналитическая химия воспринимает и развивает знания, полученные в рамках смежных научных дисциплин. Разумеется, знания, полученные одной наукой и используемые другой, всегда существенно перерабатываются, подобно тому как в организме продукты питания превращаются в новые соединения, а уже из них строятся собственные ткани организма. Эта аналогия подходит и для рассматриваемого случая. На основе творчески переработанных достижений других наук и собственных фундаментальных исследований аналитики выявляют общие закономерности химического анализа, создают новые методы и методики. Какие же достижения других наук использовали и используют аналитики?

Классические методы анализа базируются на применении основных понятий и законов химии (атомно-молекулярного учения, закона постоянства состава веществ, закона сохранения массы веществ и др.). При разработке любых методик (т.е. детальных и последовательных описаний того, как следует проводить тот или иной анализ) аналитики используют знания о свойствах веществ, накопленные в рамках неорганической и органической химии. Характеристические свойства элементов и их соединений аналитики выявляют с учетом положения элемента в Периодической системе элементов Д. И. Менделеева. Различными процессами в ходе анализа управляют, учитывая законы термодинамики и химической кинетики, т.е. применяя знания из области физической химии.

Для аналитической химии очень важны математические методы и вычислительные алгоритмы. Особенно актуальны для аналитиков такие разделы математики, как алгебра, теория вероятностей и математическая статистика. Математика нужна не столько для расчета результата анализа (для этого часто достаточно обычной арифметики), сколько для моделирования и оптимизации физико-химических процессов, протекающих в ходе анализа. В конце XX в. аналитическая химия получила новый импульс развития благодаря применению информационных технологий и вычислительной техники. На стыке аналитической химии, математики и информатики возникла новая область науки — *хеометрика*, ее предметом стало создание математических и компьютерных методов решения химико-аналитических задач, извлечение максимума информации из экспериментальных данных.

Не меньшее значение для аналитической химии имеет и физика. Изучение физических явлений (например, диффузии, адсорбции, электролиза, преломле-

ния света) в прошлом не раз приводило к созданию новых аналитических методов (соответственно полярографии, хроматографии, кулонометрии, рефрактометрии) и новых аналитических приборов. Физические теории (например, квантовая механика) позволяют успешно прогнозировать спектры излучения и поглощения разных веществ, что исключительно важно для развития спектральных методов анализа. Множество сложных приборов (лазеры, плазмотроны, масс-спектрометры, генераторы сверхвысокочастотного излучения и даже ускорители элементарных частиц), первоначально созданных физиками для научных исследований, со временем стали средствами проведения химического анализа.

Для решения аналитических задач довольно широко применяют биохимические реакции с участием ферментов, а также исключительно специфические реакции, протекающие по схеме «антиген — антитело» (иммуноанализ). Весьма перспективным способом получения информации о составе веществ оказалось изучение реакции живых клеток, тканей, органов и организмов на изменения в составе окружающей их среды. Естественно, соответствующие методы анализа создают на базе достижений биологических наук.

Любая методика анализа включает разнообразные измерения. Современный анализ немыслим без измерительных приборов, без эталонов химического состава. Поэтому аналитическая химия тесно связана с наукой об измерениях и их погрешностях — *метрологией*. Некоторые специалисты считают даже, что аналитическая химия — дисциплина, лежащая между химией и метрологией. Весьма важные исследования ведут аналитики и на стыке с инженерными дисциплинами (приборостроением, управлением качеством и т. п.).

Таким образом, физика, математика, биология, метрология и некоторые другие «нехимические» науки оказались не менее значимыми для современной аналитической химии, чем смежные химические науки. В аналитических лабораториях сегодня работают и химики, и физики, и инженеры, и представители других наук. Все это подтверждает мысль о междисциплинарном характере современной науки о химическом анализе. Данное обстоятельство многие специалисты стараются подчеркнуть, используя для обозначения новой междисциплинарной науки термин «аналитика». Классическая аналитическая химия, основанная на проведении химических реакций, в этом случае оказывается лишь составной частью аналитики, наряду с аналитической физикой, аналитической биологией, химической метрологией и другими «аналитическими» науками. Эта идея, выдвинутая Ю. А. Золотовым и другими специалистами еще в 1970-е гг., имеет серьезные обоснования, но не является общепринятой, гораздо чаще термины «аналитика» и «аналитическая химия» рассматривают как синонимы, и этот подход представляется авторам настоящего учебника более правильным.

1.3. Виды химического анализа

Виды химического анализа весьма разнообразны. Их можно классифицировать разными способами: по характеру получаемой информации, объектам анализа и объектам определения, требуемой точности и продолжительности анализа, а также по другим признакам.

Классификация по характеру получаемой информации. Различают качественный анализ и количественный анализ. В случае *качественного анализа* выясняют, какие именно составные части (*компоненты*) входят в состав данного

вещества. В случае *количественного анализа* определяют содержание компонентов, выражая его в виде массовой доли, концентрации, молярного соотношения компонентов и т. п. Грань между качественным и количественным анализом, проведенная в XVIII в., сегодня стала весьма условной, особенно при исследовании микропримесей. Так, если в ходе качественного анализа некоторый компонент не был обнаружен, то обязательно указывают, какое его минимальное количество можно было бы обнаружить с помощью данной методики. Возможно, отрицательный результат анализа связан не с отсутствием компонента, а с недостаточной чувствительностью методики! С другой стороны, количественный анализ всегда выполняют с учетом качественного состава исследуемой пробы.

При выполнении количественного анализа обычно получают информацию об усредненном содержании компонента во всем исследуемом материале (*валовый анализ*). Однако важно не только усредненное содержание, но и то, как распределен элемент (или молекулы данного вида) по поверхности исследуемого материала, как меняется состав материала при движении от поверхности в глубь образца. Решение подобных задач называют *локальным* (или *распределительным*) *анализом*. Так, для оптимизации каталитических процессов в нефтехимии важно знать характер распределения платины по поверхности твердого катализатора: равномерно оно или платина лежит микроскопическими островками. А стоматологов интересует, как меняется содержание кальция в эмали зуба: нарастает оно при движении от поверхности к более глубоким слоям эмали или остается неизменным. Локальный анализ эмали важен, в частности, для создания способов эффективной профилактики кариеса зубов. Естественно, для валового и для локального анализа нужны разные методы.

Получение информации о структуре веществ обычно рассматривают как самостоятельный вид анализа (*структурный анализ*).

