

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

И. И. ШАФРАНОВСКИЙ

ИСТОРИЯ  
КРИСТАЛЛОГРАФИИ  
В РОССИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

И. И.  
ШАФРАНОВСКИЙ  
ИСТОРИЯ  
КРИСТАЛЛО-  
ГРАФИИ  
В РОССИИ

А К А Д Е М И Я      Н А У К      С С С Р

---

*ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ*

И. И. ШАФРАНОВСКИЙ

ИСТОРИЯ  
КРИСТАЛЛОГРАФИИ  
В РОССИИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

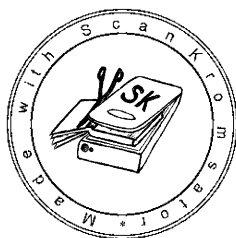
Москва 1962 Ленинград

## А Н Н О Т А Ц И Я

В монографии на основе большого фактического материала впервые дана история кристаллографии в России. В книге прослеживается развитие кристаллографии от зарождения первых понятий о кристаллах до достижений этой науки к моменту Великой Октябрьской социалистической революции.

Дается анализ различных теорий, разбор трудов М. В. Ломоносова, Т. Е. Ловица, В. М. Севергина, Н. И. Кокшарова, А. В. Гадолина, Д. И. Менделеева, Д. Н. Чернова, А. Е. Арцуни, Е. С. Федорова, В. И. Вернадского и других ученых.

Издание рассчитано на научных сотрудников, преподавателей и лиц, интересующихся вопросами кристаллографии и истории науки.



Scan AAW

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Имена крупнейших русских кристаллографов — Е. С. Федорова, А. В. Гадолина, Н. И. Кокшарова, Г. В. Вульфа пользуются мировой известностью и, как правило, называются в имеющихся очерках по истории кристаллографии. Однако наряду с этими прославленными именами существует и ряд других, незаслуженно забытых и требующих своего восстановления в истории науки.

Именно сейчас, когда параллельно со структурной кристаллографией интенсивно развиваются кристаллохимия, кристаллофизика и учение о реальном кристалле, мы с благодарностью открываем старинные труды зачинателей этих разделов, не понятые современниками и забытые последующими исследователями. Вот почему в этой книге вместе с известными всем именами читатель встретит и малоизвестные, а быть может, и совершенно неизвестные имена русских ученых, заслуги которых представляют сейчас значительный интерес.

В настоящее время еще не написана история развития кристаллографии во всем мире. Для создания труда по такой всеобъемлющей истории требуется большая предварительная работа по сбору соответствующего материала в различных странах. Этой задаче отчасти и должна служить настоящая книга, всецело посвященная развитию кристаллографии в нашей стране.

Следует отметить, что затронутая нами тема очень мало освещалась в литературе. Относящиеся к ней сведения приходилось разыскивать как в оригинальных трудах, так и в старинных некрологах, отдельных специальных статьях и архивных материалах.

Несмотря на ограничение нашей темы одними лишь русскими кристаллографическими работами, написанными до 1917 г., эта книга все же не может претендовать на роль исчерпывающего труда по истории развития кристаллографии в России, ибо создание даже такой работы сопряжено с большими трудностями, связанными как со спецификой самой науки о кристаллах, так и с далеко не достаточной изученностью ее развития в нашей стране. Напомним, что вплоть до начала XX столетия кристаллографии как самостоятельной дисциплины по сути дела не су-



ществовало. Официально в высших учебных заведениях она считалась частью минералогии и преподавалась на минералогических кафедрах в качестве «курса предуготовительной минералогии». Разработкой кристаллографических проблем в подавляющем большинстве случаев занимались специалисты-минералоги. Такое положение сложилось исторически, так как долгое время единственными объектами, представлявшими достаточно благодарный материал для кристаллографических исследований, являлись хорошо развитые и довольно крупные кристаллы природных минералов. Практическое значение последних явилось стимулом для углубленного их изучения как с целью уточнения диагностики, так и с целью возможно полного и всестороннего использования их свойств.

Минералогическая линия в развитии кристаллографии очень четко прослеживается в истории русской науки. На это обстоятельство обратил внимание еще К. А. Тимирязев. Он писал: «Русские минералоги заявили себя преимущественно в области кристаллографии (Гадолин, Кокшаров), в особенности отмечена была позднее в этом направлении деятельность Федорова, имя которого получило широкую европейскую известность».<sup>1</sup>

Для изучения этой линии, история которой тесно переплетается с историей развития собственно минералогии, необходимо самое тщательное знакомство с геолого-минералогической литературой. Часто бывает очень трудно разделить относящееся к собственно минералогии и к собственно кристаллографии. Поэтому ряд глав в этой работе может быть с одинаковым правом отнесен к истории развития обеих этих наук.

«Кристаллография, как известно, лежит посредине треугольника: физика—химия—минералогия»,<sup>2</sup> а поэтому и множество интересных кристаллографических данных содержится в литературе по физике и особенно химии. С кристаллографией мы встречаемся и в произведениях металлургов. Само собой разумеется, что учесть все эти данные нет никакой возможности. Нам кажется, что в этом случае можно ограничиться лишь трудами, сыгравшими определенную роль в истории науки и представляющими интерес с точки зрения собственно кристаллографии. Именно такой подход к имеющемуся материалу и был использован при написании этой книги.

Мы попытались по возможности шире и подробнее осветить наиболее выдающиеся произведения русской научной литературы, имеющие прямое отношение к науке о кристаллах. Нам казалось

---

<sup>1</sup> К. Тимирязев. Развитие естествознания в России в эпоху 60-х годов. Изд. Русск. библиограф. инст. бр. А. и И. Грават, М., 1920, стр. 27—28.

<sup>2</sup> Н. В. Белов. О курсе геометрической кристаллографии для физиков. Кристаллография, т. 2, вып. 5, 1957, стр. 678.

целесообразным не скупиться на цитаты из оригинальных трудов. Редкость и трудность нахождения старых специальных изданий, по-видимому, оправдывают это. В тексте, как правило, приводятся отзывы современников и выдающихся ученых о разбираемых трудах. Особое внимание обращается также на дискуссии и спорные моменты в истории развития науки о кристаллах.

С целью всестороннего освещения прошлого кристаллографии нами были широко использованы архивные данные. Наиболее интересные документы и письма публикуются в тексте книги.

Историю развития кристаллографии в России невозможно рассматривать оторванно от развития этой науки в других странах, а поэтому мы неоднократно останавливались на наиболее важных моментах в развитии кристаллографии во всем мире и на роли наиболее выдающихся зарубежных ее представителей.

Частичное или полное забвение трудов ряда оригинальных ученых заставило нас особенно подробно остановиться на рассмотрении их достижений. Этим и обусловлена некоторая несоразмерность глав настоящей книги: малоизвестным данным пришлось поневоле уделить больше внимания, чем хорошо знакомым фактам.

Ограничившись рассмотрением деятельности отдельных русских кристаллографов, мы вовсе не затронули развития химических и металлургических процессов кристаллографического характера в отечественной промышленности. В этом случае мы отсылаем читателя к имеющейся литературе.

Настоящая книга не могла бы быть законченной без помощи ряда учреждений и товарищей по работе — специалистов в области кристаллографии, минералогии, химии, физики и истории науки. Сотрудники Ленинградского горного института (Н. Н. Стулов, В. А. Мокиевский), Всесоюзного минералогического общества (президент В. А. Николаев), Института кристаллографии (акад. А. В. Шубников, акад. Н. В. Белов), Института истории естествознания и техники (проф. П. П. Перфильев, проф. Н. А. Фигуровский, Г. А. Андреева), Ленинградского отделения Архива Академии наук (директор Г. А. Князев), Кабинета истории геологии при Институте геологии (проф. В. В. Тихомиров) и ряда других учреждений неоднократно помогали в нашей работе.

Особо должно быть отмечено дружеское участие в ней чл.-корр. АН СССР Г. Б. Бокия, нашего соавтора по статье «Русские кристаллографы», послужившей как бы «кристаллической затравкой» для настоящего труда. Совместная работа с проф. Д. П. Григорьевым по написанию книги «Выдающиеся русские минералоги» (1948 г.) чрезвычайно способствовала выяснению развития минералогической линии в кристаллографии.

Сведения о кристаллографах XVIII в. не были бы достаточно полными без помощи кандидата исторических наук Н. М. Раскина, указавшего нам пути архивных изысканий.

Многими ценными советами, полезными замечаниями и новыми данными мы обязаны проф. В. П. Барзаковскому, Л. Г. Герц, Р. Б. Добротину, проф. С. М. Курбатову, проф. Е. К. Лазаренко, проф. Г. Г. Леммлейну, А. В. Немиловой, Г. Л. Пиотровскому, проф. Е. Е. Флинт, В. А. Франк-Каменецкому, проф. В. Б. Татарскому, Е. А. Победимской, Г. М. Попову.

Считаем своим долгом выразить всем им свою глубокую благодарность.

---

## 1. ЗАРОЖДЕНИЕ ПЕРВЫХ ПОНЯТИЙ О КРИСТАЛЛАХ В РОССИИ

Природные кристаллы в виде отдельных образований или зернистых скоплений издавна обращали на себя внимание. Однако в первую очередь привлекало не геометрически правильное огранение кристаллических тел, а все то, что позволяло использовать их практически, в различных производственных процессах или для украшений. Твердость, прочность, плавкость, вкусовые свойства, красивая окраска и блеск играли главную роль при оценке кристаллических веществ.

Первые находки ценных минералов, а следовательно и кристаллов на территории нашей страны относятся ко временам глубокой давности. По-видимому, уже древние греки получали через скифов камни и металлы из Рифейских гор, т. е. с Урала.<sup>1</sup> В «Естественной истории» Плиния Старшего (I в. н. э.) упоминаются скифские «знатнейшие смарагды» (очевидно, изумруды).

Согласно историческим данным, наиболее стародавними промыслами на Руси, связанными с широким использованием кристаллического вещества, являлись ломка строительного камня, разработка и плавка железных руд, добывание соли из подземных рассолов.<sup>2</sup>

Начало каменного строительства и зарождение рудного дела относятся к доисторическим временам. Первые сведения о соляном промысле восходят к XI в. Очевидно, к более поздним временам относятся планомерные поиски и добыча слюды, цветных и драгоценных металлов, самоцветов, мрамора и др.

В XV в. московский князь Иван III писал, что в России «руда золотая и серебряная есть». Слюда с Белого моря и из Мамской тайги, употреблявшаяся вместо стекла в XV—XVIII вв. и расходившаяся далеко за пределы России — «Московии», стала повсеместно называться «мусковитом».

В это же время появляются новые сведения о минералах и природных кристаллах, причем доставляют их не ученые, а про-

<sup>1</sup> А. Е. Ферсман. Из истории культуры камня в России. Изд. АН СССР, М.—Л., 1946, стр. 13.

<sup>2</sup> А. В. Хабаров. Очерки по истории геологоразведочных знаний в России, ч. I. Изд. Моск. общ. испытателей природы, М., 1950, стр. 8.

стые люди — рудознатцы и горщики. По Печоре, на Урале и в Сибири они находят различные руды, «узорочные камни», «лазоровое и красное камень» и многие другие минералы, частично остающиеся для нас скрытыми под еще не расшифрованными названиями.<sup>3</sup>

До сих пор среди горщиков и гранильщиков камня на Урале сохраняются такие местные названия, как «тяжеловес» для топаза, «смоляк» или «струганец» для дымчатого кварца и т. п.<sup>4</sup> Все это показывает, как внимательно учитывались старинными знаатоками камня и вес, и окраска, и внешняя, как бы искусственно обструганная, форма кристаллов.

