

ИЗ ИСТОРИИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ В РОССИИ

К. Б. Яцимирский (Неаново)

В настоящее время нет работ, посвященных истории аналитической химии в России. В «Очерке истории химии в России» П. Вальдена указывается, что «аналитическая химия, имевшая в западной Европе, в начале XIX века, выдающихся представителей, в России не встречает видных деятелей или обрабатывается с успехом лишь немногими химиками и то лишь в зависимости от внешних условий»¹. Мы не можем согласиться с этим мнением. Число работ по аналитической химии в России действительно было небольшим, но значимость этих работ исключительно велика, так как именно русские ученые выступили в роли творцов новых оригинальных направлений в неорганическом анализе и с успехом разрабатывали те области, которые в то время не получили должного развития на западе.

Достаточно указать на то, что микрокристаллоскопический метод анализа был открыт в России еще в конце XVIII века Т. Е. Ловицем, хроматографический анализ открыт русским ученым М. С. Цветом, капельный метод анализа был создан Н. А. Танаевым независимо от Файгги. Русские ученые явились пионерами в области применения органических реактивов в неорганическом анализе, наконец, русские ученые с успехом разрабатывали методику анализа платиновых и других редких металлов. Русские ученые внесли также существенный вклад в дело развития теоретических положений, широко применяющихся для объяснения природы и механизма различных аналитических реакций.

В этой статье мы ограничиваемся обзором работ по аналитической химии в дореволюционный период, не претендуя, однако, на полноту изложения. В частности, мы совершенно не затрагиваем развития химического анализа органических веществ, металлографии и т. д. При изложении же работ по неорганическому анализу мы отмечаем лишь наиболее важные работы, представляющие новые оригинальные направления.

Уже в первых русских аптеках, возникших, как известно, в конце XVI в., производились исследования руд и делались «пробы» продуктам минеральных заводов. Особенно усилилась подобного рода аналитическая работа аптек во времена Петра I. Правда, в то время еще не было аналитической химии, как таковой, но уже существовало «пробирное искусство».

П. М. Лукьянов в недавно вышедшем труде² сообщает, что сам Петр I весьма интересовался химией. В записях Петра I обнаружено много таблиц с использованием химической символики того времени, а также описание методики испытания различных металлических руд. Исключительная подробность записей дает все основания полагать, что Петр I лично занимался пробирным искусством.

До Петра I первые аналитики при аптеках назывались «алхимистами», но в его время они уже именуются «пробирерами». Оборудование первых русских лабораторий при аптеках значительно пополняется, увеличивается и список анализируемых продуктов.

Гениальный русский ученый М. В. Ломоносов много внимания уделял пробирному искусству, или, как он сам называл, «пробирному художеству». Еще в 1745 г. до открытия своей лаборатории, Ломоносов выполнил ряд анализов соли и слюды. Как известно, Ломоносов всесторонне изучал свойства растворов и на основании знания свойств растворов применял оригинальную, хотя и несовершенную, методику определения влажности соли, исходя из ее растворимости в воде. Так, например, в одном из анализов он указывает (цит. по Лукьянову²) «на распушение четырех унций сей соли поило воды пятнадцать унций. Ис чего видно, что в ней по пропорции против других солей воды меньше, а больше той материи, которая в составлении соли есть главная, то-есть алкалической и кислой».

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что Ломоносов при анализе соли применяет дробную кристаллизацию и описывает форму кристаллов: «По выварке первые зерна соли весьма чисты, крупны и кубичной фигуры, другие и третьи не таковы чисты и регулярны».

Ломоносов, как известно, считал своей задачей «испытывать все, что только можно измерять, взвешивать и определять вычислением» и показывать в своих опытах «меру, вес и пропорции», т. е. решать те задачи, с решением которых в химии начинается эпоха количественных исследований. Закон сохранения массы, открытый М. В. Ломоносовым, является, как известно, основой не только количественного анализа, но и всей теоретической химии.

