

ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ РЕАГЕНТОВ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ: РАЗВИТИЕ НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Е. Б. СТРЕЛЬНИКОВА

Известно, что возникновение, формирование и развитие какого-либо естественнонаучного направления можно достаточно объективно охарактеризовать, только принимая во внимание взаимодействие различных факторов. В самой общей форме их можно разделить на три группы: 1) внешние, отражающие уровень потребностей производства; 2) внутренние, обусловленные развитием самой науки и 3) социальные. Определяющая роль принадлежит внешним факторам; их действие состоит в выдвижении и постановке круга проблем, требующих разрешения. Задача внутренних факторов — выработка методических приемов разрешения проблем. Социальные факторы включают сообщество ученых, посвятивших себя решению данных проблем, а также «социальный заказ» на их успешное разрешение.

С этой точки зрения при периодизации истории применения органических реагентов (ОР) в аналитических целях мы выделяем четыре основных этапа: 1) предыстория ОР (с древнейших времен до конца XIX в.) — единичные и чисто эмпирические использования ОР; 2) формирование и становление нового научного направления — применения ОР для неорганического анализа (конец XIX в. — начало 30-х годов XX в.); 3) становление ОР как основы химического анализа, накопление эмпирического материала и разработка теоретических представлений о механизме действия ОР (30—50-е годы XX в.); 4) целенаправленный синтез новых ОР, широкое привлечение для изучения действия ОР новейших методов исследования с целью прогнозирования аналитических свойств ОР (начало 60-х годов XX в. — до наших дней) [1].

В настоящей статье мы остановимся на втором этапе — решающем в истории ОР, а также попытаемся обобщить оценки современными ведущими учеными исторического развития этого научного направления. Мы будем понимать под органическими реагентами в данной работе следующее: «Органические реагенты — это органические соединения (мономерные или полимерные) различных классов, служащие для качественного или количественного определения химических элементов и соединений (неорганических и органических), а также для разделения, концентрирования, маскирования и других вспомогательных или предварительных операций, предшествующих или сопровождающих определение веществ любыми методами» [2, с. 1853].

Какие же проблемы встали перед химическим анализом на рубеже XIX—XX вв.? В это время в область промышленной переработки вовлекалось все большее число новых химических элементов, для многих из которых не существовало удовлетворительных методов определения; возникали новые технологические процессы (например, легирование сталей, цветная металлургия, гальванотехника); происходил общий рост объема производства, сопровождавшийся его интенсификацией; резко возрастало общее количество производств, нуждающихся в аналитиче-

ском контроле. Все это ставило перед химическим анализом проблему анализа новых элементов, проблему определения микроколичеств, тесно связанную с повышением чувствительности и точности анализа, проблеме ускорения и упрощения анализа, включая возможность применения методик для серийных анализов в заводских условиях.

С другой стороны, к началу XX в. в неорганическом анализе завершается создание классических методик гравиметрического и титриметрического химического анализа, основанного на преимущественном использовании неорганических реагентов, т. е. аналитические возможности традиционных неорганических реагентов практически достигают своего предела. В это же время препаративная органическая химия достигла невиданно высокого уровня развития. В неорганической химии исключительно важное для аналитической химии понятие «химический элемент» получило научную основу. Наконец, возникла химия координационных соединений, представляющая, по выражению Л. А. Чугаева, «как бы органическую химию в миниатюре с ее (соответственным образом, правда, видоизмененными) задачами, методами исследования и теоретическими представлениями» [3, с. 48]. Тем самым в недрах развития самой химии уже созрели предпосылки для решения вставших перед аналитической химией проблем. Наибольшее значение для развития ОР имело координационное учение, поскольку в большинстве случаев или сами ОР, или продукты их реакций представляют собой именно комплексные соединения. По сравнению с традиционными неорганическими соединениями использование комплексных соединений позволяло выявить неизвестные ранее тончайшие особенности аналитических реакций; это значительно расширяет возможности для извлечения аналитической информации. Интересно, что это отмечают и сами исследователи. Так, Д. И. Рябчиков, один из основателей химии комплексных соединений редких элементов, писал: «Практически важные проблемы соединений редких элементов можно успешно решить при более глубоком подходе к химической стороне аналитических процессов, при более полном использовании тонкой структуры создаваемой аналитиком молекулы» [4, с. 34].