Классификация по объектам анализа. Каждая область человеческой деятельности имеет традиционные объекты анализа. Так, в промышленности исследуют сырье, готовую продукцию, полупродукты, отходы производства (*технический анализ*). Объектами *агрохимического анализа* являются почвы, удобрения, корма, зерно и другая продукция сельского хозяйства. В медицине проводят *клинический анализ*, его объекты — кровь, моча, желудочный сок, различные ткани, выдыхаемый воздух и многое другое. Специалисты правоохранительных органов проводят *криминалистический анализ* (анализ типографской краски при выявлении подделки документов, обнаружение наркотиков, исследование осколков, найденных на месте дорожно-транспортного происшествия, и т. п.). С учетом природы исследуемых объектов выделяют и другие виды анализа; например, анализ лекарственных препаратов (*фармацевтический анализ*), природных и сточных вод (*гидрохимический анализ*), нефтепродуктов, строительных материалов и др.

Классификация по объектам определения. Не следует путать термины «анализировать» и «определять»! Это не синонимы! Так, если нас интересует, присутствует ли железо в крови человека и каково его процентное содержание, то кровь является объектом анализа, ионы железа — объектом определения (определяемым компонентом). Конечно, и железо может стать объектом анализа, если определять в образце железа примеси других элементов.

Объектами определения называют те компоненты исследуемого материала, количественное содержание которых требуется установить. Объекты определения не менее разнообразны, чем объекты анализа. Объекты определения, или обна-

ружения (их еще называют *аналитами*), можно выделять на разных уровнях структурирования материи (изотопы, атомы, ионы, молекулы, группы молекул родственной структуры, фазы). С учетом природы определяемого компонента выделяют разные виды анализа (табл. 1.1).

В ходе *элементного анализа* идентифицируют или количественно определяют тот или иной элемент, независимо от его степени окисления или от вхождения в состав тех или иных молекул. Полный элементный состав исследуемого материала требуется устанавливать в редких случаях. Обычно достаточно определить некоторые элементы, существенно влияющие на свойства исследуемого объекта.

Вещественный анализ стали выделять в самостоятельный вид недавно, раньше его рассматривали как часть элементного. Цель вещественного анализа — определить содержание разных форм одного и того же элемента. Например, содержание ионов хрома(III) и хрома(VI) в сточной воде. В нефтепродуктах отдельно определяют «серу сульфатную», «серу свободную» и «серу сульфидную». Исследуя состав природных вод, выясняют, какая часть ртути существует в виде прочных комплексных и элементоорганических соединений, какая — в виде свободных ионов. Эти задачи намного труднее, чем задачи элементного анализа.

Таблица 1.1

Классификация видов химического анализа по объектам определения

Вид химического анализа	Объект определения, или обнаружения (аналит)	Пример	Область применения
Изотопный	Атомы с заданными значениями заряда ядра и массового числа (изотопы)	^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{235}U	Атомная энергетика, контроль загрязнения окружающей среды, медицина, археология и др.
Элементный	Атомы с заданным значением заряда ядра (элементы)	Cs, Sr, U, Cr, Fe, Hg	Повсеместно
Вещественный	Атомы (в том числе ионы) элемента в данной степени окисления	Cr(III), Cr(VI), Fe(II), Hg(I)	Химическая технология, контроль окружающей среды, геология, металлургия и др.
Молекулярный	Молекулы с заданным составом и заданной структурой	Бензол, глюкоза, этанол	Медицина, контроль окружающей среды, агрохимия, химическая технология, криминалистика
Структурно-групповой, или функциональный	Совокупность молекул с заданными структурными характеристиками и близкими свойствами	Предельные углеводороды, моносахариды, спирты	Химическая технология, пищевая промышленность, медицина
Фазовый	Отдельная фаза или элемент в составе данной фазы	Графит в стали, кварц в граните	Металлургия, геология, технология строительных материалов

Молекулярный анализ особенно важен при исследовании органических веществ и материалов биогенного происхождения. Примером может быть определение бензола в бензине или ацетона в выдыхаемом воздухе. В подобных случаях необходимо учитывать не только состав, но и строение молекул. Ведь в исследуемом материале могут находиться изомеры и гомологи определяемого компонента. Так, содержание глюкозы обычно приходится определять в присутствии ее изомеров и других родственных соединений, например сахарозы.

Когда речь идет об определении суммарного содержания всех молекул, имеющих некоторые общие структурные особенности, одни и те же функциональные группы, а следовательно, и близкие химические свойства (сумма изомеров, сумма гомологов), используют термин *структурно-групповой* (или *функциональный*) анализ. Например, суммарное содержание спиртов — органических соединений, имеющих ОН-группу, определяют, проводя общую для всех спиртов реакцию с металлическим натрием, а затем измеряя объем выделившегося водорода. Суммарное содержание непредельных углеводородов, имеющих двойные или тройные связи, определяют, окисляя их иодом. Суммарное содержание однотипных компонентов иногда устанавливают и в неорганическом анализе (суммарное содержание редкоземельных элементов и т. п.).

Специфическим видом химического анализа является *фазовый анализ*. Так, углерод в чугунах и сталях может растворяться в железе, может образовывать химические соединения с железом (карбиды), а может и образовывать отдельную фазу (графит). Физические свойства (прочность, твердость и т. п.) изделия зависят не только от общего содержания углерода, но и от распределения углерода между этими формами. Поэтому металлургов интересует не только общее содержание углерода в чугуне или стали, но и наличие в этих материалах отдельной фазы графита (свободного углерода), а также количественное содержание этой фазы.

Классификация видов анализа помогает выбрать подходящий метод анализа. Так, для элементного анализа в настоящее время чаще всего применяют спектральные методы, основанные на регистрации излучения атомов на некоторых длинах волн. Большинство спектральных методов предполагает полную деструкцию (атомизацию) анализируемого вещества. Если нужно установить природу и количественное содержание разных молекул, входящих в состав исследуемого органического вещества (молекулярный анализ), то самым подходящим методом, вероятно, окажется хроматографический, не предполагающий деструкции молекул.

Основное внимание в базовом курсе аналитической химии уделено элементному и молекулярному анализу. В других видах анализа применяют весьма специфические методы. В программу базового курса не входят изотопный, фазовый и структурно-групповой анализ.