«Русский народ выполнил к исходу XVII века огромное дело, произведя розыски полезных ископаемых на обширнейшей площади Европы и Азии. Русские рудознатцы сумели приступить к розыску полезных ископаемых в столь отдаленных местах, как Алтай, Восточная Сибирь. Именно они открыли в центре страны и на далеких окраинах множество новых месторождений железных и медных руд, слюды, соли, минеральных красок. Замечательными достижениями XVII века были открытия серебряных руд в Сибири, самоцветов на Урале и в Сибири, нефти и графита в Сибири», — пишет об этом периоде историк русской техники В. В. Данилевский.<sup>5</sup>

Из приведенных данных мы видим, что первое знакомство с природными кристаллами было тесно связано с их практическим использованием в строительном деле, металлургии, соляной промышленности и т. д. Об отдельной отрасли знания, специально посвященной кристаллам, в те времена, конечно, не могло быть и речи. Однако постепенное накопление многочисленных наблюдений над свойствами удивительных «угловатых тел» в конце концов привело к зарождению точных понятий о кристаллах вообще. Так, использование белой слюды вместо стекла основывалось на знакомстве со способностью этого минерала колоться на тончайшие пластинки, т. е. с тем, что мы сейчас называем спайностью по плоскости третьего пинакоида. Соляной промысел основывался на выварке соли из рассолов, т. е. на умении производить кристаллизацию из соляных растворов. По справедливому замечанию историка строгановских дел и предприятий, «повар должен был хорошо знать все свойства тех рассолов, над которыми ему приходилось работать, так как „твердые“, содержавшие много глинистого известняка, гипса и пр., и „мягкие“ рассолы по-разному закипали и осаживали соль, для чего требо-

<sup>3</sup> Д. П. Григорьев и И. И. Шафрановский. Выдающиеся русские минералоги. Изд. АН СССР, М.—Л., 1949. стр. 6.

<sup>4</sup> М. И. Пыляев. Драгоценные камни. Их свойства, местонахождение и употребление. СПб., 1896, стр. 365 и 376.

<sup>5</sup> В. В. Данилевский. Русская техника. Ленингр. газетно-журн. и книжн. изд., Л., 1948, стр. 36.

вались разная топка и особый уход в процессе варки соли». <sup>6</sup>

Сохранилось много данных, свидетельствующих о весьма высокой постановке солеварения в древней Руси. Уже в уставной грамоте князя Святослава Ольговича, датированной 1137 г., говорится о соляных варницах Двинской земли. Из документов XIV—XV вв. видно, что в то время существовали многочисленные старинные варницы и соляные колодцы в разных «соляных местах». В конце XVII в. особенно широкой известностью пользовались каменная соль Илецкой Защиты и Кемпендяйские соляные варницы в бассейне р. Вилюя (на карте Ремезова, относящейся к 1703 г., возле Кемпендяя стоит даже надпись «соль варят»). <sup>7</sup>

Высокое развитие соляного производства требовало умелых рук и глубокого знания дела. Поэтому и появились опытные специалисты-солеварщики, в некотором роде первые кристаллографы нашей страны. Таков, например, «соленово варенья мастер, старорущенин (т. е. уроженец Старой Руссы, — *II. III.*) Анисимко Таросьев», упоминаемый в исторической литературе. <sup>8</sup> В ряде мест нашей страны (Тотьма, Соликамск, Верхняя Вятка и др.) до сих пор сохранились остатки соляных варниц и древних деревянных труб для рассола. Все эти замечательные сооружения говорят о широком производственном размахе и высокой для того времени технике солеварения. <sup>9</sup>

Сведения о кристаллах, найденных и полученных в пределах родной земли, с течением времени стали обогащаться данными о минералах из чужих краев. В XV в. русские путешественники достигли Индии, где драгоценные камни-кристаллы являлись предметом товарного обмена. Хорошо известны записи на эту тему, оставленные знаменитым путешественником, тверским купцом Афанасием Никитиным (1466—1472).

Нижеследующие цитаты из этих записей показывают, что Никитин был осведомлен о природном происхождении драгоценных кристаллов: «А Цейлон же есть немалая пристань Индийского моря, а в нем на высокой горе отец Адам (пик Адама, — *II. III.*). Да около него родятся драгоценные камни, рубины, кристаллы, агаты, смола, хрусталь, наждак»; <sup>10</sup> «В Пегу же (область в южной Бирме, — *II. III.*) пристань немалая и живут в нем все индийские дerviши. А родятся в нем драгоценные камни рубин

---

<sup>6</sup> А. Введенский. Служащие и работные люди у Строганова в XVI и XVII веках. Архив истории труда в России, 1924, № 1, стр. 68.

<sup>7</sup> А. В. Хабаров. Очерки по истории геологоразведочных знаний в России, ч. I, стр. 8—9.

<sup>8</sup> И. М. Кулишер. История русского народного хозяйства, т. 2. М., 1925, стр. 233.

<sup>9</sup> А. В. Хабаров. Очерки по истории геологоразведочных знаний в России, ч. I, стр. 10.

<sup>10</sup>хождение за три моря Афанасия Никитина. Изд. АН СССР, М.—Л., 1958, стр. 81.



(маник), яхонт (яхут), карбункул (кырлук);<sup>11</sup> «В Цейлоне родятся обезьяны, рубины и кристаллы. . . В Райчуре же родится алмаз, старой и новой копи; почку алмаза (почка — мера веса для драгоценных камней, — *И. Ш.*) продают по 5 рублей, а очень хорошего — по 10 рублей; почка же нового алмаза только 5 кеней, черноватого цвета — от 4 до 6 кеней, а белый алмаз — 1 деньга. Родится алмаз в каменной горе; и продают ту каменную гору, если алмаз новой копи, то по 2 тысячи золотых фунтов, если же алмаз старой копи, то продают по 10 тысяч золотых фунтов за локоть».<sup>12</sup>

К сожалению, в известных нам памятниках древнерусской письменности сведения о кристаллах встречаются крайне редко. Обычно мы находим лишь упоминания о камнях, с которыми нередко связывались мистические взгляды на природу. Подобные взгляды проникли в Киевскую Русь из Византии вместе с переводами книг религиозного содержания (XI—XIII вв.). Именно такой материал содержит письменный документ Киевской Руси — рукописная «Толковая Палая», относящаяся к XI—XII вв. В «Палее» некоторые драгоценные камни (кристаллы) уподобляются библейским персонажам. Так, например, «Сардион Вавилонский», прозрачный и красный «аки кровь», употреблявшийся в качестве целебного средства против «отеков и язв», сравнивается с сыном Иакова Рувимом: «Сий камык уподоблен Рувму Первеньцю, понеже силен и крепок на деле бяше». Чудодейственный камень «иакунт», добываемый будто бы с помощью орлов в глубоких пропастях «Скуфии» и употребляемый в качестве тушителя пожаров и акушерского средства («рожающим на потребу»), сравнивается с другим сыном Иакова — злым Даном, из племени которого явится антихрист, и т. д.<sup>13</sup> Мы видим, что драгоценным камням в XI и XII вв. широко приписывались чудодейственные лечебные свойства.

Перечень медицинского действия «дорогих камней» содержит и более поздний «Благопрохладный цветник и травник», перевод которого был выполнен «по повелению господина преосвященного Даниила, митрополита всея Руси», в 1534 г.: «Лечебник написан повелением великого царя Александра Македонского, мудрых и славных врачей Аристотеля, Серапиона и Диоскорида и иных о камнях многих драгих и бисеров многоценных, врачевании от всяких главных различных болезнях и о всяких зелийных спусках и многих лекарствах, переведена на словенский язык».<sup>14</sup>

Старинные русские лечебники содержат многочисленные рецепты использования драгоценных камней. В качестве примера

<sup>11</sup> Там же, стр. 81 и 23.

<sup>12</sup> Там же, стр. 82.

<sup>13</sup> Т. Райнов. Наука в России XI—XVII веков. М.—Л., 1940, стр. 76.

<sup>14</sup> Л. Ф. Змеев. Русские врачевники. СПб., 1885.

приведем описание свойств алмаза: «Если камень алмаз воин носит на левой стороне во оружиях, тогда бывает спасен от всех супостатов своих и сохранен бывает от всякия свары и от нахождения духов нечистых. Тот же алмаз, кто его при себе носит, грежение и сны лихие отгоняет. Тот же алмаз окорм смертный объявит, аще к тому камени приблизится, то потети начнет. Алмаз пристойит при себе держати тем людям, кои страждут лунным страданием и на которых нощию стень находит. Алмазом камнем аще беснующегося человека осяжет, тогда та болезнь переменится».<sup>15</sup>

Отражение подобных представлений мы находим и в легендарном рассказе англичанина Горсея о свидании его в Москве с Иваном Грозным. Показывая Горсею свои богатейшие сокровища, царь будто бы произносил следующую речь: «Вот алмаз, блеском дороже и ценнее всех прочих. Никогда я не любил его, он укрощает ярость и сластолюбие, дает воздержание и целомудрие. Лошадь — не то, что человек — умрет от малейшей частицы его, истертой в порошок и данной в питье. Вот рубин. Он врачует сердце, мозг, силу и память человека, очищает сгущенную и испорченную кровь. . . Я очень люблю сапфир; он хранит и усугубляет мужество, веселит сердце, радует все чувства и особенно превосходен для зрения. Он очищает глаза, уничтожает в них кровавые пятна, укрепляет их мускулы и нервы»<sup>16</sup> и т. д.

Из приведенных отрывков видно, как отдельные реальные свойства драгоценных камней — блеск, красивый цвет, твердость — дали повод к нагромождению суеверных и нелепых выдумок. Однако с течением времени такие измышления начинают постепенно отходить на второй план, уступая место почерпнутым из практики наблюдениям и фактическим сведениям.

«Книга, глаголемая „Прохладный вертоград“, избранная от многих мудрецов о различных врачевских вещах, ко здравью человеческому пристоящих», вышедшая в 1672 г., еще содержит много фантастических сведений и неправдоподобных медицинских рецептов. Однако здесь уже обращается особое внимание на реальные особенности камней. Об этом свидетельствует описание алмаза, взятое из специального раздела книги «о камнях драгих и ко многим делам угодных и о силе их»: «Камень цветом подобен нашатырю, а внутри темнее хрусталя, но блистание от себя издает, а крепостью таково крепок и тверд, что и в огне не сторит и иными вещами не может вредиться, но точию его твердость смягчит тем, что его кладут в мясо и в кровь козла, который

---

<sup>15</sup> М. И. Пыляев. Драгоценные камни, стр. 352. См. также: М. И. Пыляев. Символика и действия драгоценных камней. Труд, т. 27, 1895, № 7, стр. 43—58.

<sup>16</sup> Ю. Толстой. Сказания англичанина Горсея о России в исходе XVI столетия. Отечеств. записки, 1859, № 9, стр. 114.

прежде напоен вином и петросылевою травою накормлен. Величество того камня бывает больше ореха лесного, а находят его в арабских и кипрских странах». <sup>17</sup> Как видим, в приведенном отрывке довольно точно отмечены реальные особенности алмаза: его наружный вид, блеск и твердость. Вместе с тем здесь по-прежнему находят себе место и фантастические измышления. К ним, в частности, относится старинный рецепт Плиния относительно применения козлиной крови для размягчения алмаза. Важно отметить, что в этой книге наряду с фантастикой имеются попытки обобщений научного характера. Так, например, большой интерес представляет установление того факта, что кристаллические вещества, как найденные в природе в виде минералов, так и полученные искусственно, обладают одинаковыми свойствами. Последнее ясно выражено в следующей фразе, относящейся к селитре: «Селитра есть едина дельная, а другая самородная, а обе едину силу имеют». <sup>18</sup>

Значительно более трезво и точно описывались свойства драгоценных камней в торговых книгах, помогавших купцам распознавать самоцветы и отличать их от фальсификации.

