



# АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Авторы: Ю. А. Золотов

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ, наука об определении химич. состава веществ и материалов и, в некоторой степени, химич. строения соединений. А. х. развивает общие теоретич. основы химич. анализа, разрабатывает методы определения компонентов изучаемого образца, решает задачи анализа конкретных объектов. Осн. цель А. х. – создание методов и средств, обеспечивающих, в зависимости от поставленной задачи, точность, высокую чувствительность, экспрессность и избирательность анализа. Разрабатываются и методы, позволяющие анализировать микрообъекты, проводить локальный анализ (в точке, на поверхности и т. д.), анализ без разрушения образца, на расстоянии от него (дистанционный анализ), непрерывный анализ (напр., в потоке), а также устанавливать, в виде какого химич. соединения и в какой физич. форме существует в образце определяемый компонент ([вещественный химический анализ](#)) и в состав какой фазы он входит ([фазовый анализ](#)). Важные тенденции развития А. х. – автоматизация анализов, особенно при контроле технологич. процессов, и математизация, в частности широкое использование компьютеров.

## Структура науки

Можно выделить три крупных направления А. х.: общие теоретич. основы; разработка методов анализа; А. х. отдельных объектов. В зависимости от цели анализа различают [качественный химический анализ](#) и [количественный химический анализ](#). Задача первого – обнаружение и идентификация компонентов анализируемого образца, задача второго – определение их концентраций или масс. В зависимости от того, какие именно компоненты нужно обнаружить или определить, различают [изотопный анализ](#), [элементный анализ](#), структурно-групповой (в т. ч. функциональный) анализ, молекулярный анализ, вещественный анализ, фазовый анализ. По природе анализируемого объекта различают анализ неорганич. и органич. веществ, а также биологич. объектов.

В теоретич. основах А. х. существенное место занимает т. н. хемотрика, в т. ч. [метрология химического анализа](#). Теория А. х. включает также учения об отборе и подготовке аналитич. проб, о составлении схемы анализа и выборе методов, о принципах и путях автоматизации анализа, применения ЭВМ, а также принципы рационального использования результатов химич. анализа. Особенность А. х. – изучение не общих, а индивидуальных, специфич. свойств и характеристик объектов, что обеспечивает избирательность мн. аналитич. методов. Благодаря тесным связям с достижениями физики, математики, биологии и разл. областей техники (это особенно касается методов анализа) А. х. превращается в дисциплину на стыке наук. Часто используют и иные названия этой дисциплины – аналитика, аналитическая наука и др.

В А. х. различают методы разделения, определения (обнаружения) и [гибридные методы анализа](#), обычно сочетающие методы первых двух групп. Методы определения удобно подразделять на [химические методы анализа](#) ([гравиметрический анализ](#), [титриметрический анализ](#), [электрохимические методы анализа](#), [кинетические методы анализа](#)), [физические методы анализа](#) (спектроскопич., ядерно-физич. и др.),

[биохимические методы анализа](#) и [биологический метод анализа](#). Химич. методы основаны на химич. реакциях (взаимодействие вещества с веществом), физические – на физич. явлениях (взаимодействие вещества с излучениями, потоками энергии), биологические используют отклик организмов или их фрагментов на изменения в окружающей среде.

Практически все методы определения основаны на зависимости к.-л. доступных измерению свойств веществ от их состава. Поэтому важное направление А. х. – отыскание и изучение таких зависимостей с целью использования их для решения аналитич. задач. При этом почти всегда необходимо найти уравнение связи между свойством и составом, разработать способы регистрации свойства (аналитич. сигнала), устранить помехи со стороны др. компонентов, исключить мешающее влияние разл. факторов (напр., флуктуации темп-ры). Величину аналитич. сигнала переводят в единицы, характеризующие количество или концентрацию компонентов. Измеряемыми свойствами могут быть, напр., масса, объём, поглощение света, сила тока.