Классификация по точности, продолжительности и стоимости анализа. Упрощенный, быстрый и дешевый вариант анализа называют *экспресс-анализом*. Здесь часто применяют *тест-методы*. Например, любой человек (не аналитик) может оценить содержание нитратов в овощах (сахара в моче, тяжелых металлов в питьевой воде и т. п.), воспользовавшись специальным тест-средством — индикаторной бумагой. Содержание искомого компонента оценивают с помощью специальной шкалы окрасок. Результат будет виден «невооруженным глазом» и понятен неспециалисту. Тест-методы не требуют доставки пробы в лабораторию, какой-либо обработки исследуемого материала; эти методы не предусматривают применения дорогостоящего оборудования, проведения расчетов. Важно лишь,

чтобы результаты тест-метода не зависели от наличия в исследуемом материале других компонентов, а для этого нужно, чтобы реагенты, которыми пропитывают индикаторную бумагу при ее изготовлении, были бы специфическими. Обеспечить специфичность тест-методов очень трудно; широко распространенным этот вид анализа стал лишь в последние годы XX в. Конечно, тест-методы не могут обеспечить высокой точности анализа, но она требуется далеко не всегда.

Прямая противоположность экспресс-анализу — *арбитражный анализ*. Основное требование к нему — обеспечить как можно большую точность результатов. Арбитражные анализы проводят редко (например, для разрешения конфликта между изготовителем и потребителем некоторой продукции). Для выполнения таких анализов привлекают наиболее квалифицированных исполнителей, применяют самые надежные и многократно проверенные методики. Продолжительность выполнения и стоимость такого анализа не имеют принципиального значения.

Промежуточное положение между экспрессным и арбитражным анализом по точности, продолжительности, стоимости и другим показателям занимает *рутинный анализ*. Основная часть анализов, выполняемых в заводских и других контрольно-аналитических лабораториях, относится именно к этому типу.

Существуют и другие классификации, другие виды анализа. Например, учитывают массу или объем материала, непосредственно используемого в ходе анализа (массу или объем пробы). В рамках соответствующей классификации выделяют:

- *макроанализ* — используют навески массой 10—100 г;
- *полумикроанализ* — навески массой от 0,1 до 1 г;
- *микроанализ* — навески массой 0,001 г и менее, объемы растворов порядка 0,001 мл; результаты реакций наблюдают под микроскопом.

Макроанализ и микроанализ в аналитических лабораториях используют редко; распространена, как правило, техника полумикроанализа.

1.4. Методы химического анализа

Классификация методов. Понятие «метод химического анализа» используют, если хотят выявить суть того или иного анализа, его основной принцип. *Методом анализа* называют достаточно универсальный и теоретически обоснованный способ проведения анализа, принципиально отличающийся от других способов по назначению и основному принципу, безотносительно к тому, какой компонент определяют и какой объект анализируют. Один и тот же метод можно использовать для анализа разных объектов и для определения разных аналитов. Существуют три основные группы методов (рис. 1.1).

Методы первой группы нацелены преимущественно на разделение компонентов анализируемой смеси (последующий анализ без этой операции оказывается неточным или вообще невозможным). В ходе разделения обычно происходит и концентрирование определяемых компонентов (см. гл. 7). Примером могут быть методы экстрагирования или методы ионного обмена. Методы второй группы применяют в ходе качественного анализа, они служат для достоверного опознавания (идентификации) интересующих нас компонентов. Методы третьей группы, наиболее многочисленной, предназначены для количественного определения компонентов. Соответствующие группы называют: 1) методами разделения и концен-



Рис. 1.1. Классификация методов химического анализа

трирования; 2) методами идентификации; 3) методами определения. Методы двух первых групп обычно играют вспомогательную роль. Наибольшее значение имеют методы определения.

Кроме методов трех основных групп существуют гибридные методы. На рис. 1.1 они не показаны. В гибридных методах разделение, идентификация и определение компонентов органично сочетаются в одном приборе (или в едином приборном комплексе). Важнейшим из таких методов является хроматографический анализ. В специальном приборе (хроматографе) компоненты исследуемой пробы (смеси) разделяются, поскольку они с разной скоростью проходят через колонку, заполненную твердым веществом (сорбентом). По времени выхода компонента из колонки судят о его природе и таким образом опознают все компоненты пробы (этот метод детально рассмотрен в подразд. 7.4). Вышедшие из колонки компоненты по очереди попадают в другую часть прибора, где специальное устройство — детектор — формирует и записывает сигналы всех компонентов. Нередко тут же проводится автоматическое отнесение сигналов к тем или иным веществам, а также расчет содержания каждого компонента пробы. Понятно, что хроматографический анализ нельзя считать только методом разделения компонентов или только методом количественного определения, это именно гибридный метод.

Методы определения. Каждый метод определения объединяет множество конкретных методик, согласно которым измеряют одну и ту же физическую величину. При отнесении методики к тому или иному методу не важно, какой объект исследуют по данной методике, какие вещества и с какой точностью определяют, какой прибор используют и как проводят расчеты, важно лишь, какую величину измеряют. Измеряемую в ходе анализа физическую величину, зависящую от содержания определяемого компонента, называют *аналитическим сигналом**

Например, можно измерить потенциал электрода, опущенного в исследуемый раствор, а затем рассчитать содержание некоторого компонента раствора, пользуясь уравнением Нернста или определив момент резкого изменения потенциала в

* Понятие аналитического сигнала будет детально рассмотрено в гл. 5.

ходе титрования. Все методики, где основной операцией является измерение потенциала электрода, считают частными случаями потенциометрического метода. Аналогичным образом можно выделить метод атомно-эмиссионного спектрального анализа. В этом случае основная операция — измерение интенсивности света, излучаемого пробой в заданных условиях при определенной длине волны. Метод титриметрического (объемного) анализа основан на измерении объема раствора, затраченного на химическую реакцию с определяемым компонентом пробы. Слово «метод» часто опускают, говорят просто «потенциометрия», «спектральный анализ» и т. п. В рефрактометрии сигналом является показатель преломления света исследуемым раствором, в спектрофотометрии — поглощение исследуемым раствором света (при определенной длине волны).

Всего известно несколько десятков различных методов определения. Каждый из них имеет собственные теоретические основы и связан с применением специфического оборудования. Области применения разных методов существенно отличаются. Одни методы используют преимущественно для анализа нефтепродуктов, другие — для анализа лекарственных препаратов, третьи — для исследования металлов и сплавов и т. д. Аналогично можно выделить методы элементного анализа, методы изотопного анализа и т. д. Существуют и универсальные методы, применяемые в анализе разных материалов и пригодные для определения различных компонентов. Так, спектрофотометрия служит и для элементного, и для молекулярного, и для структурно-группового анализа.

