

Ю. А. ЗОЛОТОВ, В. И. ВЕРШИНИН

# ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

*Допущено*

*Учебно-методическим объединением  
по классическому университетскому образованию  
в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по специальности 020101.65 «Химия»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2007

УДК 543(075.8)

ББК 24.4я73

3-801

Рецензенты:

зав. кафедрой аналитической химии, декан отделения магистратуры  
Российского химико-технологического университета им. Д. И. Менделеева,  
профессор, д-р хим. наук *В. В. Кузнецов*;  
профессор Российского государственного университета нефти и газа  
им. И. М. Губкина, д-р хим. наук *С. И. Петров*;  
доцент химического факультета Московского государственного университета  
им. М. В. Ломоносова, канд. хим. наук *О. Н. Зефирова*

**Золотов Ю. А.**

3-801 История и методология аналитической химии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. А. Золотов, В. И. Вершинин. — М. : Издательский центр «Академия», 2007. — 464 с.

ISBN 978-5-7695-3581-9

Рассмотрены этапы развития науки о химическом анализе с древнейших времен до начала XXI в. Проанализировано, как менялись приоритеты в выборе объектов анализа, как рождались и развивались методы анализа, когда и как возникали новые проблемы, часто очень трудные, но мобилизующие и дающие мощный импульс развитию науки и практики химического анализа. Приведены сведения об организационных формах совместной деятельности специалистов-аналитиков. Особое внимание уделено методологическим, философским аспектам аналитической химии.

Для студентов химических специальностей высших учебных заведений. Может быть полезно аспирантам, научным сотрудникам и преподавателям, интересующимся проблемами истории и методологии химии.

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*

© Золотов Ю. А., Вершинин В. И., 2007

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2007

ISBN 978-5-7695-3581-9

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2007

# ОГЛАВЛЕНИЕ

К читателю .....	3
Введение .....	6
<b>Глава 1. Возникновение и развитие химического анализа .....</b>	<b>15</b>
1.1. Возникновение «пробирного искусства» .....	15
1.2. Возникновение представлений о составе и строении веществ .....	19
1.3. Алхимики и их роль в развитии химического анализа .....	23
1.4. Роберт Бойль как химик-аналитик .....	27
<b>Глава 2. Развитие классических методов химического анализа в XVIII—XIX вв. ....</b>	<b>33</b>
2.1. Общие замечания .....	33
2.2. Качественный анализ .....	34
2.3. Гравиметрический (весовой) анализ .....	42
2.4. Титриметрический (объемный) анализ .....	55
<b>Глава 3. Формирование аналитической химии как науки .....</b>	<b>67</b>
3.1. Когда возникла наука «аналитическая химия»? .....	67
3.2. Необходимость теоретического обоснования химических методов анализа .....	71
3.3. Разработка теории химических методов анализа В. Оствальдом и его школой .....	77
3.4. Применение органических реагентов и неводных растворителей .....	85
<b>Глава 4. Развитие инструментальных методов .....</b>	<b>92</b>
4.1. Общие замечания .....	92
4.2. Электрохимические методы .....	96
4.3. Колориметрия, фотометрия и родственные оптические методы .....	111
4.4. Кинетические и ферментативные методы .....	122
4.5. Атомно-эмиссионная спектроскопия .....	127
4.6. Атомно-абсорбционная спектрометрия .....	136
4.7. Рентгеновские методы .....	141