В XVI в. русские торговые люди знали по меньшей мере семнадцать разных видов драгоценного камня. Они умели различать их на глаз и испытывать их сравнительную твердость при помощи специальной крошки («трески») из эталонных камней. <sup>19</sup>

К 1575—1610 гг. относится «Книжка описательная, како молодым людям торг вести и знать всему цену», вторая часть которой содержит специальный раздел «О всяких камениях». Приведем несколько характерных цитат из этого раздела. Рубины и сапфиры торговая книга рекомендует проверять следующим образом: «А погадет купити камень яхонт и ты яхонт пытай яхонтовой трескою, а камень яхонт всяким цветом — одна крепость, а кой яхонт не имеет яхонтова треска, то — яхонт, а коего имеет яхонтова треска, то не яхонт — достокан (горный хрусталь, — II. III.) или слюда. А сверх своей попытки — никому не верь». <sup>20</sup> Бывает «камень яхонт червчат (рубин — II. III.), или синь (сапфир, — II. III.), или чал, смотри, чтобы вода была чистая». <sup>21</sup> Здесь особенно важно отметить, что уже тогда, несмотря на разную окраску, рубин и сапфир благодаря их твердости относились к одному камню — яхонту (т. е. корунду).

Составители книги дают рецепты, как отличить друг от друга красные камни — яхонт (рубин), лал (шпинель), вареник (красный

<sup>17</sup> В. М. Флоринский. Русские простонародные травники и лечебники. Казань, 1880, стр. 152.

<sup>18</sup> Там же, стр. 168.

<sup>19</sup> А. В. Хабаров. Очерки по истории геологоразведочных знаний в России, ч. I, стр. 32.

<sup>20</sup> И. П. Сахаров. Торговая книга. Зап. Отд. русск. и славянск.-археологии, т. I, 1851, стр. 121.

<sup>21</sup> Там же, стр. 120.

турмалин), венису (гранат), бечету (циркон): «Лалы знати при варенике: коли треска не обеливает его, то лал. А вареник знати: хотя и красен, ино целое место светит бело, как и всякий хрусталь. . . И берегитесь того, чтобы вам венисы за лал не продали. . . а камень вениса обычный, купят золотник ограненного за 10 алтын, цвет у него красен и жидок. . . А бечеты за лал не купите. Бечет знати в свету: в нем как пузырьки».<sup>22</sup> В особенности рекомендовалось научиться отличать горный хрусталь (достокан) от других камней, в связи с тем, что хрустали иногда выдавали за изумруды: «Достокан знати: во всяком пузырька есть, а потри того яхонтом, хотя и не вострым, и яхонт достокана имет. . . Почали ныне в изумрудный цвет делати достоканы лживые, а говорят свинцом подделывают стекло. И вам изумруд пытати изумрудовою трескою, и буде не имет его треска, ино то прямой изумруд, а имет треска, ино то поддельное стекло».<sup>23</sup>

Видно, что в то время уже с большим искусством практически использовались и различная твердость минералов, и их внутренние особенности (пузырьки и проч.), и тонкие оттенки их окраски. К сожалению, ряд старинных названий минералов до сих пор не расшифрован, а поэтому и некоторые пункты торговой книги остаются не выясненными до конца.

Тексты, имеющие прямое отношение к кристаллографии, можно найти в специальных старинных сводках, содержащих практические рецепты по металлургии, химической промышленности и проч. К ним в первую очередь относится знаменитый воинский «Устав», в котором собран и обработан богатый и весьма разнообразный материал. Кроме чисто военных вопросов, здесь подробно излагаются сведения физико-химического и математического характера, представляющие несомненный интерес и для истории кристаллографии.

В качестве примера приведем отрывок из описания процесса приготовления и кристаллизации селитры: «И ты возьми мерник, чтоб был чист и тверд, и выложи ту воду из котла в тот мерник, и дай ему невеликое время постоять, и потом процеди тое воду сквозь колпачную полость в тот же котел; и после той воды в мернике найдешь на дне соль, и то приметь себе прямо и вари ее на опыт, как и прежде тебе объявлено, и потом из-под котла выни огонь, и дай той воде постояти и прохолонути, чтоб сор, нечистота на дно пала, а селитра учинится ясна, чиста и свежа, и потом процеди его опять сквозь мешок или колпак в деревянный сосуд, да дай ему постояти день да ночь, и потом скати его долой, и тем та селитра изготовлена».<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Там же, стр. 121.

<sup>23</sup> Там же.

<sup>24</sup> Т. Р а й н о в. Наука в России XI—XVII веков, стр. 308. Как ингридиент пороха селитра производилась, очевидно, еще в XV в. Во всяком случае в XVI в. существовали уже многочисленные специальные «заводы» се-

Как справедливо замечает Т. Райнов, «Кристаллическое состояние селитры, по-видимому, описано словами: „селитра учинится ясна, чиста и свежа“». <sup>25</sup>

Список химических веществ, встречающихся в «Уставе», содержит около 50 названий. Среди них, между прочим, значится «Аурипигментум, краска желтая». <sup>26</sup> Аптечных химикалий в это время насчитывалось более сотни; многие из них имели кристаллическую форму.

Новый богатый приток сведений о природных минералах и кристаллах и их промышленном использовании связан с эпохой Петра I, который в указе 1719 г. писал: «Наше Российское государство перед многими иными землями преизобилует и потребными металлами, и минералами благословенно есть».

Учреждение специального Приказа рудокопных дел (1700 г.), а затем Берг-Коллегии (1719 г.) особенно способствовало накоплению данных об ископаемых богатствах страны. Добытые в это время сведения нашли свое частичное отражение в трудах В. И. Татищева (1686—1750) и В. И. Геннина (1676—1750). Особый интерес представляет обширное сочинение последнего под заглавием «Генералом-лейтенантом от артиллерии и кавалером ордена святого Александра Георгием Вильгельмом де Генниным собранная натуралии и минералии камер в сибирских горных и заводских дистриктах также через его о вновь строенных и старых исправленных горных и заводских строениях и протчих курioзных вещах абрисы» (СПб., 1734). <sup>27</sup> Однако в нем имеются лишь упоминания о минералах без описания их кристаллографических особенностей. Это и понятно: кристаллографии как науки в то время еще не существовало. Относящиеся к ней случайные сведения тесно переплетались с данными минералогии, химии и металлургии. Полностью отсутствовала даже методика описания кристаллических тел.

Поэтому мы и не можем говорить о кристаллографии в России до появления соответствующих трудов М. В. Ломоносова. Нам остается лишь ограничиться приведенными выше весьма отрывочными и неполными сведениями, дающими некоторое представление о первых кристаллографических понятиях, зародившихся в нашей стране.

литренного производства. Техника селитрования сводилась, по-видимому, к организации гниения навоза, вследствие чего образовывалась азотная кислота. Добавляя золу и известь и выщелачивая смесь водой, с помощью ряда дальнейших операций, в том числе выпаривания, получали калийную селитру.

<sup>25</sup> Там же, стр. 309.

<sup>26</sup> Там же, стр. 330.

<sup>27</sup> Частично это сочинение было опубликовано в «Горном журнале» за 1826 г. Полная рукопись сочинения хранится в Ленинградском горном институте.

## II. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В ТРУДАХ М. В. ЛОМОНОСОВА

М. В. Ломоносов является истинным родоначальником кристаллографии в России. Уже в ранней юности на родном севере его внимание привлекли многогранная форма горного хрусталя, способность слюды расщепляться на тончайшие пластины, кристаллизация соли при ее выварке. Сам ученый говорил об этом в своей знаменитой книге «Первые основания металлургии». Он вспоминал керетскую слюду, хрустали «по Двине-реке в Орлецах», поморские солеварни у Белого моря, где «бывал многократно для выкупки соли к отцовским промыслам», имея в то время «уже довольно понятие о выварке».<sup>1</sup> По-видимому, юный Ломоносов посещал также выработки слюды на побережье Белого моря. Ему была хорошо известна слюда различных сортов, которую везли по Двине и грузили в Архангельске.

Эти первые впечатления наложили характерный отпечаток на все позднейшие высказывания ученого, относящиеся к кристаллическим образованиям. М. В. Ломоносов подходил к ним с точки зрения практика. Формы кристаллов и их физико-химические особенности он всегда стремился использовать практически для определения состава и качества руд, для получения хороших осадков солей и т. д. Однако его не удовлетворяло только это: ему хотелось проникнуть в самую сущность кристаллических образований, понять их внутреннее (корпускулярное) строение, выяснить ход процессов кристаллизации и т. д. И здесь мы видим влияние его ранних наблюдений и раздумий о причинах образования кубических кристалликов поваренной соли и шестигранных столбиков горного хрусталя, о процессах выварки соли и проч.

В 1735 г. Академии потребовался химик, знакомый с горным делом, для отправки в экспедицию на Камчатку. Подходящего специалиста не нашлось. Тогда президент Академии решил командировать за границу трех наиболее способных академических студентов для ознакомления с горным делом. Среди избранных оказался и 24-летний Ломоносов. Первоначально молодые люди прослушали курсы математики, физики и химии у Х. Вольфа

---

<sup>1</sup> А. М о р о з о в. Михаил Васильевич Ломоносов. Лениздат, Л., 1952, стр. 81.



в Марбурге. Второй период обучения проходил уже во Фрейберге под руководством металлурга и минералога И. Ф. Генкеля (1679—1744). Здесь, очевидно, М. В. Ломоносов и ознакомился с состоянием науки о кристаллах того времени. По сути дела, такой науки в ту пору еще и не существовало, а были лишь отдельные высказывания, теоретические домыслы и наблюдения, разбросанные по различным книгам и трактатам. Нередко сведения о кристаллах, имевшиеся в литературе, содержали причудливые вымыслы древних в сочетании с новыми выдумками и фантазиями.

Кристаллография развивалась необычайно медленно и трудно. В самом деле, вплоть до XVII в. дальше описаний «удивительных угловатых тел» дело не шло. Недоумения, вызываемые природными многогранниками, зачастую устранялись при помощи толкований мистического порядка. Кристаллам приписывались сверхъестественные и чудодейственные свойства. Даже такой ученый, как И. Кепплер, говоря о кристаллических формах, ссылаясь на некую фантастическую «образующую силу», которая «находится во внутренностях земли и подобно рождающей жене производит пять правильных геометрических тел в формах драгоценных камней».<sup>2</sup> Следует, кстати, сразу же отметить, что из пяти вышеупомянутых правильных тел — тетраэдра, куба, октаэдра, додекаэдра, икосаэдра — два последних в кристаллографии не имеют места. Все это говорит о том, что И. Кепплер исходил из чисто умозрительных представлений, имея весьма смутное понятие о формах реальных кристаллов. Вместе с тем ему же принадлежат первые гениальные догадки о роли шаровых упаковок в кристаллическом строении.

Долгое время ряд исследователей, введенных в заблуждение изменчивостью природных многогранников одного и того же минерала, упорно отрицал всякое их практическое значение в деле определения минералов. Эти взгляды встречались в литературе вплоть до конца XVIII в. С другой стороны, геометрически правильная форма кристаллов настойчиво наталкивала на мысль о зависимости внешнего вида минералов от их строго закономерного внутреннего строения. Появились первые, очень неясно выраженные идеи о связи формы и состава кристаллов, наметились первые попытки объяснить формы кристаллов путем укладок мельчайших шарообразных или эллипсоидальных частиц (Кепплер, позднее Гук и Гюйгенс).