Первые, наиболее удачные в аналитическом отношении ОР были предложены химиками-органиками. Это реактив Грисса — Илошвая (смесь α -нафтиламина и сульфаниловой кислоты), предложенный П. Гриссом в 1879 г. для определения нитритов, и α -нитрозо- β -нафтол, предложенный в 1885 г. М. А. Ильинским и Г. Кнорре для определения кобальта [5, с. 119; 6, с. 179—182]. α -Нитрозо- β -нафтол явился первым ОР, по своим аналитическим характеристикам настолько превосходящим традиционные неорганические реагенты, что это стало поворотным пунктом в отношении аналитиков к реагентам подобного типа. Так, по оценкам М. А. Ильинского и Г. Кнорре, образование осадка при реакции кобальта с α -нитрозо- β -нафтолом происходит в 120 раз быстрее, чем в случае ранее применявшейся аналитической реакции кобальта с азотистокислым калием. И хотя идея применения ОР для неорганического анализа не получила развития в последующих исследованиях указанных авторов, главное было сделано: они привлекли внимание аналитиков к реагентам нового типа.

Результатом обращения широких слоев химиков к новому классу реагентов стало все возрастающее число исследований по применению ОР для неорганического анализа. Однако поскольку еще не было выработано каких-либо теоретических представлений о действии ОР, их поиск происходил чисто эмпирическим путем. Это позволяет выделить на втором этапе формирования научного направления по применению ОР стадию развернутого эмпирического поиска. В это время предлагается много методик для определения различных металлов и некоторых неметаллов. Как правило, суть работ сводилась к констатации самого факта

реакции и к описанию более или менее ярко выраженного аналитического эффекта. Однако уже вскоре появляются отдельные работы другого плана. В них содержались идеи, существенные для понимания основ действия ОР. Это, во-первых, указание на существование в молекуле реагента особых группировок, ответственных за данную реакцию [7—11]; во-вторых, понятие о внутренних комплексных солях, введенное Г. Леем в 1904 г. [12].

Следующая стадия в формировании научного направления — теоретическая — связана с работами Л. А. Чугаева. В науковедении в качестве критерия для выделения самостоятельного научного направления принимается «наличие объединяющей исследователей целостной познавательной основы» [13, с. 295]. Именно Л. А. Чугаеву принадлежит заслуга в разработке такой основы. Новое научное направление возникло на стыке органической, неорганической, координационной и аналитической химии. В лице Л. А. Чугаева счастливо сочеталось блестящее знание всех этих направлений. Особенно важным было то, что Л. А. Чугаев одним из первых высоко оценил теорию А. Вернера и своими работами во многом способствовал ее распространению и развитию. Был знаком он и с работами Г. Шиффа и Г. Лея [14, с. 134, 140]. В научных обзорах по ОР до сих пор ссылаются на статью Л. А. Чугаева 1905 г. «О новом чувствительном реагенте на никель» [15]. Впоследствии материал статьи вошел в докторскую диссертацию Л. А. Чугаева «Исследования в области комплексных соединений» (М., 1906) [16]. Несомненно, аналитическая реакция диметилглиоксима с никелем, которая «дает вполне явный результат еще при содержании 1 части никеля в 2 000 000 частях воды» [16, с. 60], явилась важным открытием. Л. А. Чугаевым были предложены и другие удачные ОР: третичный бутилкарбиламин как реагент на платину, лейкооснование малахитовой зелени — на четырехвалентный иридий, тиомочевина — на осмий, магниорганические соединения — для открытия и отделения гидроксильных соединений [17—20]. Однако это не выходило за рамки эмпирической стадии, и не в этом состояла главная заслуга Л. А. Чугаева.