Любую аналитическую задачу можно решить несколькими разными методами (скажем, хром в легированной стали можно определить и спектральным методом, и титриметрическим, и потенциометрическим). Аналитик выбирает метод, учитывая его возможности и конкретные требования к результатам анализа. Нельзя раз и навсегда разделить методы на «лучшие» и «худшие», все зависит от решаемой задачи и требований к результатам анализа. Конечно, точность, чувствительность и другие характеристики разных методик, относящихся к одному и тому же аналитическому методу, различаются, но не так сильно, как характеристики методик, относящихся к разным методам. Так, практически все методики гравиметрического анализа дают более точные результаты, чем методики спектрального анализа, но требуют больших затрат труда и времени. Поэтому гравиметрический метод хорош для проведения арбитражных анализов, но не годится для экспресс-анализа.

Классификация методов определения. Рассматривая общие принципы разных методов определения, выделяют три большие группы: химические, физико-химические и физические методы. Существуют также немногочисленные и пока недостаточно хорошо разработанные биохимические и биологические методы.

Химические методы основаны на проведении химической реакции между определяемым компонентом и специально добавляемым реагентом. Реакция проходит по схеме



Здесь и далее символом X обозначен определяемый компонент (молекула, ион, атом и т. п.), R — добавляемый реагент, Y — совокупность продуктов реакции.

К группе химических относят классические (давно известные и хорошо изученные) методы — гравиметрию и титриметрию, а также газовольнометрический анализ, кинетические и некоторые другие методы. Число химических методов сравнительно невелико, все они имеют одни и те же теоретические основы (тео-

рия химических равновесий, законы химической кинетики и т. п.), которые будут рассмотрены в гл. 3. В качестве аналитического сигнала в химических методах обычно измеряют массу или объем. Сложные физические приборы, за исключением аналитических весов, и специальные эталоны химического состава в химических методах, как правило, не используют. Эти методы имеют много общего и по своим возможностям. Они будут рассмотрены в гл. 4.

Физические методы не связаны с проведением химических реакций и применением реагентов; их основной принцип — сопоставление однотипных аналитических сигналов компонента X в исследуемом материале и в некотором эталоне (образце вещества с точно известным содержанием компонента X). Лучше использовать не один, а несколько эталонов, тогда можно будет заранее построить градуировочный график (зависимость аналитического сигнала от содержания компонента X) и рассчитать по нему содержание компонента X в исследуемой пробе. Существуют и другие способы расчета концентраций (см. гл. 5). Физические методы обычно чувствительнее, чем химические, поэтому определение микропримесей проводят преимущественно физическими методами. Эти методы легко поддаются автоматизации, требуют меньших затрат времени на проведение анализа. Однако физические методы нуждаются в специальных эталонах, требуют довольно сложного и дорогого специализированного оборудования. Как правило, они менее точны, чем химические.

Промежуточное положение между химическими и физическими методами по своим принципам и возможностям занимают *физико-химические методы* анализа. В этом случае проводят химическую реакцию, но за ее ходом или результатом следят не визуально, а с помощью физического прибора. Например, постепенно добавляют к исследуемому раствору другой раствор с известной концентрацией растворенного реагента, при этом контролируют потенциал электрода, опущенного в исследуемый раствор (потенциометрическое титрование). По скачку потенциала судят об окончании реакции, затем измеряют затраченный объем титранта и рассчитывают результат анализа. Такие методы, как правило, столь же точны, как химические, и почти столь же чувствительны, как физические.

Границы между группами методов весьма условны, поэтому используют различные системы классификации. Нередко физические и физико-химические методы объединяют общим названием «инструментальные методы», поскольку между ними трудно провести границу, ведь в обоих случаях используют измерительные приборы. В последнее время физико-химические методы часто включают в число химических.

Методы определения часто классифицируют и по другому, более очевидному признаку — по природе измеряемого аналитического сигнала. Тогда выделяют группы оптических, электрохимических, активационных, термодимических, гравиметрических и других методов.

1.5. Методики анализа и требования к ним

Не следует путать понятия «метод» и «методика»!

Методика — это подробное описание того, как следует выполнять анализ, применяя некоторый метод для решения конкретной аналитической задачи.

Обычно методику разрабатывают специалисты, она проходит предварительную проверку и метрологическую аттестацию, ее официально регистрируют и утверждают. В названии методики указывают используемый метод, объект определения и объект анализа; например, «Методика спектрофотометрического определения нефтепродуктов в сточных водах». В методике должно быть отмечено: какие именно реагенты и приборы следует применять, какие операции должен проводить исполнитель, как рассчитать результат анализа. Для решения любой аналитической задачи можно найти в литературе или самостоятельно разработать множество разных методик, особенно если при выборе методики не ограничиваться рамками какого-либо одного метода. Чтобы подобрать оптимальную (лучшую) методику, в каждом случае следует учитывать ряд практических требований.

1. *Точность.* Это — главное требование. Оно означает, что относительная или абсолютная погрешность анализа не должна превышать некоторого предельного значения. Для разных видов анализа, безусловно, требуется разная точность. В одних случаях достаточно, чтобы результат был получен с относительной погрешностью, не превышающей 10 % или даже 20 %, в других — чтобы погрешность была менее 1—2 %. При проведении арбитражных анализов относительная погрешность не должна превышать 0,1 % или даже 0,01 %*. Столь высокую точность могут дать лишь некоторые методы, лишь немногие методики. Не следует добиваться высокой точности, если она не требуется, ведь высокая точность обходится очень дорого.

2. *Чувствительность.* Этим понятием иногда заменяют более строгие термины: «предел обнаружения», «нижняя граница определяемых концентраций» (определения данных терминов даны в гл. 5). Высокочувствительные методики — это те, по которым мы можем обнаружить и определить компонент даже при низком его содержании в исследуемом материале. Чем ниже ожидаемое содержание, тем более чувствительная методика требуется.

3. *Селективность.* Важно, чтобы на результат анализа не оказывали влияние другие вещества, входящие в состав пробы. Чем меньше таких веществ, чем слабее выражено влияние каждого из них, тем селективнее методика. Если посторонние вещества вообще не влияют на результат анализа, методику называют *специфической*. Разработать селективную, а тем более специфическую методику анализа очень трудно. Примером может быть методика обнаружения гемоглобина, «созданная» героем одного из произведений А. Конан Дойля. Основным достижением Шерлока Холмса как химика-аналитика стала специфичность разработанной им методики; некий осадок образовывался только в присутствии гемоглобина, и это достоверно указывало на наличие следов крови на одежде подозреваемого. На самом деле специфические и высокочувствительные методики обнаружения следов крови появились лишь в середине XX в. С их помощью теперь можно установить, принадлежит обнаруженная кровь человеку или животному, может она принадлежать подозреваемому или нет и т. п.