В литературе, посвященной истории науки о кристаллах, большое значение придается сочинению Н. Стенона (1638—1687) «О твердом, естественно содержащемся в твердом» (1669 г.), которое представляет собой лишь введение к большому неокон-

---

<sup>2</sup> И. К е п п л е р. Гармония мира (1619). Цит. по: В. У э в е л л ь. История индуктивных наук. Русский перевод М. А. Антоновича. СПб., 1869, стр. 264.



М. В. Ломоносов (1711–1765).

ченному труду «О твердом веществе, наблюдаемом в земле». Содержание его кратко сформулировано в виде тезисов диссертации. В них Н. Стенон выступал энергичным поборником опытного изучения природных явлений. Он стремился описывать лишь наблюдавшиеся им самим и строго проверенные факты.

Исходя из своих наблюдений над кристаллами кварца, Н. Стенон писал: «Как зарождается кристалл, нам неясно, но дальнейший рост уже образовавшегося кристалла вполне понятен. Он происходит не изнутри, как у растений, но единственно путем наложения на внешние плоскости кристалла мельчайших частиц, приносящихся извне некоторой жидкостью».<sup>3</sup>

Н. Стенон объяснял несовершенство форм реальных кристаллов кварца тем, что отложение вещества на гранях происходит не в одно и то же время и не в одинаковых количествах. В связи с этим грани кристаллов на самом деле не являются плоскостями, а представляют отдельные участки, лежащие в различных плоскостях. Некоторые участки граней могут быть даже вогнутыми или выпуклыми, а не плоскостными. Иногда грани являются неровными, наподобие лестничных ступеней. Помимо кварца, Н. Стенон кратко описал железный блеск («угловатое железо»), алмаз и пирит («марказит»).

Основной заслугой Н. Стенона считается открытие закона постоянства углов. Следует, однако, отметить, что этот закон был им показан лишь на частном примере кристаллов горного хрусталя. Кроме того, указание на данную закономерность находится не в основном тексте работы, а скрыто в объяснениях к рисункам, приложенным в самом конце сочинения («Рис. 5 и 6 из числа тех, которых я мог бы привести большое количество для доказательства того, что на плоскости число и длина сторон кристалла различным образом изменяются без изменения углов»)<sup>4</sup>. Схематичность и незавершенность работы Н. Стенона привели к тому, что на его наблюдения и сделанные им выводы своевременно не обратили внимания и они не сыграли решающей роли в развитии науки о кристаллах. Позднее целый ряд исследователей заново открывает закон постоянства углов на частных примерах отдельных минералов (Гюйгенс в 1691 г. для кальцита, Левенгук в 1695 г. для гипса и т. д.).

Весьма вероятно, что М. В. Ломоносов был знаком с трактатом Н. Стенона.<sup>5</sup> Так, акад. В. И. Вернадский писал: «Латинская книжка его (Н. Стенона, — *И. III.*) оказала свое влияние

---

<sup>3</sup> Н и к о л а й С т е н о н. О твердом, естественно содержащемся в твердом. Перевод Г. А. Стратановского. Изд. АН СССР, М.—Л., 1957, стр. 38.

<sup>4</sup> Там же, стр. 66.

<sup>5</sup> В Библиотеке Академии наук (Ленинградское отделение) сохранился экземпляр трактата Н. Стенона (издание 1679 г.), приобретенного в XVIII в. и содержащего рукописные замечания того времени.

в первой половине XVIII века между прочим и на первого русского минералога и геолога М. В. Ломоносова». <sup>6</sup>

Однако среди имен, упоминаемых в сочинениях М. В. Ломоносова, имени Н. Стенона не встречается. Нельзя не отметить и резкой разницы в характере выводов обоих ученых. В отличие от датского естествоиспытателя русский ученый не удовлетворялся только наблюдениями и констатацией фактов — он стремился проникнуть в самую сущность явлений, найти причины свойств, наблюдаемых на поверхности тел, во внутреннем их строении. В этом отношении его должны были больше интересовать высказывания теоретиков, стремившихся связать форму и особенности кристаллов с их структурой, к числу которых принадлежал и известный английский ученый, современник и соперник И. Ньютона, — Р. Гук (1635—1703).

В своей «Микрографии» Р. Гук высказал мысль о сложении кристаллов из шарообразных элементарных частиц. «Думаю, — писал он, — что при наличии времени и удобного случая я смог бы показать, как все эти правильные фигуры (кристаллы), которые так разнообразны и любопытны, происходят от трех или четырех различных положений или комбинаций сферических частиц. . . Последнее я демонстрировал с помощью совокупности шариков и некоторых других очень простых тел, причем среди ранее известных мне правильных фигур (кристаллов) не оказалось таких, которых я не мог бы составить из шариков».<sup>7</sup>

Х. Гюйгенс (1629—1695) в «Трактате о свете» объяснял спайность по ромбоэдру и оптические особенности исландского шпата с помощью гипотезы, согласно которой кристаллы кальцита построены «из маленьких круглых телец, не сферических, но сплюснутых, сфероидальных».<sup>8</sup>

В отличие от Р. Гука и Х. Гюйгенса И. Ньютон (1643—1727) обращал внимание не столько на форму частиц, сколько на их закономерное расположение. «Частицы исландского шпата, — писал он, — действуют на лучи все в одном направлении, вызывая необыкновенное преломление; поэтому нельзя ли предположить, что при образовании этого кристалла частицы не только установились в строй и ряды, застывая в правильных фигурах, но также посредством некоторой полярной способности повернули свои одинаковые стороны в одинаковом направлении».<sup>9</sup> В этой цитате, как справедливо указывал акад. С. И. Вавилов, отчетливо сформулирована идея кристаллической решетки.

<sup>6</sup> В. И. В е р н а д с к и й. Проблемы биогеохимии, III. О состояниях пространства в геологических явлениях земли на фоне роста науки XX столетия. Рукопись. Москв. отд. Архива АН СССР, ф. 518, оп. 1, № 3.

<sup>7</sup> Р. Н о о к е. Micrographia. London, 1667, стр. 85—86.

<sup>8</sup> Х. Г ю й г е н с. Трактат о свете. Перевод Н. Фредерикс. Л., 1935, стр. 121.

<sup>9</sup> И. Н ь ю т о н. Оптика. Перевод С. И. Вавилова. М.—Л., 1927, стр. 302.

Знал ли М. В. Ломоносов об этих ранних попытках объяснить особенности кристаллических тел с помощью их внутреннего строения? К 1756 г. относится следующая его черновая запись, отчасти проливающая свет на данный вопрос: «Из круглой фигуры (корпускулы) — все фигуры солей, снега и т. д. Ее еще без доказательства молчаливо предполагали знаменитейшие ученые». <sup>10</sup>

Приведенное высказывание свидетельствует о том, что М. В. Ломоносов знал о таких попытках. Однако они, по-видимому, его не удовлетворяли, так как давались «без доказательства». Как мы увидим дальше, М. В. Ломоносов с помощью точных измерений угловых величин на кристаллах стремился математически строго обосновать связь между расположением корпускул и кристаллической формой.

Рассматривая состояние науки о кристаллах в XVIII в., необходимо еще упомянуть К. Линнея (1707—1778) и его курьезную систематику кристаллов (главным образом минералов), основанную на их внешних формах. Согласно К. Линнею, кристаллическая форма всегда образуется за счет присутствия в ней некоторой соли. Таким образом, соли являются «отцами» кристаллической формы, а основное вещество камня соответствует материнскому началу. В связи с этим К. Линней подразделил кристаллы на роды по числу солей, порождающих характерные формы. В «Системе природы», изданной в 1735 г., он насчитывал всего пять таких солей; в последующих изданиях его «Системы» число формообразующих солей увеличилось.

Т а б л и ц а 1

Род (соль)	Форма, порождаемая солью	Виды (минералы)
Поваренная соль.	Куб.	Флюорит, натровая селитра.
Калшевая селитра.	Шестигранный столбик с шестигранными пирамидами на концах.	Кварц, корунд, берилл.
Алюмокалиевые квасцы.	Октаэдр.	Алмаз, шпинель.
Медный купорос.	Скошенная призма.	Железный и цинковый купорос.
Сода (?).	Четырехгранный столбик с косыми гранями на концах.	Барит, арагонит (?).
Бура.	Сплюснутый восьмигранный столбик.	Топаз, турмалин, гранаты.

В табл. 1 приведены роды солей и порождаемые ими формы и вещества (главным образом минералы), причислявшиеся

<sup>10</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 3, Изд. АН СССР, М.—Л., 1952, стр. 239.

К. Линнеем к видам той или иной соли. Из таблицы видно, например, что квасцы порождают октаэдрическую форму. Поэтому к названиям всех веществ, кристаллизующихся в виде октаэдров, К. Линней присоединял слово «Alumen» (квасцы). Вот почему алмаз назывался К. Линнеем «Alumen Adamas». При этом сходство различных кристаллов определялось на глаз, а угловые величины совершенно не принимались во внимание. Из той же таблицы видно, что ромбический топаз, тригональный турмалин и кубические гранаты отнесены к одному и тому же виду — буре, а кубический флюорит и ромбоэдрическая (тригональная) натровая селитра — к группе поваренной соли и т. д. Старинный историк кристаллографии К. М. Маркс справедливо замечал, что «при разбивке кристаллов на виды Линней, конечно, не следовал никаким геометрическим правилам, а основывался лишь на случайном, иногда только им одним уловленном сходстве. Так как и его самого не всегда удовлетворяла созданная им систематика, то он впоследствии также произвольно менял первоначальные виды, вводил новые, сокращал старые и перетасовывал их подразделения».<sup>11</sup>

Само собой разумеется, что такая систематика могла лишь запутать, а не помочь практически разобраться во множестве кристаллических форм минералов. Справедливость требует, однако, отметить, что и сам К. Линней признавал неудовлетворительность своей систематики. «Литология не составляет моей гордости», — писал он.

Несмотря на это, авторитет и популярность К. Линнея привели к тому, что его фантастическая система широко распространилась среди ученых XVIII в. и привела к величайшей путанице в минералогической и кристаллографической литературе того времени.

М. В. Ломоносов тщательно изучал «Систему природы» К. Линнея и даже заметил, что она «весьма хороша и много отменна».<sup>12</sup> Однако он не разделял метафизических взглядов шведского натуралиста и не воспринял его надуманной классификации кристаллов. К чести русских ученых следует отметить, что классификация К. Линнея, несмотря на всю ее популярность, так и не проникла в нашу отечественную литературу.<sup>13</sup>

Заканчивая обзор состояния науки о кристаллах в начале XVII в., нельзя не сказать нескольких слов о непосредственном научном руководителе М. В. Ломоносова в области минералогии и

---

<sup>11</sup> С. М. Марк. *Geschichte der Krystallkunde*. Carlsruhe und Baden, 1829, стр. 96—97.

<sup>12</sup> А. Морозов. Михаил Васильевич Ломоносов, стр. 500—501.

<sup>13</sup> Характерно в этом отношении следующее примечание шихтмейстера В. Беспалова, помещенное в его переводе книги Ф. Брикмана «Сочинение о драгоценных камнях» (СПб., 1779): «Но и то всякий ученый знает, что Линней был славнейший в свете ботаник, но весьма слабый рудослов и врач» (стр. 183).