Выдающуюся роль в развитии аналитической химии сыграли исследования другого ученого конца XVIII и начала XIX века — Т. Е. Ловица. Даже зарубежные авторы именуют его ученым, «открывшим основные лабораторные методы»³. Ловиц открыл явление адсорбции растворенных веществ и предложил методы очистки различных технических продуктов, основанные на использовании адсорбции. Но особый интерес для аналитической химии представляет изучение Ловицем явления кристаллизации и открытие явления пересыщения растворов в 1794 г. Он же нашел методы устранения пересыщения путем введения затравок и применением низких температур при помощи им же открытых охлаждающих смесей. Он получил впервые ряд веществ в виде кристаллов (уксусная кислота, гидрат хлористого натрия, гидроокиси щелочных металлов, серная кислота и многие другие). Ловиц впервые в отчетливой форме высказывает мысль о том, что самым надежным средством для полной очистки вещества может служить повторная кристаллизация его.

Исключительный интерес представляют исследования Ловица над явлениями кристаллизации — в частности, он указывает: «Чтобы получить хорошо образовавшиеся кристаллы, необходимо: по-первых, полное спокойное растворение и, по-вторых, кристаллизация должна последовать, насколько возможно, медленнее»⁴.

Затем мы находим у Ловица довольно отчетливо сформулированную мысль о центрах кристаллизации. Указывая, что обычно кристаллизация начнется с той точки, где образовался первый кристаллик, он приводит следующее образное сравнение: «Мне показалось, что все находящиеся в растворе частички соли спорят из-за первенства отделения от воды и что та часть соли, которой это сначала удастся, напоминает того полководца, который подает другим сигнал следовать за собою» и далее: «Рассматривая явление с этой точки зрения, я предположил, что, может быть, одно простое вбрасывание кристалла соли в вполне охлажденный и кристаллизующийся раствор, может послужить подобным же поводом к кристаллизации. Я произвел опыт и успех оправдал мои ожидания»⁴.

В 1798 г. Ловиц сообщил о своих наблюдениях над кристаллизацией растворов под микроскопом; он использовал формы кристаллов для анализа солей, открыв таким образом микрокристаллоскопический метод анализа, получивший широкое развитие в настоящее время. Роль Ловица не получила должной оценки в мировой литературе. В частности, Беренс⁵ и Эмих⁶ в исторических обзорах по микрокристаллохимическим методам анализа обходят полным молчанием работы Ловица и других русских ученых в этой области.

В 1795 г. Ловиц предложил способ отделения бария от стронция и кальция, основанный на использовании различной растворимости хлоридов этих металлов в абсолютном спирте. Он же указал на красное окрашивание пламени солями кальция и нашел способ растворения силикатов мокрым путем.

Большое внимание развитию аналитической химии в России уделял акад. В. М. Севергин. Он сам производил многочисленные анализы, а в 1801 г. издал «Пробирное искусство или руководство к химическому испытанию металлических руд и других ископаемых тел». Это было первое в мировой литературе подробное практическое руководство по химическому анализу.

В этой книге он определяет пробирное искусство как «часть химии, научающую испытывать внутреннее содержание ископаемых тел». Особенно подчеркивает В. Севергин огромное практическое значение пробирного искусства: «пробирщик на заводе в беспрестанном находится упражнении, и что от верности его, опытов зависит самое оно благо»².

В XIX и начале XX в. аналитическая мысль в России развивалась в нескольких направлениях. В то время как на западе разрабатывалась рецептура и методика для так называемого «классического анализа», русские химики решали не только эти задачи, но смело выходили за рамки «классической» аналитической химии, являясь творцами новых оригинальных направлений. Для русской аналитической мысли весьма характерен широкий синтез различных разделов химии (и не только химии) и создание на этой базе новых направлений в анализе. Уже Ломоносов и Ловиц применяли кристаллографию в химическом анализе. Это направление получило широкое развитие в дальнейшем.