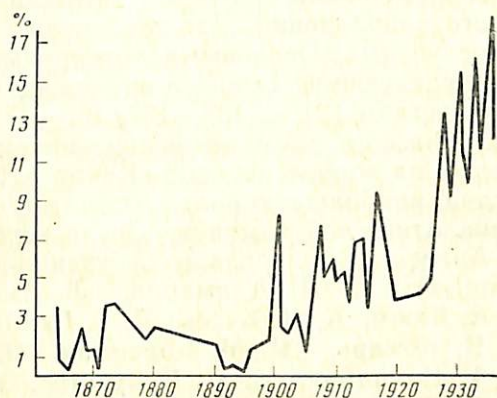
Здесь мы вплотную подходим к вопросу о том, кого считать основоположником нового научного направления. При ответе на вопрос мы руководствовались следующим критерием: основоположником нового научного направления можно считать ученого в том случае, если он впервые выполнил программное систематическое исследование в данном направлении, на основе теоретических рекомендаций которого возможно прогнозирование и проведение дальнейших результативных исследований в данной области. Для Л. А. Чугаева использование ОР для аналитических целей стало программным направлением научной работы. Его диссертация явилась первым фундаментальным и систематическим исследованием в области соединений металлов с α -диоксимами, в котором выдвигались важные теоретические идеи о механизме действия ОР. Важнейшие из них — это идеи о наличии в молекуле ОР особых «остатков», ответственных за способность к комплексообразованию, и выявление общих условий образования устойчивых комплексных (внутрикомплексных) соединений, состоящих в возможности замыкания цикла. Л. А. Чугаев писал: «Гипотеза, предполагающая присутствие циклической связи в комплексных соединениях, не только оправдывается целым рядом фактов, но и представляется в высшей степени плодотворной, давая в наши руки новое средство, могущее способствовать дальнейшему развитию наших знаний в этой еще мало исследованной области...» [16, с. 110].

Таким образом, мы видим, что, хотя сам Л. А. Чугаев справедливо писал, что «применение отдельных комплексных соединений к анализу так же старо, как применение соединений органических» [17, с. 344], именно благодаря его работам исследователи получили четкое пред-

ставление о том, среди каких органических соединений прежде всего следует искать новые ОР.

Для более полной характеристики этапа формирования научного направления по применению ОР в аналитической химии мы провели наукометрическое исследование публикаций по ОР с 1864 по 1935 г. по материалам журнала «Fresenius Zeitschrift für analytische Chemie». Этот журнал, основанный К. Р. Фрезениусом в 1862 г. в Германии, является первым научным журналом по аналитической химии. Он особенно подходит для наших целей также потому, что в каждом номере помимо оригинальных статей помещает обзорные статьи под рубриками «Химический анализ неорганических веществ» и «Общие аналитические операции, аппараты и реагенты», в которых реферируются и оцениваются публикации по химическому анализу, опубликованные в других странах.

Рост количества публикаций по органическим реагентам (ОР) в «Zeitschrift für analytische Chemie». На ординате — отношение числа страниц публикаций по ОР к общему числу страниц публикаций по неорганическому химическому анализу за год, %



Критерием отбора при подсчете публикаций служило фактическое содержание сообщений. Это было вызвано тем, что зачастую названия многих публикаций были недостаточно информативны и не позволяли однозначно судить о их содержании. С 1864 по 1935 г. журнал претерпел некоторые изменения. Главным образом менялся объем ежегодников. Так, например, число страниц в ежегоднике увеличилось с 500—800 до 1500—2000. Кроме того, нам не удалось обнаружить нескольких отдельных номеров журнала. Поэтому, чтобы была возможность сопоставлять данные за весь рассматриваемый период, для построения наукометрической кривой использовались не абсолютные годовые значения количества публикаций по ОР, а их процентное отношение к общему количеству публикаций по неорганическому анализу за каждый данный год.

На рисунке представлены данные по количеству публикаций по ОР. Общее число публикаций по ОР в журнале с 1864 по 1935 г. в сумме составило 596. Из них в Германии было выполнено примерно 35% от всех работ. Наибольшее число работ иностранных ученых — работы русских и советских ученых (более 9%). Из 596 сообщений только 20 касаются некоторых теоретических вопросов, остальные являются чисто эмпирическими работами. 65% работ описывают новое приложение ранее известных ОР, а в 35% предлагаются новые ОР. Характеризуя сами ОР, можно отметить, что из общего числа описанных в журнале ОР 16% составляют ОР природного происхождения, а 84% — синтетические. Около 12% работ посвящено ОР-индикаторам. Число ОР, предложенных для количественного анализа, в 1,3 раза больше, чем для качественного, а предложенных для определения катионов — в 4,5 раза больше, чем для анионов. Кроме того, ОР можно подразделить еще на ОР-осадители (примерно 43%); ОР для цветных реакций (39%); ОР-растворители (6%); ОР для физико-химических методов анализа (6%); ОР-вспомога-

тельные вещества (4%); ОР для определения органических соединений (2%). Интересно, что диметилглиоксим — реагент, предложенный Л. А. Чугаевым, фигурирует в 30 сообщениях, реактив М. А. Ильинского α -нитрозо- β -нафтол упоминается в 9 сообщениях. Из других ОР, ставших классическими, можно назвать оксихинолин, которому посвящено 30 сообщений, купферрон — 18, дитизон — 10.