4. *Экспрессность.* Речь идет о продолжительности анализа одной пробы — от пробоотбора до выдачи заключения. Чем быстрее будут получены результаты, тем лучше.

5. *Стоимость.* Эта характеристика методики не требует комментариев. В массовом масштабе можно применять лишь относительно недорогие анализы. Сто-

* Речь идет об «относительных» процентах, когда за 100 % принимают результат анализа (см. гл. 2).

имость аналитического контроля в промышленности обычно не превышает 1 % стоимости продукции. Очень дорого стоят уникальные по сложности и редко выполняемые анализы.

Существуют и другие требования к методике — безопасность выполнения анализа, возможность проводить анализ без непосредственного участия человека, устойчивость результатов к случайным колебаниям условий и т. п.

Для наиболее распространенных и часто выполняемых анализов методики изложены в специальных нормативных документах, например государственных стандартах (ГОСТах). В стандартных методиках используют распространенные приборы, общеизвестные способы расчета, привычные приемы анализа. Периодически (один раз в 5—10 лет) ГОСТы обновляют и утверждают заново.

Существование стандартных методик экономит труд и время аналитика, позволяет поручать выполнение рутинных анализов работникам с относительно невысокой квалификацией. Применение стандартных (унифицированных) методик обеспечивает получение сопоставимых результатов любым аналитиком, на любом предприятии, в любом регионе. Надежность результатов, полученных по стандартной методике, обычно выше, чем надежность других анализов. Конечно, никто не может запретить аналитику разработать свою собственную (нестандартную) методику и пользоваться ею, а также применять уникальное или, наоборот, устаревшее оборудование. Однако, во-первых, результаты таких анализов придется сверять с результатами, полученными по стандартной методике; во-вторых, заключения, к которым придут на основании анализов по «нестандартной» методике, не будут иметь должной юридической силы.

1.6. Основные стадии (этапы) количественного анализа

Количественный анализ можно условно разделить на несколько последовательных стадий (этапов), причем практически любой анализ имеет одни и те же стадии (рис. 1.2). Основными стадиями (этапами) при проведении количественного анализа являются:

- постановка аналитической задачи и выбор методики;
- пробоотбор;
- пробоподготовка;
- измерение аналитического сигнала;
- расчет и оформление результатов.

Для каждой стадии характерен свой набор операций. Не все перечисленные стадии обязательны, какая-либо из стадий может отсутствовать. Методику подбирают (или разрабатывают) лишь однажды, а в дальнейшем начинают анализ со стадии пробоотбора. Существуют методики, не требующие стадии пробоотбора и даже пробоподготовки. Примером может быть определение химического состава Солнца и звезд по спектру их излучения. Иногда удается обойтись и без стадии расчета результатов. А вот стадия измерения сигнала присутствует в любом методе количественного анализа, исключением являются лишь визуальные тест-методы. Рассмотрим основные стадии количественного анализа подробнее.

Постановка аналитической задачи и выбор методики. Работа специалиста-аналитика обычно начинается с получения заказа на проведение анализа. Появление такого заказа обычно обусловлено профессиональной деятельностью других специалистов, возникновением какой-либо проблемы. Проблемой может

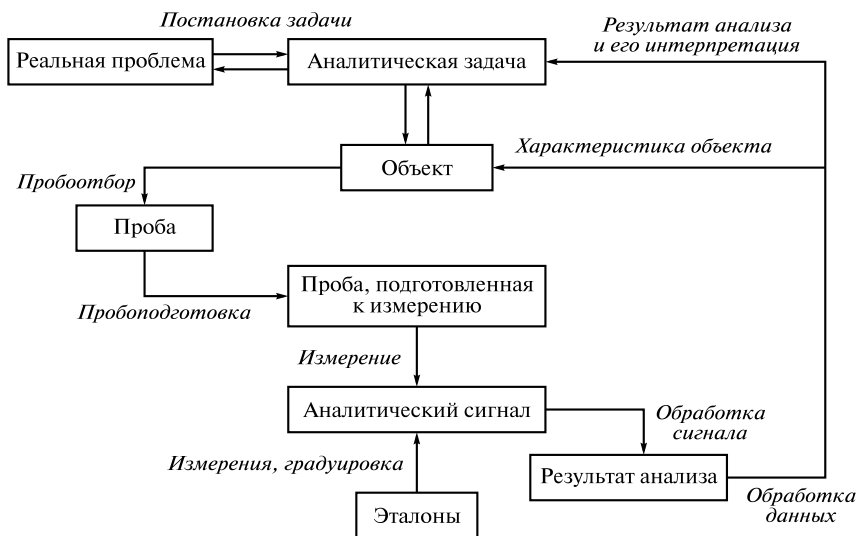


Рис. 1.2. Логическая схема количественного анализа

быть, например, диагностика заболевания, выяснение причины брака при производстве продукции, определение подлинности музейного экспоната, возможность присутствия некоторого токсичного вещества в водопроводной воде и т. п. На основе информации, полученной от специалиста (химика-органика, инженера-технолога, геолога, врача, следователя и т. п.), аналитик должен сформулировать аналитическую задачу. Естественно, следует учесть возможности и пожелания заказчика. Кроме того, нужно собрать дополнительную информацию (прежде всего о качественном составе того материала, который придется анализировать).

Постановка аналитической задачи требует очень высокой квалификации аналитика и является наиболее трудной частью предстоящего исследования. Недостаточно определить, какой материал придется анализировать и какой именно компонент в нем следует определять. Необходимо понять, на каком концентрационном уровне придется вести анализ, какие посторонние компоненты могут присутствовать в пробах, как часто нужно будет проводить анализы, сколько времени и средств можно затратить на один анализ, можно ли доставлять в лабораторию пробы или придется выполнять анализ непосредственно «на объекте», не возникнут ли ограничения по массе и воспроизводимости свойств исследуемого материала и т. п. А самое главное, нужно понять: какую точность результатов анализа требуется обеспечить и каким образом можно добиться такой точности!