4.8. Радиоспектроскопические методы .....	148
4.9. Масс-спектрометрия .....	152
4.10. Радиоаналитические методы .....	159
4.11. Хроматография .....	166
4.12. Экстракция и ионный обмен .....	172
<b>Глава 5. История анализа важнейших объектов и решения крупных прикладных задач .....</b>	<b>176</b>
5.1. Общие замечания .....	176
5.2. Анализ минерального сырья .....	181
5.3. Анализ металлов и сплавов .....	186
5.4. Анализ материалов атомной техники и решение атомной проблемы .....	192
5.5. Анализ полупроводников и других функциональных материалов, решение проблемы анализа высокочистых веществ .....	199
5.6. Анализ объектов окружающей среды .....	205
5.7. Анализ медико-биологических объектов .....	212
5.8. Анализ объектов иного происхождения .....	218
<b>Глава 6. Обеспечение химического анализа .....</b>	<b>225</b>
6.1. Приборы .....	225
6.2. Автоматизация анализа .....	237
6.3. Метрологическое обеспечение анализа .....	240
6.4. Стандартные образцы состава и химические реактивы .....	249
<b>Глава 7. Организационные формы совместной деятельности аналитиков .....</b>	<b>255</b>
7.1. Общие замечания .....	255
7.2. Учреждения .....	255
7.3. Научные журналы .....	258
7.4. Международные и национальные объединения аналитиков .....	263
7.5. Конференции, выставки, премии .....	266
<b>Глава 8. Аналитическая химия в России .....</b>	<b>276</b>
8.1. Химический анализ в России в XVIII—XIX вв. ....	276
8.2. Предпосылки и условия развития отечественной науки в XX в. ....	289
8.3. Развитие отечественной аналитической химии в XX в. ....	296
Дореволюционный период (1900—1917) .....	297
Период преобразований науки и образовательной системы (1918—1932) .....	300
Период быстрого развития науки (1933—1969) .....	304
Период относительной стабильности (1970—1990) .....	322
Кризисный период (1991—2000) .....	330
8.4. Научные школы и география исследований .....	331

<b>Глава 9. История аналитической химии как учебной дисциплины</b> .....	343
9.1. Общие замечания .....	343
9.2. История изучения химического анализа в высшей школе .....	344
9.3. Базовый курс аналитической химии в российских вузах .....	353
9.4. Подготовка профессиональных аналитиков .....	360
<b>Глава 10. Методологические проблемы аналитической химии</b> .....	366
10.1. Методология науки .....	366
10.2. Дефиниции аналитической химии .....	373
10.3. Объект и предмет аналитической химии .....	379
10.4. Цели и задачи аналитической химии. Фундаментальные и прикладные аналитические исследования .....	386
10.5. Внутренняя структура аналитической химии как системы знаний .....	394
10.6. Аналитическая химия в системе наук .....	398
<b>Глава 11. Приоритетные направления развития аналитической химии и химического анализа</b> .....	407
11.1. Масштаб и уровень исследований в разных странах .....	407
11.2. Оценка личного вклада .....	412
11.3. Актуальные задачи и пути их решения .....	414
11.4. Тенденции развития аналитической химии в XXI в. ....	419
Календарь важнейших событий в истории аналитической химии .....	431
Список литературы .....	445

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

---

### 1.1. Возникновение «пробирного искусства»

Необходимость в химическом анализе возникает тогда, когда люди начинают изучать и сравнивать свойства веществ разного состава, количественно оценивать эти свойства, а главное — целенаправленно получать вещества с заданными свойствами. Неизвестно, когда люди стали изучать состав окружающих их веществ, но понятно, что это было очень давно, скорее всего в конце неолита. Без такого изучения невозможно было бы отыскивать руды и получать из них сплавы (например, бронзу); следовательно, древние рудознатоцы и кузнецы были прямыми предшественниками современных химиков-аналитиков. Дубление кожи, окрашивание тканей, изготовление мыла и некоторые другие ремесла также требовали изучения состава и свойств природных веществ. Соответствующие знания были важны и для получения лекарств растительного и минерального происхождения, поэтому предшественниками аналитиков надо считать и древних врачей-целителей, знахарей, целителей-травников. Нередко они «по совместительству» были жрецами. Накопленные людьми знания о составе и свойствах веществ не были общедоступными. И сами знания, и основанные на них ремесла обычно передавались от отца к сыну или от учителя к ученику. Люди, способные непонятным для окружающих образом получить блестящий металл из какого-то камня или спасти умирающего, дав ему выпить отвар какой-то коры, зачастую считались (и не только в древности) могущественными и опасными колдунами, их таинственные знания казались непостижимыми и безграничными. Особенно характерно это для стран Древнего Востока. Физические и химические превращения веществ: например, воды в лед (или пар), глины в керамику или стекло, дерева в золу, руды в металл — служили основой множества мифов и легенд.