Таким образом, главной областью применения ОР в этот период является анализ металлов с помощью ОР-осадителей и ОР для цветных реакций. Наибольшее количество методик предложено для определения таких металлов, как медь (около 60), железо, кобальт, никель (более 30), цинк, магний, алюминий (около 30).

Для более объективной характеристики исторического развития научного направления по применению ОР в аналитической химии нам представлялось важным и интересным попытаться изучить и обобщить оценки современными ведущими учеными исторического развития этого научного направления. Для этой цели нами был использован анкетный опрос ученых. Основными критериями отбора анketируемых ученых были следующие: 1) признание их вклада в развитие ОР самим научным сообществом [21, с. 133—137, 166—175, 198—223; 22; 23]; 2) масштабы практического применения предложенных реагентов и методов. Ответы ученых на вопрос анкеты: «Какие работы и реагенты сыграли, на Ваш взгляд, наибольшую роль в развитии практики и теории применения ОР в аналитической химии?», — были использованы в настоящей работе.

Анкеты были посланы 59 ученым, ответили 35 человек (63% опрошенных): И. П. Алимарин, Л. П. Адамович, Ю. А. Банковский, И. А. Блюм, А. И. Бусев, Д. Г. Гамбаров, С. И. Гусев, Ю. А. Золотов, Н. П. Комарь, И. М. Коренман, Н. М. Кузьмин, В. А. Назаренко, А. А. Немодрук, Н. С. Полуэктов, И. В. Пятницкий, О. А. Сонгина, М. М. Тананайко, А. И. Черкесов, Д. П. Щербов (СССР), Г. Аккерман (ГДР), Р. Бельчер, Т. Вест, В. Стивен (Великобритания), Э. Блазиус, Ф. Умланд (ФРГ), А. К. Де (Индия), Г. Ден Буф (Нидерланды), Д. Дирссен (Швеция), Я. Инцеди (ВНР), Н. Йорданов (БНР), З. Марченко (ПНР), Т. Секине, К. Хииро (Япония), Л. Соммер, З. Хольцбехер (ЧССР).

Анализ ответов ведущих современных ученых позволил выявить группу ученых — лидеров этого направления. В анкетах советских ученых названы имена 51 исследователя. Из 20 ученых (чьи имена названы дважды и большее число раз), вошедших в группу лидеров, 15 человек (т. е. 75%) — отечественные аналитики. По «числу голосов» исследователи распределились следующим образом: С. Б. Саввин (8); В. И. Кузнецов (7); Л. А. Чугаев (7); Ф. Файгль (6); Л. А. Кульберг, А. К. Бабко (5); Г. Шварценбах, И. М. Коренман, А. Т. Пилипенко, Ю. А. Золотов (4); Р. Берг, Г. Фишер, И. П. Алимарин, В. А. Назаренко (3); А. С. Комаровский, Н. С. Полуэктов, Н. П. Комарь, Я. Бьеррум, С. И. Гусев, В. П. Живописцев (2). В группе лидеров, по оценкам зарубежных ученых (всего названо 59 имен), 17 человек, причем 11 из них являются советскими учеными (т. е. 65%). Последовательность распределения такова: Г. Шварценбах (9); Л. А. Чугаев (8); Ф. Файгль, И. П. Алимарин, С. Б. Саввин, Ю. А. Золотов (6); А. К. Бабко, В. И. Кузнецов (4); Р. Берг, Р. Пршибил, А. Т. Пилипенко (3); М. А. Ильинский, И. В. Пятницкий, В. А. Назаренко, А. И. Бусев, И. Стары, Х. Ирвинг (2). Наконец, группа лидеров, по совместным оценкам советских и зарубежных ученых, выглядит так: Л. А. Чугаев (15); С. В. Саввин (14); Г. Шварценбах (13); Ф. Файгль (12); В. И. Кузнецов (11); Ю. А. Золотов (10); И. П. Алимарин, А. К. Бабко (9); А. Т. Пилипенко (7); Р. Берг (6); В. А. Назаренко (5).