Продолжаются исследования формы кристаллов и применение этого важного диагностического признака вещества для его идентификации. А. Я. Купфер в начале XIX в. разрабатывает методику точного измерения углов кристаллов и исследует кристаллическую форму многих веществ (1826—1828 гг.). Его работа «О точном измерении углов кристаллов» была премирована Берлинской Академией Наук в 1826 г. А. Я. Купфер же произвел первый анализ воздуха России в Казани.

Выдающийся русский ученый А. В. Гадолин вывел, как известно, существование 32 видов симметрии кристаллов. Многие русские химики при изучении различных веществ уже давно, независимо от запада, широко пользовались методикой микрокристаллоскопического анализа. Так, например, Ф. В. Вильм при исследовании соединений платиновых металлов и, в частности, соединений родия⁷ применяет микрокристаллоскопические критерии для идентификации некоторых солей, изучает процесс кристаллизации в кашлях раствора под микроскопом, вводит в кашлю твердые кристаллы, производит упаривание кашли и т. д.⁸ При синтезе новых веществ исследователи в России особое внимание уделяют детальному описанию кристаллической формы вновь

полученных соединений. Здесь можно сослаться на весьма тщательное описание Н. С. Курнаковым кристаллов, полученных им тиомочевинных комплексных соединений платины⁸.

Блестящее завершение дореволюционные работы по изучению кристаллов и применению их формы для анализа получили в классических работах Е. С. Федорова⁹, создавшего кристаллохимический анализ.

Русские ученые смело выходят за тесные рамки классической аналитической химии, разрабатывая методику анализа редких металлов и, в первую очередь, платиновых металлов. Еще в 1844 г. М. Козницкий предложил способ отделения иридия от платины¹⁰. В то же время К. К. Клаус публикует свои классические исследования по количественному анализу платиновых остатков¹¹, приведение его к открытию нового элемента — рутения. И. Фрише открыл новый метод растворения осмия и иридия. В 1871 г. В. Шнейдер предложил новый метод отделения иридия от других платиновых металлов посредством дробного восстановления водородом. В 1866 г. Г. Драггендорф предложил треххлористый иридий и рутений в качестве реактивов на алкалоиды. В последней работе уже сочетаются органические и неорганические реактивы — неорганические вещества используются в качестве реактивов на органические вещества.

Весьма значительное число работ, посвященных анализу платиновых металлов, появилось в XX веке. Здесь в первую очередь следует назвать работы Л. А. Чугаева¹², В. Г. Хлопина¹³, И. И. Черняева¹⁴, В. И. Иванова¹⁵ и ряда других авторов.

Русские химики уделяли внимание также анализу соединений других редких элементов — и, в частности, ниобия, тантала, циркония, церия и т. д. В этой связи следует назвать известного русского химика Р. Германа¹⁶, предложившего методы разделения церия, лантана, циркония, титана и тщательно исследовавшего соединения ниобия и тантала.

В 1905 г. Меликов и Ельчанинов предложили новую качественную реакцию на ниобий¹⁷.

Известно, что исследования по аналитической химии платиновых металлов и золота, а также редких элементов получили широкое развитие в нашей стране после Октябрьской революции. Уже в годы советской власти Карпов, Подкопаев, Черняев, Лебединский, Пшеницын и ряд других ученых создали новые методы анализа платиновых металлов. Звягининым разработан метод анализа золота и его спутников. Известные работы Алимарина, Сырокомского, Чернихова и других советских химиков-аналитиков посвящены разработке новых методов анализа редких элементов, не включенных в обычный «классический» анализ. Таким образом это направление в исследованиях русских химиков-аналитиков получило полное развитие в наш советский период.

* * *

Новый этап в развитии аналитической химии в нашей стране открывают гениальные работы великого Менделеева.

По образному выражению Д. И. Менделеева, «через телескоп периодического закона» ученые многое увидели и еще увидят «в безграничной области химических эволюций»⁴⁰. В аналитической химии периодический закон является тем мощным средством, при помощи которого оказалось возможным не только объяснить, систематизировать и объединить огромное число аналитических реакций, но и отыскивать новые реакции, новые методы разделения, исходя из положения изучаемых элементов в системе Менделеева. В настоящее время периодический закон является основой не только при изложении курса аналитической химии и объяснении поведения различных элементов при химическом анализе, но и весьма надежным компасом при новых исследованиях.