Мистический туман плотно окутывает ранние стадии металлургии, медицины и химии, и это серьезно мешает изучению истории научных открытий. Неясно, в частности, какими признаками руководствовались люди, отыскивая среди множества минералов те, из которых можно получить бронзу или железо, ведь сделать это только на основании внешнего вида минералов практически невозможно. По-видимому, при поиске полезных иско-

паемых люди пользовались накопленными в ходе многовековых наблюдений косвенными признаками присутствия разных металлов. Например, издавна было известно, что поблизости от залежей тех или иных руд можно найти определенные виды растений, при этом внешние признаки некоторых из них имеют характерные особенности. Древние рудознатоцы могли обращать внимание и на эффекты, наблюдаемые при сожжении или нагревании исследуемого материала (цвет и запах дыма).

Возникновению химического анализа способствовали разделение труда и торговля. Для покупателя естественно стремление проконтролировать качество и измерить количество приобретаемого им товара. Качество товаров, в том числе лекарственных и косметических веществ, масла и вина, в древности проверяли по цвету, блеску, прозрачности, запаху и другим органолептическим признакам, как это и сейчас делается. Весы и гири были известны еще в древнем Вавилоне в III тысячелетии до н. э. Интересно, что на гирях был указан их вес, выраженный в некоторых узаконенных единицах (минах), стояла государственная печать. За подделку мер веса, как и за фальсификацию качества товаров, в древности полагались суровые наказания, вплоть до смертной казни. В созданном в I тысячелетии до н. э. Ветхом Завете можно прочесть: «Не должны быть двоякие гири, большие и меньшие. Гиря у тебя должна быть точная и правильная, чтобы продлились дни твои на земле» (Второзаконие, гл. 25).

С появлением денег весы стали использовать для проверки качества монет и других изделий из золота и серебра, а также для оценки содержания этих металлов в горных породах. Драгоценные металлы на долгое время стали важнейшими объектами анализа. Известный философ и историк науки Дж. Бернал писал, что химический анализ естественно возник из необходимости извлечения наиболее драгоценных металлов и предотвращения подделок. Обнаружение и количественное определение примесей в сплавах на основе золота и серебра даже сегодня является весьма сложной аналитической задачей.

Знания и умения, связанные с определением драгоценных металлов и примесей в них, называли «*пробирным искусством*». В античный период и в Средневековье термин «пробирное искусство» был синонимом тогда еще не существовавшего понятия «химический анализ». Поэтому первый этап в истории аналитической химии — с древнейших времен до конца XVII в. н. э. — можно назвать периодом возникновения и преимущественного использования методов «пробирного искусства». Термин «пробирное искусство» нередко использовали и в тех случаях, когда исследовали объекты, заведомо не содержащие золота или серебра, например когда оценивали качество медных или железных руд. Так, в XVI в. знаменитый химик и металлург Г. Агрикола писал, что с

помощью «пробирного искусства» металлурги узнают качество и количество металла в руде и сплаве. Приемы «пробирного искусства» обычно повторяли уже известные людям способы высокотемпературной выплавки металлов из руд, представляя собой «малую металлургию». Были известны и другие приемы, например «пробирное искусство мокрым путем», но они не были основными. Важными методами «пробирного искусства» стали «испытание огнем» (взвешивание пробы до и после обжига) и пробирная плавка (выделение золота из расплава в присутствии реагентов, в частности соединений свинца).

Наиболее древним приемом является «испытание огнем». Так, письмо владыки Вавилона египетскому фараону Аменофису, правившему с 1375 по 1350 г. до н. э., гласит: «Брат мой Аменофис не следит за золотом, которое отправляют мне в последнее время... после обжига в печи этого золота стало меньше, чем был вес денег...»\*. В Лейденском папирусе, созданном в Древнем Египте, указывается, что если золото после обжига не изменяется, его считают чистым, если оно твердеет — в нем есть медь, а если белеет — серебро. Методики испытания огнем, родственные современному гравиметрическому анализу, применяли для выявления фальшивых монет и в других странах, например в Древнем Риме, однако они не давали информации о составе примесей. Более сложные методики включали обработку расплавленной пробы солью (цементация) и/или свинцом (пробирная плавка). При этом примесные металлы образовывали соединения, которые поглощались стенками специального плавильного сосуда («купели») или испарялись, а на дне оставался «королек» из чистого золота. Надо было лишь правильно выбрать состав смеси для изготовления купели. По разным данным, адсорбентами расплавленных примесей могли быть толченый кирпич, сланец, зола и пережженные кости. Римский писатель Плиний в I в. н. э. писал об этой операции («купелировании»): «Смесь заберет все, что не золото, и золото станет чистым»\*. Однако пробирная плавка не была единственным способом анализа «нечистого» золота. О чистоте золота судили и по виду черты, оставляемой испытуемым образцом на специальном «пробном камне» (кремнистом сланце). Позднее эту черту стали сравнивать с чертой, оставляемой на том же камне образцами с известным содержанием золота (эталоны). Таким способом удавалось не только определить соотношение золота и серебра («пробу» сплава), но и содержание в нем меди. Этот способ, который еще древние римляне считали «удивительным, но не ложным», дожил до наших дней как один из приемов технического анализа.