Корректно сформулированная аналитическая задача является основой для выбора оптимальной методики. Поиск методики ведут, пользуясь сборниками нормативных документов (в том числе стандартных методик), справочниками, обзорами по отдельным объектам или методам. Например, если планируют определять фотометрическим методом содержание нефтепродуктов в сточной воде, то просматривают справочники и монографии, посвященные, во-первых, фотометрическому анализу, во-вторых, методам анализа сточных вод, в-третьих, разным способам определения нефтепродуктов. Существуют серии книг, каждая из ко-

торых посвящена аналитической химии какого-либо элемента. Выпущены руководства по отдельным методам и объектам анализа. Если в справочниках и монографиях подходящих методик найти не удастся, поиск продолжают, пользуясь реферативными и научными журналами, поисковыми системами Интернета, консультациями специалистов. После отбора методик выбирают ту, которая наилучшим образом отвечает поставленной задаче.

Нередко для решения конкретной задачи не только не существует стандартных методик, но и вообще нет ранее описанных технических решений. С такой ситуацией часто сталкиваются при проведении научных исследований (особо сложная задача, уникальный объект). В этих случаях приходится разрабатывать методику анализа самостоятельно. Выполняя анализы по собственной методике, следует особо тщательно проверять правильность результатов.

Пробоотбор. Разработать методику, которая позволила бы измерять концентрацию интересующего нас компонента непосредственно в исследуемом объекте, удастся довольно редко. Примером может быть датчик содержания углекислого газа в воздухе, который устанавливают на подводных лодках и в других замкнутых помещениях. Гораздо чаще из исследуемого материала отбирают небольшую часть — *пробу* — и доставляют ее для дальнейшего исследования в аналитическую лабораторию. Проба должна быть *представительной (репрезентативной)*, т. е. ее свойства и состав должны приблизительно совпадать со свойствами и составом исследуемого материала в целом. Для газообразных и жидких объектов анализа взять представительную пробу довольно легко, поскольку они гомогенны. Нужно лишь правильно выбрать время и место отбора. Например, при отборе проб воды из водоемов учитывают, что вода поверхностного слоя отличается по составу от воды придонного слоя, вода вблизи берегов загрязнена сильнее, состав речной воды в разное время года неодинаков и т. п. Пробы атмосферного воздуха отбирают с учетом направления ветра и размещения источников выброса примесей. Пробоотбор не вызывает особых проблем в тех случаях, когда исследуют состав газообразных или жидких материалов, а также состав однородных мелкодисперсных твердых материалов (порошков). Гораздо труднее правильно отобрать представительную пробу неоднородного твердого вещества (почвы, руды, угля, зерна и т. п.). Если взять пробы почвы в разных местах одного и того же поля, или с разной глубины, или в разное время, результаты анализа однотипных проб окажутся неодинаковыми. Они могут отличаться в несколько раз, особенно если сам материал состоял из частиц разного состава и размера.

Дело осложняется тем, что пробоотбор зачастую проводит не сам аналитик, а недостаточно квалифицированный работник или, что гораздо хуже, лицо, заинтересованное в получении определенного результата анализа. В литературе описано, как перед оценкой золотоносного участка продавец стремится выбирать для анализа кусочки породы с явными вкраплениями золота, а покупатель — пустую породу. Результаты соответствующих анализов дадут противоположную, но в обоих случаях неправильную характеристику исследуемого участка.

Для каждой группы объектов разработаны и приняты специальные правила и схемы пробоотбора, направленные на обеспечение правильности результатов анализа. Примером может быть анализ почвы. В этом случае отбирают несколько больших порций исследуемого материала в разных местах исследуемого участка и объединяют их. Заранее рассчитывают, сколько должно быть точек пробоотбора, на каком расстоянии друг от друга они должны быть расположены. В правилах пробоотбора указывают, с какой глубины следует отбирать каждую порцию

почвы, какую массу она должна иметь и т. п. Существует даже специальная математическая теория, позволяющая рассчитать минимальную массу объединенной пробы с учетом размера частиц пробы, неоднородности их состава и т. п. Чем больше масса пробы, тем она представительнее, поэтому для неомогенного материала масса объединенной пробы может достигать десятков и даже сотен килограммов! Объединенную пробу высушивают, измельчают, тщательно перемешивают и начинают постепенно уменьшать массу исследуемого материала (для этой цели существуют специальные приемы и устройства). Однако даже после многократного уменьшения масса пробы может достигать нескольких сот граммов. Полученную пробу в герметически закрытой таре доставляют в лабораторию. Там продолжают измельчение и перемешивание исследуемого материала (с целью усреднения его состава) и лишь затем берут на аналитических весах навеску усредненной пробы для проведения дальнейшей пробоподготовки и последующего измерения сигнала.

Пробоотбор — важнейшая стадия анализа, поскольку ошибки, возникающие на этой стадии, очень трудно исправить или учесть. Часто ошибки пробоотбора вносят основной вклад в общую погрешность анализа. При неверном пробоотборе не сможет помочь даже идеальное выполнение последующих операций — получить правильный результат уже не удастся.

Пробоподготовка. Это собирательное название всех операций, которые выполняют в лаборатории перед измерением аналитического сигнала. В ходе пробоподготовки проводят упаривание, высушивание, прокаливание или сжигание пробы, ее растворение в воде, кислотах или органических растворителях, предварительное окисление или восстановление определяемого компонента специально добавляемыми реагентами, удаление или маскирование мешающих примесей. Часто приходится концентрировать определяемый компонент — из пробы большого объема количественно переводить его в раствор малого объема (концентрат), аналитический сигнал которого и предстоит измерять. Близкие по свойствам компоненты пробы в ходе пробоподготовки стараются отделить друг от друга, чтобы легче было определить концентрацию каждого в отдельности. Пробоподготовка требует большего времени и труда, чем другие операции анализа; ее довольно трудно автоматизировать. Следует помнить, что каждая операция пробоподготовки — это дополнительный источник погрешностей анализа. Чем меньше будет таких операций, тем лучше. Идеальными являются методики, не включающие стадию пробоподготовки («пришел, измерил, рассчитал»), но таких методик сравнительно немного.

Измерение аналитического сигнала. Эта стадия требует использования технических средств, прежде всего точных приборов (весов, потенциометров, спектрометров, хроматографов и т. п.), а также предварительно откалиброванной мерной посуды. Средства измерений должны быть аттестованы (поверены), т. е. должно быть заранее известно, какую максимальную погрешность может дать измерение сигнала с помощью данного прибора. Кроме приборов во многих случаях требуются эталоны известного химического состава (образцы сравнения; например, государственные стандартные образцы). С их помощью поверяют и настраивают измерительные приборы, рассчитывают результат анализа и проверяют правильность этого результата (см. гл. 5).