Большое внимание уделяется теории методов анализа. Теория химич. методов базируется на представлениях о неск. осн. типах химич. реакций, широко используемых в анализе (кислотно-основных, окислительно-восстановит., комплексообразования), и неск. важных процессах (осаждения, растворения, экстракции). Внимание к этим вопросам обусловлено историей развития А. х. и практич. значимостью соответствующих методов. Поскольку, однако, доля химич. методов уменьшается, а доля физических, биохимических и биологического растёт, большое значение приобретает совершенствование теории методов последних групп и интегрирование теоретич. аспектов отдельных методов в общей теории А. х.

## История развития

Испытания материалов проводились ещё в глубокой древности; напр., руды исследовали с целью установления их пригодности для плавки, разл. изделия – для определения содержания в них золота и серебра. Алхимики 14–16 вв. выполнили огромный объём эксперим. работ по изучению свойств веществ, положив начало химич. методам анализа. В 16–17 вв. (период ятрохимии) появились новые химич. способы обнаружения веществ, основанные на реакциях в растворе (напр., открытие ионов серебра по образованию осадка с хлорид-ионами). Родоначальником научной А. х. считают Р. [Бойля](#), который ввёл понятие «химический анализ».

До сер. 19 в. А. х. была осн. разделом химии. В этот период были открыты мн. химич. элементы, выделены составные части некоторых природных веществ, установлены законы постоянства состава и кратных отношений, закон сохранения массы. Швед. химик и минералог Т. Бергман разработал схему систематич. качественного анализа, активно использовал сероводород как аналитич. реагент, предложил методы анализа в пламени с получением перлов. В 19 в. систематич. качественный анализ усовершенствовали нем. химики Г. Розе и К. Фрезениус. Этот же век ознаменовался огромными успехами в развитии количественного анализа. Был создан титриметрич. метод (франц. химик Ф. Декрузиль, Ж. [Гей-Люссак](#)), значительно усовершенствован гравиметрич. анализ, разработаны методы анализа газов. Большое значение имело развитие методов элементного анализа органич. соединений (Ю. [Либих](#)). В кон. 19 в. сложилась теория А. х., в основу которой было положено учение о химич. равновесии в растворах с участием ионов (гл. обр. В. [Оствальд](#)). К этому времени преобладающее место в А. х. заняли методы анализа ионов в водных растворах.

В 20 в. разработаны методы микроанализа органич. соединений (Ф. [Прегль](#)). Был предложен полярографич. метод (Я. [Гейровский](#), 1922). Появилось много физич. методов, напр. масс-спектрометрический, рентгеновский,

ядерно-физические. Большое значение имело открытие хроматографии (М. С. [Цвет](#), 1903) и создание разных вариантов этого метода, в частности распределительной хроматографии (А. [Мартин](#) и Р. [Синг](#), 1941).

В России и в СССР большое значение для А. х. имел учебник Н. А. [Меншуткина](#) «Аналитическая химия» (выдержал 16 изданий). М. А. [Ильинский](#) и Л. А. [Чугаев](#) ввели в практику органич. аналитич. реагенты (кон. 19 – нач. 20 вв.), Н. А. Тананаев разработал капельный метод качественного анализа (одновременно с австр. химиком Ф. Файглем, 1920-е гг.). В 1938 Н. А. Измайлов и М. С. Шрайбер впервые описали тонкослойную хроматографию. Большой вклад рос. учёные внесли в изучение комплексообразования и его аналитич. использования (И. П. [Алимарин](#), А. К. Бабко), в теорию действия органич. аналитич. реагентов, в развитие масс-спектрометрии, методов фотометрии, [атомно-абсорбционной спектрометрии](#) (Б. В. Львов), в А. х. отдельных элементов, особенно редких и платиновых, и ряда объектов – веществ высокой чистоты, минер. сырья, металлов и сплавов.