Для всех химиков и, в частности, для химиков-аналитиков сохраняют свое значение слова Д. И. Менделеева: «Как одно из недавних, но выдержавших лабораторную проверку научных обобщений, как инструмент мысли, еще не подвергшийся видоизменениям, периодический закон ждет не только новых приложений, но и усовершенствований, подробной разработки, свежих сил»⁴⁰.

Большую роль в развитии аналитической химии сыграли выдающиеся работы Д. И. Менделеева в области теории растворов. Д. И. Менделеевым была не только создана новая оригинальная теория растворов, все значение которой было понято лишь в XX в., и не только выполнен ряд замечательных исследований по физико-химическому анализу двойных систем, но и даны отправные пункты для многочисленных исследований по теории растворов различных школ. Общеизвестные классические исследования по теории растворов Каблукова, Курнакова, Писаржевского и других явились тем теоретическим фундаментом, на котором развивались многие аналитические работы в нашей стране. Невозможно развивать аналитическую химию, построенную в основном на реакциях в растворах, не развивая одновременно теории растворов. Не случайно поэтому, что именно из школ перечисленных выше ученых вышли многие выдающиеся советские аналитики.

Для выдающихся представителей русской химии характерным является осуществление широкого синтеза неорганической и органической химии. Уже Д. И. Менделеев осуществил такое объединение, а в дальнейшем подобного рода синтез осуществляют Курнаков, Зелинский, Чугаев и другие выдающиеся русские ученые.

Не приходится удивляться поэтому, что именно в России появилось новое направление в аналитической химии — применение органических реактивов в неорганическом анализе. Эта область в настоящее время получила широкое развитие, так как именно здесь, повидимому, находит наиболее полное решение задача прямого определения данного элемента в присутствии любых других веществ. Еще в 1885 г. М. А. Ильинский использовал α -нитрозо- β -нафтол для отделения кобальта от никеля¹⁸, положив таким образом начало широкому применению органических реактивов в неорганическом анализе; в том же году М. А. Ильинский использовал этот же реактив для отделения железа от алюминия¹⁹. Лишь в начале XX века появились первые исследования в этой области на Западе.

Выдающиеся исследования в этом направлении были выполнены Л. А. Чугаевым и его учениками в самом начале XX века. В 1905 г. была предложена знаменитая «реакция Чугаева» на никель с диметилглиоксимом²², тот же диметилглиоксим был использован Л. А. Чугаевым и Б. П. Орелкиным²³ в качестве весьма чувствительного реактива на железо (II). В 1916 г. этот же реактив используется¹² для открытия платины (II).

Л. А. Чугаев²⁴ предложил также тиомочевину для качественного обнаружения осмия, а несколько раньше для этой цели Л. А. Чугаев и И. И. Черняев применили уротропин¹⁴. В. Г. Хлопин в 1916 г. установил, что уксуснокислый бензидин является чувствительным реактивом на соединения придия.

И эта область аналитической химии получила широкое развитие в СССР благодаря широко известным работам В. И. Кузнецова, И. М. Коренмана, А. Комаровского Н. А. Танаева и др.

Исследованиями в вышеприведенных областях не исчерпываются работы русских химиков по неорганическому анализу. Не имея возможности остановиться более подробно на остальных исследованиях, мы ограничимся лишь кратким перечнем основных работ.

Первая половина XIX в. ознаменовалась выполнением многочисленных анализов русских твердых минералов, природных вод и газов (А. Ходнев, Г. Гесс и др.). При этом Г. Гесс разработал оригинальную методику элементарного анализа в атмосфере кислорода.