горного дела — И. Ф. Генкеле (1679—1744). Согласно характеристике акад. В. И. Вернадского, это был «химик старого склада, без следа оригинальной мысли, кропотливый собиратель фактов без критической их оценки, ученый ремесленник».<sup>14</sup> Мы знаем, что сам молодой Ломоносов остался неудовлетворенным руководством И. Ф. Генкеля: «Естественную историю нельзя выучить в кабинете Генкеля из его шкапов и ящичков — нужно самому в разных рудниках побывать», — писал он.<sup>15</sup> Думается, что больше всего не удовлетворяли М. В. Ломоносова статический подход И. Ф. Генкеля к природным явлениям и его стремление ограничиться внешним их описанием, без попыток проникнуть в их сущность. Знаменитая фраза Ф. Энгельса о том, что для естествоиспытателей XVIII в. мир «был чем-то окостенелым, неизменным, а для большинства чем-то созданным сразу»,<sup>16</sup> исчерпывающе характеризует миропонимание И. Ф. Генкеля. Даже ученые XVIII в. отмечали это. Так, например, петербургский академик К. Г. Лаксман (1737—1796), известный путешественник-натуралист, крупный химик и минералог, писал о И. Ф. Генкеле следующее: «Некоторые писатели доказывают, что разные руды и разные ископаемые из земли вещи не подвержены общему тому вещей жребию, что они рождаются, приходят в зрелость, стареются и обратно в начальные свои части распускаются, из коих они паки как бы прямою дорогою к составлению новых руд обращаются. Особливо утверждал славный минералог Генкель о настоящих серебряных рудах, т. е. о стекловатой и красной, что они никогда не делаются рухлыми, не уменьшаются и не распускаются, но что они никакой не подвержены перемене и самому времени противоборствуют. Сему бы я первейшему, по Агриколе, минералогу никогда не противоречил, если бы дело само собой не было довольно ясно. Многие уже минералоги заметили, что красная серебряная руда от времени сдается и в порошок, из купороса и мышьяка состоящий переходит».<sup>17</sup>

Приведенный отрывок кажется прямым отголоском следующих знаменитых слов М. В. Ломоносова, направленных против ученых, родственных по духу И. Ф. Генкелю: «Напрасно многие думают, что все, как видим, сначала творцом создано; будто не токмо горы, доли и воды, но и разные роды минералов произошли вместе

<sup>14</sup> В. И. Вернадский. О значении трудов Ломоносова в минералогии и геологии. «Ломоносовский сборник», М., 1901, стр. 34.

<sup>15</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 10, Изд. АН СССР, М.—Л., 1957, стр. 431.

<sup>16</sup> Ф. Энгельс. Диалектика природы. Госполитиздат, М., 1948, стр. 9.

<sup>17</sup> Серебряная роговая руда, химическими опытами исследованная и описанная Кириллом Лаксманом, академиком и профессором императорской Академии наук, королевской Стокгольмской Академии и Вольного санктпетербургского экономического общества членом при императорской Академии наук в 1775 году. СПб., стр. 30.

со всем светом, и потому-де не надобно исследовать причин, для чего они внутренними свойствами и положением тел разнятся. Таковые рассуждения весьма вредны приращению всех наук, следовательно и натуральному знанию шара земного, а особенно искусству рудного дела, хотя оным умникам и легко быть философами, выучась наизусть три слова: „Бог так сотворил“, и сие давая в ответ вместо всех причин». <sup>18</sup>

Остановимся несколько подробнее на том, чему мог научить в области науки о кристаллах И. Ф. Генкель, не придававший особенно большого значения этой дисциплине, что ясно из следующего его высказывания: «Сперва я задавался вопросом: нельзя ли по внешней форме узнавать внутренний состав камней, но результат был плохим. . . В самом деле, что может дать изучение формы, если такие различные камни, как алмаз, аквамарин и топаз, имеют листоватое сложение? Как может помочь, наконец, форма их мельчайших частиц, если таковые одинаковы для упомянутых драгоценных камней и для слюды? Листочки, или пластинки, из которых они сложены, состоят из более мелких листочков, а эти дают еще более мелкие, уже не расщепляемые частицы. В результате я перешел к химическому разложению камней, основными частями коих являются вода, огонь и соли». <sup>19</sup>

И. Ф. Генкель ограничивался лишь описанием внешней формы кристаллов, отнюдь не стремясь проникнуть в их строение. В наиболее крупном его сочинении «Пиритология, или История колчедана» <sup>20</sup> мы находим лишь перечисление «угловатых фигур» колчеданов (железного, медного и мышьякового), характеризующихся как четырех-, шести-, восьми-, десяти-, двенадцати- и четырнадцатисторонние фигуры. И. Ф. Генкель пытался также дать зарисовки найденных кристаллов, и вот что он писал относительно этих изображений: «Утверждаю, что ни в одном рисунке нет ничего придуманного, ложного и даже взятого из книг. Я их воспроизвел собственной рукой с натуральных образцов без всяких добавлений или сокращений. Описанные образцы

---

<sup>18</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, Изд. АН СССР, М.—Л., 1954, стр. 574—575.

<sup>19</sup> Цит. по: Н. Tertsch. Das Geheimnis der Kristallwelt. Wien, 1947, стр. 143.

<sup>20</sup> Приводим целиком перевод курьезного названия этой книги, написанной в 1725 г.: «Пиритология, или История колчедана как благороднейшего минерала, об его названиях, видах, месторождениях, происхождении, о железе, меди, неметаллической земле, сере, мышьяке, серебре, золоте, простых частях, купоросе, употреблении в сплавах, из многих собраний рудников, устных и письменных сообщений натуралистов и горячков, особенно из химических исследований с физико-химическими открытиями, наряду с живописными и необходимыми гравюрами на меди, а также с предисловием о пользе горного дела особенно в Тюрингии и Саксонии, составлено доктором Иоганном Фридрихом Генкелем королевства Польского и Саксонского княжества, сельского, горного, городского физика во Фрейберге».

мною сохранены и могут быть представлены в качестве доказательств в любое время». <sup>21</sup>

Однако, как справедливо указывал историк кристаллографии К. М. Маркс, эти изображения страдают математической неточностью и вовсе не учитывают законов перспективы. Вместе с тем И. Ф. Генкель чувствовал необходимость приложения математики к учению о кристаллах. Из приведенной ниже цитаты видно, что он знал о законе постоянства углов: «Природа в своих сочетаниях и смешениях раз и навсегда соизволила избрать связь, структуру и внешнее строение веществ, согласно их свойству и соответственно внешним условиям и обстоятельствам. От этого принятого правила она уже не отступает, а ставит циркуль и отмеряет углы, раз и навсегда установленные для разных веществ. Поэтому, вероятно, должны существовать не случайные, а неизбежные причины, которые надо закрепить пером и чернилами или на чертежной доске». <sup>22</sup>

Весьма вероятно, что именно это замечание И. Ф. Генкеля, отмечающее строгую закономерность в геометрии кристаллов, произвело известное впечатление на молодого М. В. Ломоносова и впоследствии было им учтено.

Высказывания самого М. В. Ломоносова о кристаллах не были обобщены и систематизированы. Они рассеяны в его сочинениях в виде отдельных параграфов, заметок и черновых записей. Недаром автор первой статьи о М. В. Ломоносове-кристаллографе проф. Г. Г. Леммлейн озаглавил свой очерк «Мысли Ломоносова о кристаллах». <sup>23</sup>

Для более полного представления о вкладе М. В. Ломоносова в кристаллографию мы будем сопровождать дальнейшее изложение многочисленными цитатами из его сочинений. <sup>24</sup>

Уже в первой сохранившейся студенческой диссертации М. В. Ломоносова, написанной в 1738 г. в Марбурге, мы находим ряд интересных мыслей о строении твердого тела. Работа эта открывается определением: «Твердое тело — такое, в котором все частички связаны». Далее следует пояснение: «Что частицы твердых тел взаимно связаны, доказывает сцепление их, сопротивляющееся всякому их разламыванию или дроблению. Так, холодные металлы трудно поддаются ударам молота; обтесывание камней, даже полировка стекол требуют больших усилий покрывающегося потом мастера». <sup>25</sup>

---

<sup>21</sup> С. М. Маркс. *Geschichte der Krystallkunde*, стр. 87.

<sup>22</sup> Там же.

<sup>23</sup> Г. Г. Леммлейн. *Мысли Ломоносова о кристаллах*. Сб. «Ломоносов», Изд. АН СССР, М.—Л., 1940, стр. 213—221.

<sup>24</sup> Наличие нового полного академического собрания сочинений М. В. Ломоносова чрезвычайно облегчает проведение такого обзора.

<sup>25</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 1, Изд. АН СССР, М.—Л., 1950, стр. 7.

В тексте имеются и высказывания о зависимости твердости от внутреннего строения: «Чем тверже тела, тем прочнее связываются его частички и наоборот. . . Чем тверже тела, тем труднее воспрепятствовать взаимной связи их молекул».<sup>26</sup>

Очень характерна мысль М. В. Ломоносова о растворении кристаллов соли: «Что вода движется внутренним движением, доказывает растворение солей. Положи только в воду кусок какой-нибудь соли: он упадет на дно, и через час или два ты найдешь всю воду воспринявшей эту соль. А так как из гидростатики известно, что тела удельно более тяжелые не могут самопроизвольно подниматься в удельно более легких, то и малые частицы соли, как части ее, обладающие таким же удельным весом, как она, никогда не могли бы подняться в воде и распространиться по всему ее объему, если бы вода не имела внутреннего движения и отдельные молекулы ее не увлекали с собою присоединившихся к ним молекул соли, оторванных от остальных соляных частиц».<sup>27</sup>

Из приведенной цитаты видно, как умело использовал молодой М. В. Ломоносов свои наблюдения над растворением солей, сделанные еще, быть может, в поморских солеварнях, для истолкования процесса растворения с точки зрения молекулярной теории. Следует особенно подчеркнуть, что он не ограничивался описанием наблюдений, а стремился постигнуть первопричину подмеченных им явлений.

Аналогичный подход мы находим и в следующей студенческой диссертации — «О различии смешанных тел», также написанной в Марбурге в 1739 г. В ней с точки зрения корпускулярной теории описывается кристаллизация солей: «То же видим при кристаллизации солей. Здесь соляные корпускулы, опускаясь под влиянием силы тяжести, ударяются в те, которые осели на дно, и своим ударом изгоняют из места соприкосновения водные корпускулы. Они приходят в непосредственное соприкосновение, прочнее сцепляются и, собравшись в большом числе, образуют кристаллы».<sup>28</sup>

В той же диссертации обращает на себя внимание истолкование амальгамации золота с позиций все той же корпускулярной теории: «Корпускулы сцепляются опосредствованно, если между сторонами соприкосновения их проникают одна или несколько инородных корпускул и связывают их противоположными сторонами, приставая к ним. Они сцеплены непосредственно, если связаны без внедрения каких-либо инородных корпускул. Например, корпускулы чистого золота имеют непосредственное соприкосновение, но когда золото дает со ртутью амальгаму, то стороны касания отходят от взаимного прикосновения вследствие про-

---

<sup>26</sup> Там же, стр. 11.



<sup>27</sup> Там же, стр. 21.

<sup>28</sup> Там же, стр. 31.

никающих между ними корпускул ртути».<sup>29</sup> Отметив это высказывание, Т. Н. Агафонова справедливо указывает, что здесь мы находим формулировку современного понятия твердого раствора.

Любопытные соображения о корпускулярном строении кристаллов находятся в ряде черновых заметок, относящихся к 1741—1743 гг.: «В пояснении форму корпускул следует выводить из форм кристаллов солей и камней; углы, противоположные углам, и стороны, противоположные сторонам, равны, а диагонали соответствуют кругам, так расположенным».<sup>30</sup> Здесь впервые у М. В. Ломоносова мы встречаем мысль о возможности предугадать геометрию внутреннего (корпускулярного) строения исходя из внешней формы кристаллов. Как известно, именно эта мысль легла позднее в основу теоретических концепций Гаюи, Браве, Е. С. Федорова. Ниже будет показано, что впоследствии М. В. Ломоносов неоднократно возвращался к этой идее и что все его понятия о строении кристаллов связаны с нею.