В античный период греки и римляне уже не считали подобные знания тайными и священными (в отличие от стран Востока). Сведения о методах «пробирного искусства» и испытания лекарственных веществ открыто излагались в книгах Гиппократ, Диоскорида, Теофраста, Плиния и других авторов.

\* Цит. по кн.: *Сабадвари Ф., Робинсон А.* История аналитической химии. — М.: Мир, 1984. — С. 17, 18.



К сожалению, многие достижения древних в области анализа до нас не дошли, сведения о них могли, в частности, погибнуть в результате запрещения химии императором Диоклетианом и сожжения всех трактатов по химии, а также в результате гибели библиотеки в Александрии — научной столице эллинистического мира. Тем не менее ясно, что уровень развития анализа в античном мире был довольно высоким.

Примером может быть использование для характеристики веществ такого физического свойства, как плотность. О том, что одинаковые объемы разных жидкостей отличаются по весу, писал еще великий древнегреческий врач Гиппократ. Другой врач (Гален) контролировал пригодность соленой воды в качестве лекарства, опуская в нее сырые яйца и проверяя, будут ли они тонуть. Яйцо, имеющее практически постоянную плотность, заменяло ареометр поплавкового типа. Такой ареометр был описан Синезием лишь в IV—V в. н. э., впоследствии это изобретение было забыто. О возможности использования плотности твердых веществ в качестве аналитического сигнала свидетельствует жизнеописание знаменитого Архимеда из Сиракуз, который еще в 242 г. до н. э. сумел определить состав короны царя Гиерона, не повредив ее. Корона была взвешена, затем нашли ее объем (методом вытеснения жидкости), а полученные данные сравнили с массой и объемом образцов из чистого золота, чистого серебра, а также из их сплавов. В методике Архимеда присутствуют все признаки современных методов количественного анализа, основанных на исследовании физических свойств веществ: приготовление и использование эталонов известного состава, параллельное измерение аналитического сигнала пробы и эталонов, сопоставление результатов измерений и вычисление на этой основе состава исследуемого материала. Однако широко использовать подобные методики стали только в конце XIX в. и особенно в XX в., через 23 столетия после Архимеда.

Древним были известны семь металлов — золото, серебро, медь, олово, свинец, железо, ртуть. Эти металлы и их сплавы упоминаются и в Библии, и в египетских папирусах. Упоминаются также другие химические вещества (соль, сода, известь, природные красители, некоторые яды и противоядия). Древним грекам и римлянам были знакомы операции перегонки, кристаллизации, фильтрования и выпаривания. Было известно, что при перегонке морской воды получается пресная вода с меньшей плотностью, и она считалась чистой, т. е. не содержащей примесей. Самое наглядное достижение древних в области гидрохимического анализа — рекомендации знаменитого древнеримского архитектора Витрувия, как проверять чистоту воды при строительстве водопроводов. Методика Витрувия довольно проста: надо выпарить известный объем исследуемой воды и точно взвесить полученный осадок. Причем для обеспечения точности объем исходной пробы надо брать достаточно большим. Гиппократ, а позднее Плиний (современник Витрувия), классифицируя природные воды, различали серные, кислые, соленые, квасцовые и железосодержащие воды. Для определения состава примесей не обязательно было даже выделять их из исследуемой воды. В частности, Плиний описывает применение особого папируса, пропитанного экстрактом дубильных орешков. Такой папирус сохранял свою окраску в обыч-

ной воде, но в железосодержащей воде чернел подобно современным тест-средствам!