Итак, выявлена группа мировых лидеров из 11 ученых. Из них 8 являются советскими (73%), что свидетельствует о мировом лидерстве совет-

ской школы аналитиков в области ОР. Примечательно, что современные ученые ставят на первое место в мировой группе лидеров Л. А. Чугаева — основоположника научного направления по применению ОР в аналитической химии.

При оценке реагентов советские ученые ставят на первое место реагенты группы арсеназо (работы С. Б. Саввина), а зарубежные — комплексоны (работы Г. Шварценбаха). Разную оценку этих реагентов советскими и зарубежными учеными можно связать с исторически сложившимися различиями в практике оснащения приборами и реагентами аналитических лабораторий в нашей стране и за рубежом, — отсюда и различие в использовании аналитических методов. В СССР наибольшее развитие получила спектрофотометрия. Практически в каждой аналитической лаборатории есть спектрофотометр, поэтому и важнейшие фотометрические реагенты группы арсеназо получили наивысшую оценку. Значение комплексонов в аналитической практике зарубежных стран связано с более широким применением различных инструментальных методов индикации точки эквивалентности, что способствует развитию комплексонометрии [24, с. 98—118], а также с гораздо большим, чем в СССР, использованием различных физических методов (например, спектральных). Физические методы очень часто применяются в сочетании с химическими методами разделения и концентрирования, что также связано с использованием комплексонов. Кроме того, они требуют наличия стандартов, проанализированных другими способами, а в качестве арбитражных очень широко применяются комплексонометрические методы.

Литература

1. Саввин С. Б., Стрельникова Е. Б. Опыт исторической периодизации применения органических реагентов в аналитической химии. — Журн. аналит. химии, 1983, т. 38, вып. 4, с. 727—735.
2. Современные тенденции и перспективы применения органических реагентов в аналитической химии. (Обсуждение за «круглым столом»). — Журн. аналит. химии, 1980, т. 35, вып. 9, с. 1853—1859.
3. Чугаев Л. А. Современные задачи органической химии. Вступительная лекция, читанная в Технологическом институте 18 ноября 1909 г. — В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 40—53.
4. Рябчиков Д. И. Комплексные соединения и их применение в аналитической химии. — Журн. аналит. химии, 1952, т. 7, вып. 1, с. 34—42.
5. Сабадвари Ф., Робинсон А. История аналитической химии. М.: Мир, 1984. 304 с.
6. Ильинский М. А. Жизнь, труды и изобретения. (Сборник исследований акад. М. А. Ильинского в области химии красящих веществ и статьи о его работах). М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 372 с.
7. Kostanecki S. Zur Kenntniss der beizenfärbenden Farbstoffe. — Ber. Dtsch. chem. Ges., 1887, B. 20, S. 3146—3149.
8. Федоренко Н. В. К вопросу об открытии характерных атомных группировок. — Вopr. истории естествознания и техники, 1982, № 1, с. 89—91.
9. Schiff H. Über Biuret und Biuretreaction. — Lieb. Ann., 1898, B. 299, H. 2, s. 236—266.
10. Brühl J. W. Über die Constitution des sogenannten Nitrosourethans. — Ber. Dtsch. chem. Ges., 1902, Jg. 35, B. 1, s. 1148—1152.
11. Werner A. Zur Theorie der Beizenfarbstoffe. — Ber. Dtsch. chem. Ges., 1908, B. 41, s. 1062—1071.
12. Ley H. Über innere Metalli-Komplexsalze. — Z. Elektrochem., 1904, Jg. 10, № 52, s. 954—956.
13. Основы науковедения./Рук. авт. колл. Микулинский С. Р. М.: Наука, 1985. 431 с.
14. Чугаев Л. А. О соединениях, вызывающих биуретовую реакцию. — В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 134—147.
15. Tschugaeff L. Über ein neues, empfindliches Reagens auf Nickel. — Ber. Dtsch. chem. Ges., 1905, Jg. 38, B. 3, s. 2520—2522.
16. Чугаев Л. А. Исследования в области комплексных соединений. Докторская диссертация. Москва, 1906. — В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 1. М.: Из-во АН СССР, 1954, с. 10—133.
17. Чугаев Л. А. Органические соединения в приложении к минеральному анализу. — В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 344—349.