Исключительный интерес представляет следующее высказывание М. В. Ломоносова: «Многие частицы, оторванные от металла, кажутся квадратными или ромбоидальными, чем обнаруживают шарообразную форму корпускул».<sup>31</sup> Смысл этой цитаты уясняется из замечания ученого: «Необходимо сказать о тесном расположении корпускул. . . Для жидкого и твердого состояния надо рас-

смотреть расположение   ». <sup>32</sup> Все это говорит о том, что, пытаясь объяснить свойства и твердых и жидких тел, М. В. Ломоносов вплотную подошел к геометрии упадок шаровых корпускул.





«Квадратная» и «ромбоидальная» укладки, по мнению ученого, отвечают наиболее разреженному и наиболее плотному расположению соприкасающихся шаровых частиц. Первая укладка отвечает простой кубической решетке, вторая (как увидим далее) — центрогранной кубической решетке. Характерно, что к этому выводу ученый пришел на основании изучения металлических осколков (быть может, спайных обломков рудных минералов). Нельзя не поразиться изумительной наблюдательности и глубине теоретических умозаключений молодого М. В. Ломоносова, вплотную подошедшего к современным кристаллохимическим положениям. Из его дальнейших высказываний видно, что им предпринимались попытки математически выразить разницу между сцеплением частиц в двух установленных им укладках шаров: «Сцепле-

<sup>29</sup> Цит. по: Т. Н. Агафонова. М. В. Ломоносов и современные кристаллохимические идеи. Труды геолог. фак. Киевск. гос. унив., № 4, 1953, стр. 101.

<sup>30</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 1, стр. 107.

<sup>31</sup> Там же, стр. 117.

<sup>32</sup> Там же, стр. 131.

ние в положении  относится к сцеплению в положении  как 6 к 14 в отдельных корпускулах; следовательно, в их соединении оно будет гораздо больше, ибо растет в удвоенном отношении диаметров, т. е. для 5 корпускул воды и 5 корпускул льда будет как  $\frac{30}{900} : \frac{70}{4900}$ ; отсюда явствует, почему жидкие тела в небольших количествах приближаются к твердым. Положение  не предполагает центрального движения,  — предполагает». <sup>33</sup>

К сожалению, слишком беглый характер вышеприведенных заметок не дает возможности их истолковать. Число 6, быть может, отвечает шестерной координации в простой кубической решетке (квадратной упаковке).

В одной из заметок М. В. Ломоносов касается вопроса о движении элементарных частиц (корпускул) в кристаллах: «В зимнее время продолжается движение в минералах, скрытых в земле, если даже поверхность земли замерзает, а теплота зависит от внутреннего движения корпускул; следовательно, даже в самых твердых минералах корпускулы находятся в движении». <sup>34</sup> Такой динамический подход к кристаллическим структурам явно перекликается с новейшими представлениями об атомном строении кристаллов.

Среди записей молодого М. В. Ломоносова находятся не только глубокие теоретические размышления, но и обобщения результатов тщательных опытов и пытливых наблюдений. Приведем две заметки, подтверждающие сказанное: «Соль винного камня покрывает крышку кристаллами, а стенки — щелочной кожицею»; «Винный камень поднимается по бокам стеклянного сосуда, и (одно слово не разобрано, — *И. Ш.*) срастаются в зерна». <sup>35</sup>

Тщательно вглядываясь в растущие кристаллы, М. В. Ломоносов пытался объяснить наблюдавшиеся им явления. Само собой разумеется, что зачастую такие объяснения, будучи слишком упрощенными, не выдерживают современной критики, но все же и в них проскальзывают чисто ломоносовская острота ума и его всегдашнее стремление проникнуть в самую суть вещей. Вот, например, как объясняет он прозрачность кристаллов, образовавшихся из водных растворов, в своей «Диссертации о действии химических растворителей вообще» (1743 г.): «Соли, растворенные в воде, при медленном выпаривании вырастают в прозрачные кристаллы, следовательно принимают свою форму в воде, поэтому

<sup>33</sup> Там же, стр. 153.

<sup>34</sup> Там же, стр. 147.

<sup>35</sup> Там же, стр. 115, 119.



необходимо допустить, что поры солей наполнены водой. На это указывает и их прозрачность: тела пористые и сами по себе мало прозрачные, будучи напитаны водой, становятся прозрачными. Так, купорос, на медленном огне прокаленный до белизны, но так, чтобы малейшие части его не распались, делается непрозрачным; но после того как он впитает в поры подлитую воду, он снова приобретает прозрачность. Сахар, полученный кристаллизацией в воде, прозрачен, но образовавшийся выпариванием в конических формах едва пропускает или вовсе не пропускает лучи света; однако вода, входя в поры, делает его более прозрачным».<sup>36</sup>

Интересы молодого М. В. Ломоносова были устремлены в область физико-химических явлений. Однако недоброжелательное академическое начальство нередко ставило препятствия на пути начинающего ученого, отвлекая его от основных занятий и заставляя работать в других областях.

К счастью, первая порученная ему работа над минералогическим каталогом привлекла внимание М. В. Ломоносова к формам минералов и дала новый материал для его кристаллографических идей.

Из биографии М. В. Ломоносова известно, что после его возвращения в июне 1741 г. в Россию ему было поручено под руководством акад. И. Аммана продолжить составление каталога минералогических коллекций, начатого акад. И. Г. Гмелиным. В 1745 г. каталог, являющийся первым русским изданием по минералогии, вышел в свет.<sup>37</sup> В Архиве Академии наук СССР сохранились рукописные материалы, на основании которых можно точно установить, что именно в каталоге принадлежит М. В. Ломоносову.

Собственноручная латинская рукопись М. В. Ломоносова содержит описание янтарей, камней драгоценных и простых, окаменелостей и мраморов. В печатном тексте каталога по сравнению с этой рукописью имеется ряд изменений. Кроме того, в академическом архиве сохранился перевод каталога на русский язык под заглавием «Переводчика И. Голубцова российской перевод Минерального каталога с поправлениями г. Ломоносова». В этой рукописи имеются многочисленные собственноручные поправки ученого, дающие понятие о его роли в создании первой русской минералогической, а отчасти и кристаллографической номенклатуры.

Остановимся на описаниях в каталоге кристаллических образований. Особенно любопытны здесь описания кварца. Заслуживает внимания неоднократное сравнение кристаллов кварца с кристаллами селитры<sup>38</sup> в разделе «Хрустали горные», целиком

---

<sup>36</sup> Там же, стр. 377.

<sup>37</sup> *Musei imperialis Petropolitani, vol. I. Pars tertia qua continentur res naturales ex regnò minerali. 1745.*

<sup>38</sup> В XVIII в. калиевую селитру получали из смеси почвы и щелока. Водная вытяжка из них имела щелочной характер. При добавке КОН из раствора выпадают кристаллы селитры псевдогексагонального облика.

составленном самим М. В. Ломоносовым. Например: «Хрустали горные видом подобны селитренным хрусталам», «хрустали горные видом подобны селитре чистой» и т. д. Впоследствии в «Первых основаниях металлургии» при описании «хрусталия» (кварца) мы снова встречаемся с этим же сравнением: «Фигуру имеют призматическую шестигранную, чем селитренным хрусталикам очень подобны».<sup>39</sup>

Прежде всего следует отметить, что калиевая селитра образует кристаллы, по внешнему облику и углам между гранями действительно близкие к кварцу, хотя оба эти вещества и принадлежат к различным сингониям (калиевая селитра — ромбическая, кварц — тригональный). В табл. 2 приведены угловые величины сферических координат для соответствующих граней этих двух веществ, иллюстрирующие указанное сходство.

Е. С. Федоров отнес оба эти вещества к кристаллам гипогексагонального типа и придал им следующие сходные символы комплекса: кварц  $-(6)+51^{\circ}47'$ , калиевая селитра  $-(6)54(-\frac{1}{2})$ .<sup>40</sup>

Сходство кристаллов кварца и калиевой селитры с давних пор отмечалось в литературе. Уже Н. Стенон в 1669 г. отметил это сходство в своем знаменитом трактате. Позднее, как указывалось выше, К. Линней к роду калиевой селитры отнес кварц, корунд и берилл. Нет сомнения в том, что сходство кристаллов калиевой селитры и кварца натолкнуло М. В. Ломоносова на мысль об их одинаковом внутреннем строении. Ниже будет показано, как форма кристаллических многогранников связывалась им с упаковками шарообразных корпускул. Следовательно, и во время работы над каталогом, и в период просмотра кристаллов молодого ученого не покидали мысли и о строении вещества.

Приведем несколько описаний из раздела «Хрустали горные», свидетельствующих об острой наблюдательности М. В. Ломоносова. «Три хрусталия неодинаковой величины, которых углы или от одной материи попортились, или, катаючись в реках, обтерлись» и «Хрусталь, которого поверхность с ямками, так что оные небольшим червячкам подобны»<sup>41</sup> — как видим, в этих двух описаниях

Т а б л и ц а 2

Вещество	Символ грани	$\varphi$	$\rho$
Кварц	$\left\{ \begin{array}{l} 1\bar{1}01 \\ 10\bar{1}1 \\ 1\bar{1}00 \\ 10\bar{1}0 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 60^{\circ} \\ 0 \\ 60 \\ 0 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 51^{\circ}47' \\ 51\ 47 \\ 90 \\ 90 \end{array} \right\}$
Калиевая селитра	$\left\{ \begin{array}{l} 111 \\ 021 \\ 110 \\ 010 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 59^{\circ}25' \\ 0 \\ 59\ 25 \\ 0 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} 54^{\circ}01' \\ 54\ 30 \\ 90 \\ 90 \end{array} \right\}$

<sup>39</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 420.

<sup>40</sup> E. Fedorow. Das Krystallreich. Зап. Акад. наук по физ.-мат. отд., VIII сер., т. XXVI, 1920, стр. 1006, 1029.

<sup>41</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 200.

очень наглядно охарактеризованы кристаллы кварца со следами частичного растворения. «Хрусталь, на селитру похожий, длинной в три дюйма, которого поверхность будто рыбьей чешушкой покрыта»<sup>42</sup> — здесь, по всей вероятности, идет речь об округлых и плоских образованиях на кристаллических гранях кварца (так называемых «вициналях»). «Хрусталь такой же. . . в середине его травка в разных местах бледноватая положена»<sup>43</sup> — в приведенной характеристике дается образное описание тончайших минеральных волокон, по-видимому актинолита, заключенного внутри кристалла горного хрусталя. «Хрустали сросшиеся, кубические, цветом на аметист похожие, у которых в середине другие такие же хрустали, цветом на густой аметистовый цвет похожие»<sup>44</sup> — в данном случае описаны кристаллы флюорита, причем М. В. Ломоносовым были установлены различно окрашенные зоны роста внутри этих кристаллов (слово «хрусталь» соответствует современному «кристалл»).

Само собой разумеется, что кристаллографическая номенклатура каталога чрезвычайно примитивна. Нельзя забывать того, что в то время не могло быть и речи о точном описании кристаллических многогранников, поскольку учения о формах кристаллов еще и не существовало. Несмотря на это, в ряде случаев описания каталога дают совершенно ясное представление о формах образцов. Приведем несколько характерных примеров.

«Пять венис восьмигранных, регулярных, в корке зеленоватой»<sup>45</sup> — нет никакого сомнения в том, что здесь описаны октаэдры шпинели. «Свинцовая руда пластинками большими и почти кубическими приросла к флусу хрустальному и к камню некоторому черноватому»<sup>46</sup> — здесь достаточно точно описаны кубические кристаллы галенита и белого флюорита. «Самородное серебро, видом как деревцо, вышло из флуса хрустального, с которым смешалась серебряная богатая руда черноватая»<sup>47</sup> — так описан в каталоге дендрит серебра.