Расчет и оформление результатов. Это самая быстрая и легкая стадия анализа. Нужно только выбрать подходящий способ расчета (по той или иной формуле, графику и т. п.). Так, для определения урана в урановой руде сопоставляют

радиоактивность пробы с радиоактивностью стандартного образца (руды с известным содержанием урана), а затем содержание урана в пробе находят, решая обычную пропорцию. Однако этот простой способ годится далеко не всегда, а применение неподходящего расчетного алгоритма может привести к серьезным ошибкам. Некоторые способы расчета весьма сложны и требуют применения вычислительной техники. В последующих главах будут детально охарактеризованы способы расчета, применяемые в разных методах анализа, их преимущества, условия применимости каждого способа. Результаты анализа должны быть статистически обработаны. Все данные, относящиеся к анализу данной пробы, отражают в лабораторном журнале, а результат анализа вносят в специальный протокол. Иногда сам аналитик сопоставляет результаты анализа нескольких веществ друг с другом или с некоторыми нормативами и делает выводы, например, о соответствии или несоответствии качества исследуемого материала установленным требованиям (аналитический контроль).

1.7. Работа аналитической лаборатории

Изучая теоретические основы и отдельные методы химического анализа, следует учитывать, кто и как будет выполнять такие анализы, где и как могут быть использованы их результаты.

Подавляющее большинство анализов выполняют в специальных лабораториях — *контрольно-аналитических*, или, как еще их называют, *испытательных* (рис. 1.3). На некоторых промышленных предприятиях России они возникли еще в XVIII в. В 1960-е гг. в СССР было около 16 тысяч лабораторий, а в настоящее время их стало еще больше. Практически каждое крупное предприятие имеет лабораторию, проверяющую соответствие сырья и готовой продукции установленным нормативам. Свои аналитические лаборатории имеют различные государственные организации (правоохранительные органы, центры санитарно-эпидемиологического надзора, органы сертификации и контроля качества пищевых продуктов, природоохранные организации), а также лечебные и диагностические медицинские учреждения, службы коммунального хозяйства и т. п.

Многочисленные и разнообразные анализы выполняют в научных организациях, особенно химического и химико-технологического профиля. Как правило, анализ «своих» объектов выполняют сами исследователи, независимо от того,



Рис. 1.3. В химико-аналитических лабораториях

в какой области химии они работают. Наиболее сложные анализы для них делают специализированные аналитические лаборатории, входящие в структуру многих научно-исследовательских институтов.

Анализы и другие сложные измерения — основное дело испытательных лабораторий, это отличает их от научно-исследовательских или учебных лабораторий, где анализы проводят эпизодически. И в России, и в других странах работу испытательных лабораторий в обязательном порядке контролируют государственные органы (региональные центры по метрологии и стандартизации). Особенно строго контролируют лаборатории, связанные с обеспечением жизнедеятельности людей и мониторингом состояния окружающей среды, обороной страны, работой правоохранительных органов, внешнеторговыми операциями.

Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» требует, чтобы любая испытательная лаборатория была *аккредитована*, т. е. признана компетентной для выполнения измерений (анализов) в определенной области. Например, одна лаборатория признается аккредитованной в области определения химического состава объектов окружающей среды, в частности определения тяжелых металлов и пестицидов в водах и почвах, другая лаборатория — в области определения состава и показателей качества нефтепродуктов, третья — в области анализа металлов. В официальных документах об аккредитации перечисляют все виды химического анализа, которые можно выполнять в данной лаборатории. Такие документы выдают на определенный срок и только после тщательной проверки возможностей лаборатории (наличия квалифицированных кадров, поверенных приборов, стандартных образцов, метрологически аттестованных методик и т. п.). В ходе проверки лаборатория обязательно выполняет множество контрольных анализов (анализируют пробы зашифрованного, но точно известного состава). Лаборатория не получит свидетельства об аккредитации, если ошибки при проведении контрольных анализов превысят некоторый допустимый предел. Очевидно, получить документы об аккредитации очень сложно — и это правильно, ведь на основании выдаваемых лабораторией протоколов с результатами анализов будут принимать решения огромной важности. Врачи будут назначать лечение, юристы — выносить судебные приговоры, экономисты — решать вопрос о качестве товаров и т. д. Именно поэтому нельзя допустить, чтобы все, кто захочет выполнять анализы (или другие измерения), независимо от компетенции и технических возможностей, имели право на выдачу официальных заключений с результатами анализа. Лаборатория не имеет права на ошибку!

В состав лаборатории обычно входят группы специалистов (химиков, инженеров, лаборантов), использующих одни и те же методы анализа (хроматографические, спектральные, химические и т. п.) либо занимающихся анализом однотипных материалов. Аналитик-профессионал руководит лаборантами и контролирует их деятельность. По мере автоматизации анализов число лаборантов сокращается, а характер деятельности специалистов меняется. В крупных лабораториях нередко имеются методические группы, основная цель которых — разработка, поиск, усовершенствование и приспособление к запросам предприятия тех методик анализа, которые требуются в каждом конкретном случае.

Главная функция контрольно-аналитической лаборатории — это *контроль* состава материалов, т. е. сопоставление результатов анализа с установленными нормативами. Контролируя качество сырья или готовой продукции, работник заводской лаборатории учитывает требования государственных, отраслевых стан-

дартов и технических условий предприятия. По результатам анализа принимают решения о пригодности материалов, выявляют брак, вносят изменения в процесс производства. Для целей контроля не так важно, какой именно результат анализа получен — важно, отвечает ли он установленному нормативу качества.

Разумеется, контрольные функции имеют не только заводские лаборатории. Так, результаты, полученные при анализе объектов окружающей среды, сопоставляют с *предельно допустимыми концентрациями* (ПДК) опасных компонентов. Только для природных и питьевых вод в России установлены ПДК на множество (более 500) вредных примесей. Выявив наличие какой-либо из них в исследуемой воде и определив количественное содержание этой примеси, аналитик природоохранной лаборатории обязательно укажет в заключении, превышает ли найденное содержание соответствующее значение ПДК. Нормативы используют и в клинических лабораториях — лаборант, выполняющий анализ крови, обязательно выделит (подчеркнет красным карандашом) результаты, которые выходят за границы нормы. На основании протоколов и заключений, выдаваемых испытательной лабораторией и включающих результаты анализов, проводят *сертификацию* изделий, пищевых продуктов и других товаров, т.е. признание их соответствия установленному комплексу требований. При сертификации учитывают не только химический состав товара, но и множество других показателей качества, поэтому официальные документы о сертификации товаров и услуг выдают не аналитические лаборатории, а специализированные организации, но с учетом заключений этих лабораторий.