18. Чугаев Л. А. Новый способ открытия иридия в присутствии других металлов платиновой группы.— В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 547—549.
19. Чугаев Л. А. Новая реакция на осмий.— В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954, с. 591.
20. Чугаев Л. А. Применение органометаллических соединений магния для аналитических целей.— В кн.: Чугаев Л. А. Избр. тр. Т. 2. М.: Изд-во АН СССР, 1956, с. 259—260.
21. Золотов Ю. А. Очерки аналитической химии. М.: Химия, 1977. 240 с.
22. Бабко А. К. Успехи аналитической химии в СССР за 50 лет.— Завод. лаб., 1967, т. 33, № 10, с. 1189—1207.
23. Ориент И. М. Статистическое изучение цитируемости работ по аналитической химии.— Завод. лаб., 1967, т. 33, № 11, с. 1383—1386.
24. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.

THE HISTORY OF THE APPLICATION OF ORGANIC REAGENTS IN ANALYTIC CHEMISTRY: THE DEVELOPMENT OF THE BRANCH OF SCIENCE

E. B. STRELNIKOVA

The scientometric analysis of publications on organic reagents (OR) based on materials of «Zeitschrift für Analytische Chemie» (1864—1935) is given. The groups of leader scientists in the application of OR in analytic chemistry are identified by questioning (35 questionnaires) of (a) soviet scientists, (b) scientists from abroad, (c) both together. It is shown that 8 from 11 world leaders in this branch of analytic chemistry are soviet scientists. The result shows the leading role of homeland school of analytical chemists in the application of OR.

К ИСТОРИИ КРИСТАЛЛОХИМИИ

А. М. СМОЛЕГОВСКИЙ

История кристаллохимии — одна из наименее исследованных областей в системе историко-химических дисциплин. Между тем актуальность разработки данной проблемы становится все очевиднее в свете современных успехов кристаллохимии и той роли, которую она сыграла и продолжает играть в развитии целого комплекса наук (минералогии, геохимии, химии и физики твердого тела). Наконец, необходимость освещения истории кристаллохимии — насущная потребность развития самой истории химии, поскольку решение широкого круга задач, включая такую кардинальную, как реконструкция химического мышления в XX столетии, невозможно без учета влияния идей кристаллохимии.

В статье рассматриваются вопросы о возникновении термина «кристаллохимия», эволюции представлений о предмете данной науки, своеобразии современного этапа ее развития и его связи с проблемами историко-химического исследования.

О возникновении термина «кристаллохимия»

Только в одной работе [1] мы встретили упоминание о времени появления термина «кристаллохимия». В 1953 г. в докладе, прочитанном на юбилейной сессии, посвященной столетию со дня рождения Е. С. Федорова, Г. Б. Бокий отметил, что, описывая в 1916 г. «правила, определяющие значения кристаллографических плоскостей в кристалле в зависимости от атомной структуры, Федоров впервые употребляет термин „кристаллохимия“» [1, с. 23—24]. (Речь идет о статье Е. С. Федорова «Основной закон кристаллохимии» [2].)

Очевидно, Г. Б. Бокий имел в виду структурную кристаллохимию, т. е. ту стадию развития кристаллохимии, начало которой непосредственно связано с применением метода рентгеноструктурного анализа (после 1913 г.). Логично предположить, что рассматриваемый термин фигурировал и в «доструктурный» период¹ в работах, относящихся к областям, которые ранее именовались «химической кристаллографией», «химической минералогией» и «физической химией кристаллов». Однако просмотр соответствующих публикаций, включая монографии П. Гро-та [3], К. Дюельтера [4] и А. Арцруни [5], не дал положительных результатов.

В то же время в Энциклопедическом словаре Брокгауза и Ефрона, в тексте статьи под рубрикой «Кристаллология»², встречается термин «кристаллохимия»: «Наконец, кристаллохимия обнимает химические

¹ Так в литературе по истории кристаллографии, кристаллохимии и минералогии называют период до создания метода рентгеноструктурного анализа (до 1913 г.).

² Ее автор — приват-доцент П. А. Земятческий, впоследствии профессор Петербургского университета.