Приведенные примеры показывают, что минералогический каталог, над которым работал М. В. Ломоносов, содержит ценный материал, приводящий нас к самым истокам минералогической и кристаллографической наук в России.

Работа над каталогом, с одной стороны, позволила М. В. Ломоносову закрепить его ранние теоретические высказывания о кристаллическом строении, с другой — дала возможность ознакомиться с богатым минералогическим материалом, который

---

<sup>42</sup> Там же, стр. 201.

<sup>43</sup> Там же.

<sup>44</sup> Там же, стр. 204—205.

<sup>45</sup> Там же, стр. 89.

<sup>46</sup> Там же, стр. 135.

<sup>47</sup> Там же, стр. 132.

он впоследствии использовал в работе «Первые основания металлургии» и особенно в трактате «О слоях земных».

Наиболее подробное изложение взглядов М. В. Ломоносова на строение кристаллов имеется в его диссертации «О рождении и природе селитры» (1749 г.). Сформулированные в ней мысли о структуре кристаллов настолько значительны, что год написания этой диссертации можно смело считать датой зарождения русской научной кристаллографии. Приведем целиком относящиеся сюда параграфы в переводе с латинского Б. Н. Меншуткина: «Если мы предположим, что так составленные частицы селитры имеют

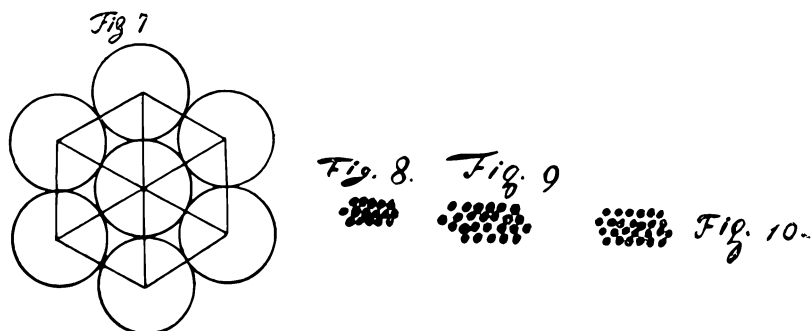


Рис. 1. Строение кристаллов селитры, по М. В. Ломоносову.

сферическую форму, к каковой по большей части стремятся мельчайшие природные тела, собирающиеся в кучу, то будет очень легко объяснить, почему селитра вырастает в шестигранные кристаллы. Хотя все это основано почти на одном воображении, однако превосходно отвечает природе составных частей селитры и потому приобретает некоторый вес. Действительно, пусть шесть корпускул расположены друг около друга так, что прямые линии, соединяющие их центры, образуют равносторонние треугольники (рис. 1, фиг. 7, — *И. Ш.*): в результате получится фигура, ограниченная шестью линиями, подобная разрезу призм, образуемых селитрою. Частицы селитры, размещенные таким образом почти в бесконечном числе, образуют кристаллические призмы селитры, правда часто с неравными сторонами, которые, однако, всегда параллельны и отвечают предполагаемому расположению частиц, как показывают фигуры 8, 9 и 10 (см. рис. 1, — *И. Ш.*). Впрочем, предложенная догадка подтверждается трояким образом: 1) при этом способе объяснения форма частиц не предполагается такою же, какую имеют сами кристаллы селитры, и вопрос не остается поэтому без ответа, как это нередко бывает; 2) углы кристаллов селитры соответствуют предполагаемому расположению частиц, так как обычно каждый из них составляет  $120^\circ$ ; 3) на основании нашей гипотезы можно легко объяснить другие роды кристаллов,

например кубические кристаллы поваренной соли, предположением такого расположения частиц соли, что линии, проходящие через их центры, составляют квадраты» (после этого текста в черновике было еще раз подчеркнуто: «Хотя все это создано силой воображения, но согласуется с природой составных частей селитры и с ее внешним видом, а потому представляется заслуживающим некоторого доверия»).<sup>48</sup>

Итак, согласно воззрениям М. В. Ломоносова, строение селитры соответствует совокупности шарообразных частиц (корпускул), расположенных плотнейшим образом во всех кристаллах этого вещества. Множество подобных шариков образует кристаллические многогранники. Вследствие одинакового расположения корпускул во всех таких кристаллах одинаковыми будут и углы между соответственными гранями. Таким образом, М. В. Ломоносов объясняет закон постоянства углов на кристаллах с помощью их внутреннего строения (постоянство углов было доказано русским ученым путем измерений за 20 лет до Ромэ Делиля). Как видим, в данном вопросе М. В. Ломоносов намного опередил своих современников и отчасти предвосхитил взгляды нашего времени. Сама гипотеза о шарообразности корпускул как бы предсказывает современные понятия об атомных и ионных сферах и о роли плотнейших шаровых упаковок в кристаллографии.

Особенно глубокий смысл получает та фраза из вышеприведенной цитаты, где говорится о том, что «форма частиц не предполагается такою же, какую имеют сами кристаллы селитры». По этому поводу проф. Г. Г. Леммлейн справедливо пишет: «Геометрическую правильность форм кристаллов Ломоносов видел в закономерностях укладки шарообразных корпускул, но не в сложении геометрически правильных молекул, правильность которых сама требовала бы объяснения. Справедливость этой идеи полностью может быть оценена только в наше время».<sup>49</sup> Весьма любопытным кажется нам рисунок, взятый из черновика ломоносовской диссертации о селитре (рис. 2). На этом рисунке особенно ясно показана связь внешней формы кристаллов селитры со слагающими их мельчайшими шарообразными корпускулами, образующими плотнейшую шаровую упаковку. Возвращаясь к предыдущим замечкам ученого, отметим, что строение селитры отвечает, по М. В. Ломоносову, треугольному, или «ромбоидальному», расположению шаров (ниже будет показано, что шаровая укладка отвечает кубической плотнейшей упаковке). Вместе с тем кристаллам поваренной соли приписывается квадратное расположение шаровых корпускул, т. е. простая кубическая решетка.

<sup>48</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 2, Изд. АН СССР, М.—Л., 1951, стр. 273—275.

<sup>49</sup> Г. Г. Леммлейн. Предисловие к кн.: М. Ломоносов. «О слоях земных» и другие работы по геологии. Гос. изд. геолог. лит., М., 1949, стр. 8.

М. В. Ломоносов является прямым предшественником известного французского кристаллографа Ромэ Делиля (1736—1790), положившего в основу всей кристаллографии закон постоянства углов. Однако в отличие от осторожного французского исследователя, ограничивавшегося исключительно одними наблюдениями и избегавшего теоретических выводов, он глубоко вникнул в сущность этого закона. Введение к своей фундаментальной «Кристаллографии» Ромэ Делиль заканчивал следующими словами: «Что касается внутреннего, скрытого от нас механизма кристаллизации, то мы еще очень далеки от возможности дать его толкование. Это

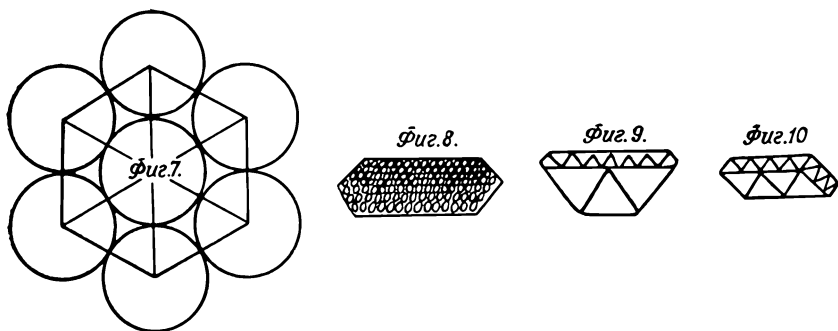


Рис. 2. Черновой рисунок М. В. Ломоносова, изображающий строение селитры.

тайна природы, которая, так же как зарождение животных и произрастание растений, ускользает от наших взоров. Ограничимся же тем, что нам дается наблюдениями, если мы не хотим подменить плодами нашего воображения величественного молчания природы относительно ее основных принципов».<sup>50</sup>

С этим заключением М. В. Ломоносов не смог бы примириться. Изучение внешней формы кристаллов неминуемо приводило его к выводам о первопричине таких образований, о внутреннем, корпускулярном сложении кристаллических тел. В этом отношении его высказывания близки к взглядам младшего современника и удачливого соперника Ромэ Делиля — Р. Ж. Гаюи (1743—1822), одного из общепризнанных зачинателей теоретической кристаллографии. Насколько опередил М. В. Ломоносов взгляды своего времени, явствует из того, что еще в 1911 г. Б. Н. Меншуткин писал относительно его диссертации о селитре: «Этой диссертации не привожу, так как в ней нет ничего интересного».<sup>51</sup> Только открытие дифракции рентгеновских лучей в кристаллах в 1912 г. и последо-

<sup>50</sup> М. De Romé de l'Isle. *Cristallographie*, vol. I. Paris, 1783, стр. 103.

<sup>51</sup> Б. Н. Меншуткин. Труды Ломоносова по физике и химии. Изд. АН СССР, М.—Л., 1936, стр. 72.

вавшее вслед за тем бурное развитие новейшей структурной кристаллографии выявили всю значительность ломоносовских высказываний, сформулированных более двух столетий тому назад. К сожалению, диссертация о селитре является единственным произведением М. В. Ломоносова, где он представил в более или менее развернутом виде свои мысли о кристаллах. В дальнейшем ученый неоднократно затрагивал эти вопросы в своих заметках и речах, но специально на них не останавливался.

В 1751 г. М. В. Ломоносов выступил с чтением «Слова о пользе химии», в котором подчеркивал необходимость химического, геометрического и физического изучения кристаллов для выявления их внутреннего строения: «Прекрасная натуры рачительный любитель, желая испытать толь глубоко сокровенное состояние первоначальных частиц, тела составляющих, должен высматривать все оных свойства и перемены, а особливо те, которые показывает ближайшая ее служительница и наперсница и в самые внутренние чертоги вход имеющая химия, и когда она разделенные и рассеянные частицы из растворов в твердые части соединяет и показывает разные в них фигуры, выпрашивать у осторожной и догадливой геометрии, когда твердые тела на жидкие, жидкие на твердые переменяет и разных родов материи разделяет и соединяет, советовать с точною и замысловатою механикою, и когда чрез слитие жидких материй разные цветы производит, выведывать через проницательную оптику».<sup>52</sup>

К 1752 г. относятся планы и материалы к курсу физической химии, читавшемуся М. В. Ломоносовым студентам Академического университета в 1752—1754 гг. Приведенные ниже выписки показывают, как много места в своем курсе отводил Ломоносов кристаллам и как широко он стремился поставить их исследование. Им планировались опыты над смешанными соляными телами, металлами, полуметаллами, землями, камнями и т. д. Планом были предусмотрены измерения скоростей кристаллизации, замерзания, растворения и т. п.; в виде отдельного пункта стояли «Фигуры и размер углов». Особое внимание уделялось сцеплению. В числе намеченных операций указывались следующие: «в потемках и в пустоте твердые тела ломать, тереть и т. п.»; «твердость через шлифовку узнавать».

Во «Введении к истинной физической химии» (1752 г.) имеется ряд пунктов, относящихся к кристаллизации. Среди химических операций М. В. Ломоносов выделял девять видов «уплотнения»: застывание, отвердевание, сгущение, кристаллизация, свертывание, закаливание, спекание, остекловывание и отжиг. Приведем данное им определение кристаллизации: «Кристаллизация происходит, когда жидкое тело, сделавшееся более густым от выпари-

---

<sup>52</sup> М. В. Л о м о н о с о в, Полное собрание сочинений, т. 2, стр. 353—354.