Развитие химического анализа в античный период шло одновременно с возникновением обобщающих понятий, в частности таких как «чистое вещество», «смесь», «примесь», «раствор». Практика показывала, что не только растворы, но и многие твердые вещества являются смесями, которые можно разделить, что незначительные по объему и массе примеси могут сильно влиять на свойства веществ («ложка дегтя в бочке меда»). Поэтому еще в глубокой древности возникла идея о возможности и практической необходимости установления состава веществ, лежащая в основе современной аналитической химии.

Практические знания в области «пробирного искусства» (т.е. химического анализа) в древности были чисто эмпирическими, а проведение простейших анализов — искусством или ремеслом, но не наукой. Первые теоретические представления о составе и строении веществ (*натурфилософия*) также возникли в античный период. Однако эти представления и практика химического анализа тогда не были связаны, и еще долго они развивались независимо друг от друга.

## 1.2. Возникновение представлений о составе и строении веществ

**Представления об элементах.** Считается, что умозрительная идея о единой основе всех веществ материального мира впервые была выдвинута греческим философом Фалесом (VI в. до н.э.). Такой основой Фалес считал воду. Другие философы разделяли идею Фалеса о единой первооснове всех веществ, но такой первоосновой считали другие субстанции: Анаксимен — воздух, Гераклит — огонь. Представления о первоэлементах ранее выдвигались также китайскими и индийскими философами.

Греческий мыслитель Эмпедокл в V в. до н.э. ввел идею об одновременном существовании четырех «первоэлементов», или «стихий» (воздух, вода, огонь и земля), не переходящих друг в друга и образующих при смешении или объединении своих «осколков» все видимые тела. «Осколки» эти столь малы, что недоступны чувственному восприятию. Свойства конкретных веществ, по Эмпедоклу, определяются природой и количественным соотношением объединяющихся или смешивающихся «осколков» первоэлементов. При этом ученик Эмпедокла Анаксагор указывал, что во всех телах следует определить основную часть — то, что присутствует преимущественно в каком-то количестве каждого тела и определяет свойства конкретного тела. Такие представления (связь свойств веществ и их состава) не могли быть чисто умозритель-

ными; вероятно, в них отражался опыт практической работы с веществами разной степени чистоты.

В последующей античной натурфилософии представления Эмпедокла развивались одновременно в двух направлениях: в виде учения о бесконечно делимых и переходящих друг в друга первоэлементах (Аристотель и др.) и в виде учения о неделимых и непереходящих друг в друга атомах (Демокрит и др.).

С точки зрения современной материалистической науки Аристотель (384—322 гг. до н. э.) в чем-то отошел назад от четких, хотя и во многом механистических представлений Эмпедокла, а в чем-то существенно их развил. Прежде всего Аристотель подчеркивал, что элементы-стихии не следует отождествлять с реальными веществами. Стихия «вода» для Аристотеля — лишь философская категория, идеальный носитель некоторых качеств (холода и влажности), одна из форм существования единой материи, а не обычная вода для питья. Как писал учитель Аристотеля Платон, «... то, что теперь носит имя воды, сгущаясь... превращается в камни и землю, а будучи растворено и разрежено, то же самое становится ветром и воздухом, воспламенившийся же воздух — огнем... Эти стихии идут кругом и последовательно дают рождение одна другой»\*. Из этой цитаты видно, что мысль о первооснове всех веществ материального мира была дополнена заманчивой и весьма важной для истории химии идеей о возможности неограниченного превращения веществ — не только из одного агрегатного состояния в другое, но и в качественно иные вещества. Именно из этого положения впоследствии исходили первые алхимики (Болос, Зосима и др.), пытаясь превратить обычные металлы в благородные. Металлы они рассматривали как элементы, подобные аристотелевским первоэлементам-стихиям. Такое расширение круга элементов можно оправдать тем, что великий Аристотель сам добавил к перечню Эмпедокла пятый элемент — эфир, заполняющий мировое пространство.