Требования практики всегда стимулировали развитие А. х. Так, в 1940–1970-х гг. в связи с необходимостью анализа ядерных, полупроводниковых и др. материалов высокой чистоты были созданы такие чувствительные методы, как радиоактивац. анализ, искровая масс-спектрометрия, химико-спектральный анализ, инверсионная вольтамперометрия, обеспечивающие определение до  $10^{-7}$ – $10^{-8}\%$  примесей в чистых веществах, т. е. 1 часть примеси на 10–1000 млрд. частей осн. вещества. Для развития чёрной металлургии, особенно в связи с переходом к скоростному конвертерному произ-ву стали, решающее значение приобрела экспрессность анализа. Использование т. н. квантометров – фотоэлектрич. приборов для многоэлементного оптич. спектрального или рентгеновского анализа – позволяет проводить анализ в ходе плавки.

Необходимость анализа сложных смесей органич. соединений обусловила интенсивное развитие газовой хроматографии, которая позволяет анализировать сложнейшие смеси, содержащие неск. десятков и даже сотен веществ. А. х. в значительной мере способствовала овладению энергией атомного ядра, изучению космоса и океана, развитию электроники, прогрессу биологич. наук.

## Предмет исследования

Важную роль играет развитие теории отбора проб анализируемых материалов; обычно вопросы пробоотбора решаются совместно со специалистами по изучаемым веществам (напр., с геологами, металловедами). А. х. разрабатывает способы разложения проб – растворение, сплавление, спекание и пр., которые должны обеспечивать полное «вскрытие» образца и не допускать потерь определяемых компонентов и загрязнений извне. В задачи А. х. входит развитие техники таких общих операций анализа, как измерение объёмов, фильтрование, прокаливание. Одна из задач А. х. – определение направлений развития аналитич. приборостроения, создание новых схем и конструкций приборов (что чаще всего служит завершающей стадией разработки метода анализа), а также синтез новых аналитич. реактивов.

Для количественного анализа очень важны метрологич. характеристики методов и приборов. В связи с этим А. х. изучает проблемы градуировки, изготовления и использования образцов сравнения (в т. ч. стандартных образцов) и др. средств обеспечения правильности анализа. Существенное место занимает обработка результатов анализа, особенно компьютерная. Для оптимизации условий анализа используют теорию информации, теорию распознавания образов и др. разделы математики. Компьютеры применяют не только для обработки результатов, но и для управления приборами, учёта помех, градуировки, планирования эксперимента;

существуют аналитич. задачи, решаемые только с помощью компьютеров, напр. идентификация молекул органич. соединений с использованием экспертных систем.

А. х. определяет общие подходы к выбору путей и методов анализа. Разрабатываются способы сопоставления методов, определяются условия их взаимозаменяемости и сочетания, принципы и пути автоматизации анализа. Для практич. использования анализа необходима разработка представлений о его результате как показателе качества продукции, учение об экспрессном контроле технологич. процессов, создание экономичных методов. Большое значение для аналитиков, работающих в разл. отраслях экономики, имеют унификация и стандартизация методов. Разрабатывается теория оптимизации количества информации, необходимой для решения аналитич. задач.

## Методы анализа

В зависимости от массы или объёма анализируемого образца методы разделения и определения иногда подразделяют на макро-, микро- и ультрамикрометоды.

К разделению смесей обычно прибегают в тех случаях, когда методы прямого определения или обнаружения не позволяют получить правильный результат из-за мешающего влияния др. компонентов образца. Особенно важно т. н. относительное концентрирование – отделение малых количеств определяемых компонентов от значительно больших количеств осн. компонентов пробы. Разделение смесей может базироваться на различии в термодинамич., или равновесных, характеристиках компонентов (константы обмена ионов, константы устойчивости комплексов) или кинетич. параметрах. Для разделения применяют гл. обр. хроматографию, экстракцию, осаждение, дистилляцию, а также электрохимич. методы, напр. электроосаждение. Методы определения – осн. группа методов А. х. В основе методов количественного анализа лежит зависимость к.-л. доступного измерению свойства, чаще всего физического, от состава образца. Эта зависимость должна описываться определённым и известным образом. Быстро развиваются гибридные методы анализа, объединяющие разделение и определение. Напр., газовая хроматография с разл. детекторами – важнейший метод анализа сложных смесей органич. соединений. Для анализа смесей труднолетучих и термически нестойких соединений более удобна высокоэффективная жидкостная хроматография.