Далеко не все задачи аналитического контроля решают в специализированных лабораториях. Не меньшее значение имеет и оперативный контроль технологических процессов. Такой контроль обычно осуществляют непосредственно на месте проведения процесса, например в цехе. Внелабораторные методы анализа важны и в других случаях: в исследованиях состава объектов окружающей среды, в агрохимическом анализе, для диагностики острых заболеваний, при предотвращении террористических актов и т.п. Такие анализы нередко приходится выполнять не профессионалам-аналитикам, а специалистам, работающим в других областях. Разумеется, доступные для таких исполнителей простые и надежные методики внелабораторного контроля разрабатывают и проверяют профессионалы-аналитики в лабораториях научно-исследовательских институтов.

Контролировать большое число объектов по множеству показателей состава с учетом многочисленных установленных нормативов экономически нецелесообразно, да и технически невозможно, это потребовало бы слишком больших затрат времени и средств. Так, никто не определяет состав минеральной воды в каждой бутылке, направляемой в продажу; проводят лишь *выборочный контроль*. Аналитики вместе с другими специалистами участвуют в отборе наиболее важных показателей для последующего выборочного контроля, определяют точки пробоотбора и периодичность контроля.

Анализ нужен не только для контроля, но и для *мониторинга* исследуемых процессов. В этом случае анализы проводят многократно, с определенной периодичностью, причем обязательно по одной и той же методике. В отличие от контроля здесь важны не абсолютные значения, а тенденция в изменении результатов однотипных анализов. Например, периодически контролируя содержание одной и той же вредной примеси в атмосфере, можно сделать вывод о постепенном накоплении этой примеси или об источнике ее выброса. Ежедневно, анализируя состав смеси в некотором реакторе, технологи могут следить за постепен-

ной дезактивацией катализатора и своевременно принимать решение о его замене. Результаты повторных клинических анализов дают возможность следить за ходом болезни и корректировать лечение. Это тоже мониторинг.

Часто от аналитика требуется не просто определить содержание тех или иных компонентов в исследуемом веществе, но и интерпретировать эти данные, сделать какие-либо выводы, т. е. дать *экспертное заключение*. Например, к какому типу стекла относятся осколки, найденные на месте преступления; откуда в древности брали глину для изготовления керамики, найденной на месте археологических раскопок; совпадают ли (с учетом погрешности анализов) по составу образцы лекарственного препарата, изготовленные разными фирмами, и т. п. В экспертное заключение иногда нужно включать и какие-либо рекомендации. Поэтому квалифицированный химик-аналитик должен знать не только все, что относится собственно к анализу, но и многое о самих объектах анализа, их свойствах и применении.

Отметим, что аналитик несет персональную ответственность за правильность и объективность полученных им результатов анализа, а тем более за экспертные заключения.

Совокупность контрольно-аналитических лабораторий и вспомогательных организаций (например, производящих приборы и реактивы) образует систему *аналитической службы*. В этой неформальной системе в России работают десятки тысяч аналитиков-практиков, которые изо дня в день определяют химический состав разных материалов. Как правило, работники лабораторий не занимаются исследованиями, а пользуются методиками, созданными аналитиками-исследователями, работающими в научно-исследовательских институтах и вузах. Таким образом, аналитическая служба реализует достижения аналитической химии как науки, а последняя в свою очередь обобщает опыт, накопленный практикой.

Контрольные задания

1. Каковы цели химического анализа как вида практической деятельности и аналитической химии как науки? Дайте краткое определение понятий «аналитическая химия», «химический анализ». В чем сходство и различие химического анализа и аналитической химии?

2. В некоторой лаборатории элементный состав минералов определяют, измеряя с помощью соответствующих приборов их радиоактивность. Никакие реактивы при этом не используют. Можно ли считать, что в лаборатории выполняют химические анализы? Обоснуйте свое мнение.

3. Подумайте, в каких ситуациях могут обратиться за помощью в лабораторию химического анализа следователь прокуратуры, врач-терапевт, инженер-технолог нефтеперерабатывающего предприятия, агроном, химик-органик, занимающийся синтезом биологически активных соеди-

нений, геолог, археолог (перечень можно продолжить самостоятельно). Какие объекты придется анализировать и какие компоненты нужно будет определять при каждом таком обращении?

4. Подумайте, в каких ситуациях специалист в области аналитической химии может обратиться за помощью к математикам, физикам, специалистам по компьютерам и программному обеспечению, химикам-органикам, биохимикам, биологам (перечень можно продолжить самостоятельно). Какие знания, накопленные смежными науками, получала аналитическая химия по мере своего развития?

5. Правильно расставьте пропущенные слова в следующем тексте: «Вероятно, знаменитый французский химик А. Лавуазье был первым, кто стал систематически... элементный состав органических веществ. В частности, он... этиловый спирт и уксус-

ную кислоту. Вначале в продуктах сгорания этих веществ он ... углерод и водород с помощью качественных реакций. Теперь нужно было научиться количественно ... эти элементы, ... их процентное содержание».

Пропущенные слова: обнаружить, анализировать, определять, рассчитывать, исследовать.

6. Приведите примеры разных видов химического анализа. По каким принципам их выделяют?

7. Приведите примеры разных методов химического анализа. По какому принципу выделяют отдельные методы, по каким характеристикам они отличаются друг от друга? Как вы думаете, потенциометрия, арбитражный анализ, гравиметрический

анализ, гидрохимический анализ — это методы или виды анализа?

8. В чем отличие понятий «методика анализа» и «метод анализа»? Приведите конкретные примеры методик. Каким практическим требованиям должна удовлетворять любая методика количественного анализа? Какие характеристики методики нужно принимать во внимание, когда проверяют, насколько данная методика отвечает этим общим требованиям?

9. Какие основные стадии (этапы) характерны для методик количественного анализа? Какие стадии обязательно присутствуют в любой методике, без каких стадий иногда удается обойтись? Приведите примеры «неполных» методик. В чем их преимущества?