По-видимому, именно Аристотель стал четко различать понятия «смесь» и «химическое соединение»: «Когда что-нибудь соединяется друг с другом, все содержащее смешанного становится единым. Но это происходит не так, как будто вещи собирают в кучу, а так, как образуются слоги. Слог представляет собой иное качество, чем его элементы — буквы»\*\*. Таким образом, соединение должно иметь совершенно иные качества, чем его элементы или простая смесь их. Важно и соотношение элементов. Например, по мнению Аристотеля, металлы образованы в основном землей, но в них есть и вода, причем ее больше, чем в камнях. Следует подчеркнуть, что ни Аристотель, ни следовавшие за ним другие мыслители Античного мира не пытались экспериментально определить количественное содержание элементов в реальных веществах. Это можно объяснить не только характерным для античной натурфилософии пренебрежением к экспериментальной проверке умозаключений и их практическому применению, но и тем, что для последователей Аристотеля элементы — лишь временные состояния одной и той же материи,

\* Платон. Филеб. Тимей. Критий. — М.: Мысль, 1999. — С. 452.

\*\* Цит. по кн.: Штрубе В. Пути развития химии. — М.: Мир, 1984. — Т. 1. — С. 78.

меняющей свою форму при любом воздействии. Определение соотношения элементов в этом случае не имеет особого смысла.

**Атомистические представления.** Другой важнейшей идеей, развитой в Античном мире, было атомистическое учение, сформулированное (вслед за индийскими философами) Левкиппом и Демокритом. По гениальным догадкам этих греческих философов-материалистов, в мире нет ничего, кроме бесчисленного числа мельчайших и невидимых атомов,двигающихся в пустоте, причем атомы неделимы, вечны, подобны друг другу. Но не идентичны — разные атомы могут различаться по форме и размеру! Интересно, что наименьшие атомы — по Демокриту — должны иметь сферическую форму, так как при такой форме одна и та же масса занимает наименьшее пространство. Последователь Демокрита Эпикур считал, что атомы не только находятся в постоянном движении, но и возможны самопроизвольные и случайные отклонения в этом движении из-за внутренних причин. При этом разные атомы не могут переходить друг в друга. К сожалению, мы судим о представлениях философов-атомистов не по их собственным книгам (они почти не сохранились), а по учебно-дидактической поэме древнеримского писателя Тита Лукреция Кара «О природе вещей». Естественная для нас идея Эмпедокла об элементах как совокупности «осколков» (атомов) определенного вида в ней отсутствует.

Философы-идеалисты, развивавшие учение о первоэлементах-стихиях, и философы-материалисты, развивавшие атомистические представления, резко критиковали друг друга. Победителями в этом споре в течение многих веков оказывались представители школы Аристотеля, поскольку его учение согласовывалось с видимыми химическими и физическими превращениями веществ. Атомистические же представления в античный период не были доведены до той степени, чтобы с их помощью можно было объяснить видимые различия в составе и свойствах веществ и — что еще более важно — их взаимопревращения.

**Возникновение химии.** В конце античного периода превращения веществ стали предметом особой науки — химии. Слово «химия» (*khemeia*) впервые появляется в 336 г. н. э. в книге сицилийца Юлия Матерна Фирмика. Происхождение этого слова не ясно — то ли «египетская наука» (греч. *Chemia* — Хемия, одно из древнейших названий Египта), то ли «наука о жидкостях» («хюмос» — жидкость), есть и другие этимологические объяснения. Тогдашняя химия возникла как результат объединения натурфилософии Аристотеля, тайных наук Востока (магии и астрологии) и эмпирических знаний жрецов и ремесленников о свойствах реальных веществ. Хотя основными методами познания мира в античные времена были наблюдение, логическое рассуждение и диспут, а вов-

се не эксперимент, тем не менее химия возникла как наука *экспериментальная*. Более того, химию того времени правильнее было бы считать не наукой, а тайным искусством. Ее основной целью была трансмутация (получение золота и серебра из других, менее ценных и более изменчивых металлов). Именно поэтому химия и была запрещена римским императором Диоклетианом — если бы удалось получить дешевое «химическое» золото, наступил бы всеобщий экономический кризис. Став подпольной наукой, химия приобрела еще бóльшую таинственность, анонимность, зашифрованность сведений и описаний. Появилась мистическая вера в связь каждого из семи известных металлов с определенной планетой.

Например, железа и планеты Марс, свинца и Сатурна и т. п. Соответственно считалось, что превращения элементов не могут происходить когда угодно, для них надо правильно выбрать день, с учетом взаимного расположения планет на небе. Да и самой химией, как указывали древние авторы, не следует заниматься всем желающим; наивысших успехов в этой науке могут добиться те, кто рожден под знаком Сатурна (Козероги по гороскопу). Позднее монах-алхимик Альберт Великий писал, что совершенный химик должен обладать тремя качествами: терпением, сильной волей и умением хранить тайны.