Методика электровесового определения кадмия и цинка была разработана Ф. Бельштейном и Л. Явейном²⁵ и вошла в руководства по неорганическому анализу²³. Широкой известностью пользуется способ определения кислорода в газовых смесях, предложенный Г. В. Хлопиным²⁷. Следует упомянуть также ряд работ Н. А. Пушина по методике электровесового анализа²⁸, применение вращающихся электродов Н. Клобуковым, исследования А. Лидова в области газового анализа²⁹ и работы по применению палладия для определения водорода А. Чиркова и А. Судакова (цит. по¹).

Выдающийся казанский химик Ф. М. Флавицкий явился пионером в области научного и систематического исследования реакций веществ в твердом состоянии. На основе изучения этих реакций он нашел для них применение в качественном анализе, умело подбирая твердые вещества для проведения реакций в различных средах. Разработанная им особая «карманная лаборатория» была запатентована во многих странах и только в России ему отказали в выдаче патента³⁰. Своеобразное преломление методики Ф. М. Флавицкого, по мнению А. М. Васильева³⁰, нашла в капельном анализе, созданном уже в советское время Н. А. Танаевым.

Наконец, следует особо отметить начинающиеся с конца XIX в. работы русских химиков по применению физико-химических методов в количественном анализе (применение колориметрии Настюковым³¹, В. Г. Хлопиным¹³ и др., использование измерений электропроводности В. Г. Хлопиным и П. Васильевой³² и т. д.).

Особо же широкое распространение физико-химические методы анализа получили уже в советское время.

Хотя в этой статье мы совершенно не затрагиваем работ русских химиков в области органического анализа, где, как известно, вклад, сделанный русскими учеными, так же весьма значителен, мы не можем пройти мимо выдающегося открытия гениального русского ботаника М. С. Цвета. В 1906 г. М. Цвет открыл принципиально новый метод анализа — хроматографический анализ. Если в первое время этот метод применялся главным образом в органической химии, то теперь все более широкое распространение получает неорганический хроматографический анализ, интенсивно разрабатываемый в нашей стране в последние годы (Е. Гапон, Т. Гапон и др.).

Выдающуюся роль сыграли русские химики в деле создания учебников по аналитической химии. Одним из первых учебников в России было «Руководство к химическому анализу — мерою» Ф. Мора, изданное и дополненное А. И. Ходневым в 1859 г.³³. В 1864 г. появилась «Аналитическая химия» Шанселя и Жерара в переводе Д. И. Менделеева³⁴ и «Количественный анализ» по Шанселю и Жерару в том же переводе. Второй выпуск этой книги был целиком составлен русскими авторами — органический анализ был изложен П. И. Алексеевым, газовый анализ Г. Г. Густавсоном и объемный анализ Ч. В. Рихтером. Раздел, посвященный определению плотности паров и газов, был целиком составлен Д. И. Менделеевым.

Следует отметить, что первая опубликованная научная работа Д. И. Менделеева была посвящена анализу минерала орита из Финляндии (1854 г.), по поводу же названного выше учебника Д. И. Менделеев писал: «Недостаток русского руководства по аналитической химии заставил меня заняться переводом. Книга пошла скоро и хорошо,

по я, много работая над ней, почти ничего не зарабатывал, потому, что отдавал переводить. Сам составил только плотности паров и газов»³⁵.

В 1867 г. одновременно на русском и немецком языках появилось «Руководство к качественному химическому анализу» Ф. Ф. Бейльштейна. Уже в 1868 г. эта книга, выдержавшая девять изданий, была переведена на голландский язык, В. Рамзай в 1873 г. перевел «Руководство» Бейльштейна на английский язык, а в 1883 г. появился французский перевод.

В 1871 г. вышла первым изданием «Аналитическая химия» Н. А. Меншуткина, книга, выдержавшая шестнадцать изданий, из них девять при жизни автора и семь посмертных. Тысячи русских химиков обучались по этой книге. «Аналитическая химия» Н. А. Меншуткина получила широкое распространение не только в нашей стране, но и далеко за ее пределами. В 1877 г. появилось немецкое издание этой книги под редакцией А. Н. Баха, а в 1893 г. был издан ее английский перевод.