Для анализа необходимы разнообразные методы, поскольку каждый из них имеет свои достоинства и ограничения. Так, чрезвычайно чувствительные радиоактивационные и масс-спектральные методы требуют сложной и дорогостоящей аппаратуры. Простые, доступные и очень чувствительные кинетич. методы не всегда обеспечивают нужную воспроизводимость результатов. При оценке и сопоставлении методов, при выборе их для решения конкретных задач принимаются во внимание мн. факторы: метрологич. параметры, сфера возможного использования, наличие аппаратуры, квалификация аналитика, традиции и др. Важнейшие среди этих факторов – такие метрологич. параметры, как предел обнаружения или диапазон концентраций (количеств), в котором метод даёт надёжные результаты, и точность метода, т. е. правильность и воспроизводимость результатов. В ряде случаев большое значение имеют «многокомпонентные» методы, позволяющие определять сразу большое число компонентов, напр. атомно-эмиссионный и рентгеновский спектральный анализ, хроматография. Роль таких методов возрастает. При прочих равных условиях предпочитают методы прямого анализа, т. е. не связанного с химич. подготовкой пробы; однако часто такая подготовка необходима. Напр., предварительное концентрирование исследуемого компонента позволяет определять меньшие его

концентрации, устранять трудности, связанные с неомогенным распределением компонента в пробе и отсутствием образцов сравнения.

Особое место занимают методы локального анализа. Существенную роль среди них играют рентгеноспектральный микроанализ (электронный зонд), масс-спектрометрия вторичных ионов, оптическая спектроскопия и др. физич. методы. Они имеют большое значение, в частности при анализе поверхностных слоёв твёрдых материалов или включений в горных породах.

Специфич. группу составляют методы элементного анализа органич. соединений. Органич. вещество тем или иным способом разлагают, а его компоненты в виде простейших неорганич. соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$  и др.) определяют обычными методами. Применение газовой хроматографии позволило автоматизировать элементный анализ; для этого выпускаются С-, Н-, N-, S-анализаторы и др. приборы-автоматы. Анализ органич. соединений по функциональным группам (функциональный анализ) выполняется разл. химич., электрохимич., спектральными (ЯМР или ИК-спектроскопия) или хроматографич. методами.

При фазовом анализе, т. е. определении химич. соединений, образующих отд. фазы, последние предварительно выделяют, напр. с помощью избирательного растворителя, а затем полученные растворы анализируют обычными методами; весьма перспективны физич. методы фазового анализа без предварительного разделения фаз.

## Практическое значение

Химич. анализ обеспечивает контроль мн. технологич. процессов и качества продукции в различных отраслях пром-сти, играет огромную роль при поиске и разведке полезных ископаемых, в добывающей пром-сти. С помощью химич. анализа контролируется чистота окружающей среды (почвы, воды и воздуха). Достижения А. х. используют в разл. отраслях науки и техники: атомной энергетике, электронике, океанологии, биологии, медицине, криминалистике, археологии, космич. исследованиях. Велико экономич. значение химич. анализа. Так, точное определение легирующих добавок в металлургии позволяет экономить ценные металлы. Переход на непрерывный автоматич. анализ в мед. и агрохимич. лабораториях даёт возможность резко увеличить скорость анализов (крови, мочи, вытяжек из почв и т. д.) и уменьшить численность сотрудников лабораторий.

## Литература

Лит.: Основы аналитической химии: В 2 кн. / Под ред. Ю. А. Золотова. М., 2002; Аналитическая химия: В 2 т. М., 2003–2004.