После падения Рима арабы завоевали часть Восточной Римской империи (Египет, Сирию) и восприняли как аристотелевскую натурфилософию, так и искусство *khemeia*, нацеленное на превращение обычных металлов в золото. У арабов это искусство стало называться «алхимией». В эпоху Средневековья алхимией стали заниматься и в Западной Европе; там алхимия, конфликтовавшая со всемогущей христианской церковью, приобрела особенно мистический и тайный характер. Последнее обстоятельство не только тормозило ее развитие, но и открывало простор для деятельности множества шарлатанов и мошенников, особенно характерной для последнего периода существования алхимии (XVI — XVIII вв.). Различать старую алхимию и новую науку о веществах и их превращениях (современную химию) стали лишь в этот период.

Новая наука смогла применить теоретические представления о структуре вещества для развития химического анализа. При этом были учтены и достижения алхимиков, которые в течение полутора тысячелетий в погоне за недостижимой целью сумели накопить множество важных и полезных сведений. Надо помнить, что история алхимии не сводится к попыткам изготовления золота.

Один из крупнейших химиков XIX в. Юстус Либих писал, что открытия алхимиков можно поставить в один ряд с крупнейшими научными достижениями нашего времени.

### 1.3. Алхимики и их роль в развитии химического анализа

Первый крупный химик, многие труды которого дошли до современных исследователей, — это араб Джабир ибн Хайян (721 — 815). В средневековой Европе его именовали Гебером. О жизни этого ученого достоверно известно очень мало. Другие алхимики позднее переписывали его книги со своими дополнениями или вообще писали свои труды под его именем. Однако несомненно, что именно Джабир — автор первых монографий по химии («Книга 70», «Книга весов», «Книга свойств» и др.), в которых он систематизировал все известные ему вещества и точно описал их свойства.

В отличие от туманных и зашифрованных описаний веществ и процессов, которые были характерны для алхимиков античности, книги Джабира написаны понятно и лаконично. Ценно и другое качество этих книг, о котором сам Джабир писал так: «Мы описали только то, что сами видели, а не то, что нам говорили»\*. Характеризуя каждое вещество, Джабир указывает его плотность, цвет, блеск, ковкость, легкость плавления и т.д. Примером может быть описание свинца: «Серовато-коричневый или тускло-белый, тяжелый, незвонящий металл. Легко куется и легко плавится. Образует свинцовые белила с уксусной кислотой и сурик при нагревании». Очевидно, по таким описаниям можно отличать друг от друга и опознавать индивидуальные вещества, что уже имеет прямое отношение к химическому анализу.

Несомненными достижениями Джабира как химика было получение концентрированной уксусной и разбавленной азотной кислот, раствора аммиака (нашатырного спирта) и некоторых других веществ, которые позднее стали использовать в аналитических лабораториях как реагенты. Различные «острые воды» (т.е. кислоты) Джабир применял для растворения металлов, а также для отделения серебра от золота. Особое значение для современников имели теоретические воззрения Джабира, который расширил число аристотелевских элементов, ввел серу (носитель начала горючести) и ртуть (начало металличности). Реальные же металлы Джабир рассматривал как соединения, продукты длительного взаимодействия серы и ртути в недрах Земли. Более чистым металлом является тот, который содержит меньше серы. Для трансмутации надо лишь очистить благородный металл (свинец или обычную ртуть) от лишней серы (например, очень длительным прокаливанием) и получить таким образом серебро или золото. Катализировать процесс трансмутации должен был «философский камень», или «эликсир», который еще требовалось отыскать или получить искусственно. Арабские ученые верили, что такой эликсир должен был еще и обеспечить его владельцу здоровье, молодость и даже бессмертие. Позднее другие арабские алхимики (в частности, Ар-Рази) развили идеи Джабира, указав на третий предполагаемый компонент всех металлов — соль.

\* Цит. по кн.: *Баталин А.Х.* Аналитическая химия и пути ее развития (История возникновения и развития основных методов и направлений аналитической химии) // Тр. Оренбург. сел.-хоз. ин-та. — 1961. — Т. 12. — С. 36.