В заключение мы остановимся на некоторых выдающихся работах русских ученых, выполненных в самом конце XIX и начале XX в. и сыгравших большую роль в развитии теоретических положений аналитической химии.

Теория образования промежуточных перекисных соединений, при реакциях окисления, созданная А. Н. Бахом в 1897 г., была применена для объяснения механизма ряда весьма важных аналитических реакций и вызвала к жизни многие экспериментальные исследования в этой области.

Так, например, Маншо³⁶ в серии своих исследований подтвердил справедливость теории Баха для случая окисления соединений двухвалентного железа и таким образом объяснил механизм окисления для этого важного случая.

Райдил и Тейлор в своей монографии по катализу³⁷ приводят имя Маншо в числе многих других имен исследователей, подтвердивших своими работами теорию Баха. Впрочем и сам Маншо³⁸ ссылается на Баха и Энглера, как на авторов единственной удовлетворительной теории процессов окисления, а, формулируя положение о «первичном окисле», он еще раз оговаривается о том, что это положение по существу полностью совпадает с теорией Баха и Энглера.

Между тем можно лишь с сожалением констатировать, что во многих наших учебниках по аналитической химии^{38, 39}, вышедших уже в советское время, приводится подробное изложение так называемой «теории Маншо», но совершенно отсутствуют ссылки на действительного создателя теории образования промежуточных перекисных соединений А. Н. Баха.

Весьма существенное влияние на развитие аналитической химии оказали классические исследования Н. А. Шиловой⁴⁰ по теории сопряженных реакций. Эти исследования вошли в большинство современных учебников аналитической химии.

Еще великий Менделеев подчеркивал важность и необходимость исследований по химии комплексных соединений. Он писал⁴¹: «для предстоящих периодов химии здесь, по мнению моему, содержится одна из важнейших и интереснейших задач, могущая осветить и смутно понимаемую область растворов и природу сил, управляющих образованием соединений».

Развитие исследований в области химии комплексных соединений в нашей стране (школа Чугаева) позволило не только широко использовать комплексные соединения в анализе, но и объяснить природу образующихся продуктов при ранее открытых реакциях. В качестве примера можно привести исследования Л. А. Чугаева относительно природы продуктов, получающихся при так называемой биуретовой реакции.

Выдающиеся работы Л. В. Писаржевского и его школы по развитию электронной химии несомненно сыграли огромную роль в развитии теории аналитической химии. Л. В. Писаржевский, будучи одним из самых последовательных и прозорливых пионеров электронной химии, еще в 1913 г. дал обобщенное толкование процессов окисления—восстановления, как процессов перехода электронов от восстановителя к окислителю, и выполнил ряд экспериментальных работ для подтверждения этого положения⁴².

Он же создал оригинальный курс неорганической химии, в котором последовательно проводились основные положения электронной химии.

Наконец, выдающиеся работы Н. С. Курнакова и его школы по физико-химическому анализу не только были использованы для объяснения многих аналитических реакций, но и послужили отправным пунктом для создания новых методов анализа, правда, уже в наше советское время (И. В. Тапанаев и др.)

Таким образом, несмотря на исключительно неблагоприятные условия для развития науки в царской России, русские ученые внесли весьма значительный вклад в дело создания и развития аналитической химии. Они сумели придать исследованиям в области аналитической химии свойственный русской науке широкий размах, выйти за рамки «классического» анализа, синтезировать различные науки в применении к анализу и создать новые оригинальные направления.

В советский период аналитическая химия получила все возможности для своего развития, и наши советские ученые явились не только достойными хранителями лучших традиций русской аналитической мысли, но и сумели развить новые разделы неорганического анализа, не представленные в дореволюционной России.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. И. Вальден, Очерк истории химии в России, Одесса, 1917.—
2. П. М. Лукьянов, История химических промыслов в химической промышленности, том 1, 1948.—3. Н. М. Leicester, J. Chem. Educ. 1945, 22, 149.—
4. П. И. Вальден, Тоний Ловиц — забытый физико-химик, Наука и жизнь ч. II, Петроград 1919.—5. Г. Беренс, П. Клей, Микрохимический анализ. Пер. с нем., Л. 1928.—6. Ф. Эмих, Микрохимический анализ. Пер. с нем., Л. 1932.—7. Ф. В. Вильм, ЖРФХО, 1884, 16, 247.; 1892, 24, 526.—8. Н. С. Курнаков, ЖРФХО 1893, 25, 565.—9. Е. С. Федоров, Кристаллохимический анализ на примерах. Новые идеи в химии. Сборник № 5, СПб 1914.—
10. М. А. Блох, Хронология важнейших событий в области химии. Госхимиздат М.-Л., 1940.—11. К. К. Клаус, Lieb. Ann., 1845, 56, 260.—12. Л. А. Чугаев, ЖРФХО, 1916, 48, 1058.—13. В. Г. Хлопин, ЖРФХО, 1916, 48, 1957.—14. Л. А. Чугаев, И. И. Черняев, ЖРФХО, 1916, 48, 1956.—15. В. Н. Иванов, ЖРФХО, 1916, 48, 527; 1917, 49, 601.—16. И. И. Искольдский, Природа 1948, № 10, 85.—17. П. Моликов, Е. Ельчанинов, ЖРФХО, 1905, 37, 699.—18. М. А. Ильинский, Г. Кнорре, Ber., 1885, 18, 699.—19. М. А. Ильинский, Г. Кнорре, Ber., 1885, 18, 2728.—
20. М. С. Цвет, Хроматографический адсорбционный анализ. Изд. АН СССР, 1946.—21. Л. А. Чугаев, ЖРФХО, 1909, 41, 166.—22. Л. А. Чугаев, ЖРФХО, 1905, 37, 243.—23. Л. А. Чугаев, Б. П. Орелкин, ЖРФХО, 1914, 46, 593.—24. Л. А. Чугаев, С. г., 1918, 167, 235; ЖРФХО, 1917, 49, 644.—25. Ф. Ф. Бейльштейн, Л. Явейн, ЖРФХО, 1881, 13, 9; 1884, 16, 303.—26. В. Гиллебранд, Р. Лондель, Практическое руководство по неорганическому анализу. Пер. с англ., М., 1936.—27. Г. В. Хлопин, ЖРФХО, 1898, 30, 750.—28. П. А. Пушин, ЖРФХО, 1905, 37, 392, 828; 1906, 38, 764.—29. А. Лидов, ЖРФХО, 1902, 34, 42.—
30. А. М. Васильев, Труды Казанского хим.-техн. ин-та им. С. М. Кирова, 1948, № 13.—31. А. Пастюков, ЖРФХО, 1893, 25, 31.—32. Г. В. Хлопин, П. Васильева, ЖРФХО, 1913, 45, 377.—33. Ф. Мор, Руководство к химическому анализу — мерю, переведенное и изданное под ред. А. И. Ходнева, СПб, 1859.—34. Аналитическая химия Жерара и Шанслея. Переведена, дополнена и издана под ред. Д. И. Менделеева, СПб, 1864.—35. Д. И. Менделеев, Литературное наследство, том I, 1939.—36. W. Manchof, Lieb. Ann., 1902, 325, 93.—37. Э. К. Райдил, Х. С. Тойлор, Катализ в теории и практике. Пер. с англ. Л. 1933.—
38. Н. А. Тапанаев, Объемный анализ, изд. 6-е. Свердловск—Москва, 1939.—
39. В. И. Петрашень, Объемный анализ, М.—Л. 1946.—
40. Н. А. Шилов, О сопряженных реакциях окисления, М. 1905.—41. Д. И. Менделеев, Периодический закон химических элементов, М.—Л., 1934.—
42. А. И. Бродский, ЖОХ, 1939, 9, 86.—43. Д. И. Менделеев, Основы химии, изд. 11-е, М.—Л. 1932.