вания или выварки и оставленное спокойно стоять в холодном месте, отчасти превращается в твердые угловатые крупинки. Этой операцией химики пользуются для собирания воедино твердых тел, рассеянных в жидкости. Примеры — на солеварнях и в заведениях, изготовляющих селитру». <sup>53</sup>

Ценные сведения об исследованиях, намечавшихся или проводившихся М. В. Ломоносовым, содержит его труд «Опыт физической химии, часть первая, эмпирическая», открывающийся сочинением о физико-химическом исследовании солей. В первой главе перечисляются опыты и наблюдения над соляными растворами. Среди них наиболее важны с точки зрения кристаллографа следующие пункты: «Микроскопическое исследование растворов», «Содействует ли сколько-нибудь электрическая сила растворению солей» и «Растворение в пустоте по сравнению с растворением на воздухе».

Нельзя не привести целиком параграфа 4: «Относительно кристаллизации растворов солей надо наблюдать: 1) видимую в микроскоп корочку; 2) сколько испарится до образования корочки; 3) тщательно исследовать фигуру кристаллов и измерять углы; 4) удельный вес; 5) кристаллизацию производить при сильнейшем морозе; 6) будут ли кристаллы из воды, лишенной воздуха, более твердыми; 7) способствует ли электрическая сила кристаллизации или мешает; 8) преломление лучей в кристаллах; 9) кристаллизацию в папиновой машине». <sup>54</sup>

Весьма подробное перечисление физико-химических опытов, отчасти дублирующее вышеприведенные данные, находится в программах и лабораторных записях, относящихся к 1752—1756 гг.

Среди «опытов физических о солях» на первом месте стоит изучение растворов. Здесь снова упоминаются «микроскопические наблюдения сальций» (т. е. растворов), изучение растворов солей в «папиновой машине» и «выварка в хрустали». Приведем полный перечень опытов, упоминаемых под рубрикой «Кристаллизация»:

1. Твердость хрусталей точеньем.
2. Фигуры хрусталей.
3. Преломление лучей в хрусталих.
4. Тереть в потемках одного и разных родов.
5. Электрический огонь какой в них цветом.
6. Круто и продолжительно вываривать и прохлаждать.
7. Через трение хрустали не притягивают ли сусального золота.
8. Из сальции, лишенной воздуха, скорее или типе хрустали садятся.
9. Кристаллизация скорее или типе в электризованных сальциях бывает.

<sup>53</sup> Там же, стр. 533.

<sup>54</sup> Там же, стр. 587.



10. Микроскопические наблюдения кожиц поверх солей при выварке.

11. Раствор хрусталей в других менструах (растворителях, — *И. Ш.*).

12. Вспоможением дапиновой махины.

13. В плоских и высоких сосудах». <sup>55</sup>

Нельзя не отметить того, что ряд намеченных М. В. Ломоносовым опытов представляет интерес и в настоящее время и что поставленные им вопросы далеко не полностью разрешены и сейчас.

В записи, озаглавленной «Опыты над кристаллизациями», мы находим следующие пункты:

«а. Сравнение первых кристаллов с остальными и с магмой (маточным раствором, — *И. Ш.*) в отношении удельного веса.

б. Сцепление, сжатием, растиранием, изломом.

в. Измерение формы и углов.

г. Вкус, запах, цвет.

д. Преломление лучей.

е. В темноте излом и трение однородных и разнородных [кристаллов].

ж. Кристаллизация в плоских и длинных сосудах с палочками и без палочек.

з. Охлаждением внезапным и медленным.

и. Испарением внезапным и медленным.

к. Притягивают ли кристаллы после трения мякину, золото и пр.

л. Микроскопическое исследование корочки испарившегося рассола». <sup>56</sup>

Сохранилась даже форма, к сожалению незаполненная, для записывания результатов опытов (табл. 3).

Следует подчеркнуть глубокое значение опытов, намечавшихся, а быть может, и проводившихся М. В. Ломоносовым. Большинство поставленных им задач сохранило свою актуальность и в наше время. В самом деле, зависимость условий кристаллизации от электрического поля является одной из животрепещущих проблем современной физики. Влияние кристаллизационной воды на свойства, в частности на твердость, кристалла усиленно изучается физической химией.

Особое внимание М. В. Ломоносов уделял твердости тел. Им был даже сконструирован замечательный прибор, представлявший собой точильный круг, к которому под определенной нагрузкой прижимался исследуемый предмет (рис. 3). Проф. Д. Б. Гогоберидзе отмечал, что «этот прибор по своей идее очень близок

<sup>55</sup> Там же, стр. 596—597.

<sup>56</sup> Там же, стр. 603—605.

1) Твердость кристаллов стиранием на вращающемся точиле		
Кристаллы	Квасцов и т. д.	
Уменьшение		
Отношение		
2) Фигуры кристаллов		
Углы		
3) Преломление		
В кристаллах		
Отношение преломления		
4) Истертые <sup>57</sup>	От трения и ломания, что показали кристаллы	Квасцов и т. д.
Результат		

к современным приборам для определения абразивной твердости». <sup>58</sup>

К 1756 г. относится 127 черновых заметок М. В. Ломоносова, касающихся теории света и электричества. Среди них мы снова находим ряд высказываний о строении кристаллов: «Из круглой фигуры [корпускулы] — все фигуры солей, снега и т. д.»; «Кристаллы солей имеют геометрическое измерение и углы: они наглядно показывают, что геометрически сложены и мельчайшие части, из которых они происходят». <sup>59</sup>

Из этих же заметок видно, что М. В. Ломоносов хорошо знал о двупреломлении исландского шпата: «Исландский кристалл нарушает все правила преломления: 1) луч, падающий на одну часть поверхности, разделяется на два луча; 2) перпендикулярный луч преломляется, а косые лучи проходят прямо, и т. д.». <sup>60</sup>

<sup>57</sup> В оригинале зачеркнуто (*И. III*).

<sup>58</sup> Д. Б. Г о г о б е р и д з е. Ломоносов и учение о твердости. Вестн. Ленингр. гос. ун-в., 1948, № 2, стр. 27.

<sup>59</sup> М. В. Л о м о н о с о в, Полное собрание сочинений, т. 3, стр. 239, 261.

<sup>60</sup> Там же, стр. 255.

В «Теории электричества» (1756 г.) снова развиваются мысли о законах взаимного расположения шарообразных частиц: «Я называю расположение шарообразных тел, находящихся в соприкосновении, квадратным, или кубическим, когда линии, соединяющие центры шаров, образуют квадраты. Треугольным я называю то расположение, при котором эти линии составляют треугольники. . . Таким образом, когда шарообразные частицы расположены так, что каждая их четверка имеет центры в углах

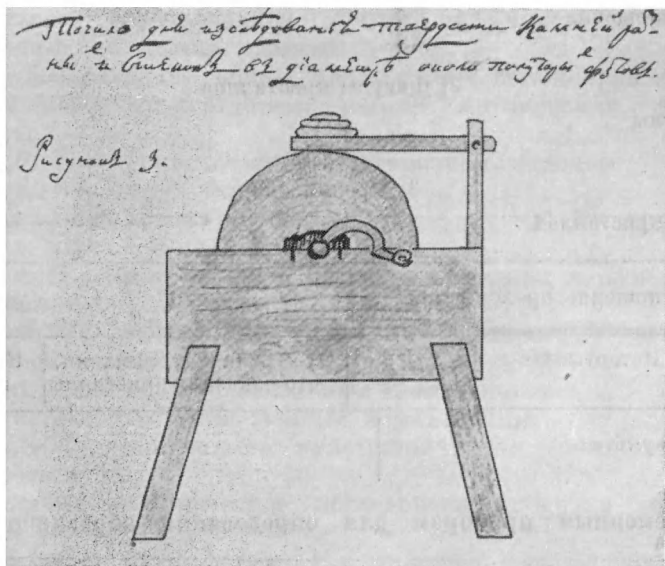


Рис. 3. «Точило» для исследования твердости камней, по М. В. Ломоносову.

квадрата  $abcd$  и по две четверки точно вписаны в куб, то расположение будет квадратное. Если же линии  $lm$ ,  $mn$ ,  $nl$  образуют треугольник, то я называю расположение треугольным, при котором фигура, образуемая четырьмя частицами, будет ромбической. . . Между расположением квадратным и треугольным существуют промежуточные расположения, почти бесчисленные, именно когда частицы  $a$  и  $d$  отходят друг от друга, а  $b$  и  $c$  друг к другу приближаются и наоборот, как это можно видеть на фигурах»<sup>61</sup> (рис. 4).

Следует обратить внимание на очень важное и интересное высказывание относительно промежуточных переходов между квадратным и треугольным расположением частиц, из которого видно,

<sup>61</sup> Там же, стр. 311—313.

что М. В. Ломоносов не ограничивался двумя, уже не раз упоминавшимися выше, расположениями шаров и не рассматривал их оторванно друг от друга, а допускал существование всевозможных переходных стадий (рис. 5).



Рис. 4. Набросок М. В. Ломоносова, изображающий квадратное, треугольное и промежуточные расположения шаровых частиц.

В «Слове о происхождении света, новую теорию о цветах представляющем» (1756 г.) имеется следующее высказывание, касающееся строения алмаза: «В прозрачном отовсюду алмазе от каждого пункта его поверхности и всего внутреннего тела простираются прямолинейные скважины по всему алмазу; по оным скважинам проходит материя света, как выше показано».<sup>62</sup> Здесь, очевидно, имеются в виду трещины октаэдрической спайности, столь характерные для алмаза.

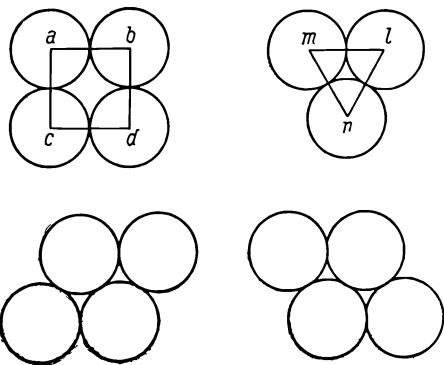


Рис. 5. Шаровые укладки, по М. В. Ломоносову (уточненный рисунок Г. Г. Леммлейна, 1940).

В 1757 г. было написано знаменитое «Слово о рождении металлов от трясения земли», в котором после долгого перерыва вновь затрагивались геологические проблемы. Здесь мы находим ряд высказываний о кристаллах минералов. Вот, например, отрывок, касающийся природной кристаллизации каменной соли: «Горная соль по большей части состоит из зерен разной величины, фигуры кубической, как обыкновенно морская соль варением садится, чем без всякого сомнения доказывается, что горная соль из рассолу, по выкурении излишней водяной влажности, в зернистый вид сселась, которые части тем больше и

<sup>62</sup> Там же, стр. 323.

тверже обыкновенно садятся, чем больше рассолу и долговременнее выварка бывает». <sup>63</sup>

Весьма большой практический интерес для своего времени представляло следующее высказывание, касающееся кристаллизации рудных минералов: «Руды показываются двояким образом, из которых иные держатся свойственной себе постоянной фигуры, как кубические марказиты, желтый сферический колчедан, угловатый белый колчедан, иглам подобная сурьма и другие многие. Чистые самородные металлы редко бывают кристаллическими фигурами, однако золото и медь в угловатых сросшихся кусках видеть мне случилось. На медных присоединены были горные хрустали — зеленоватые, мягкие. Иные руды и большая часть оных никакой постоянной фигуры не имеют, но выходят как просто смешанная материя, каковы суть белые и красные серебряные руды, серный желтый колчедан и почти все железистые камни. . . Кристаллические фигуры, в которых виде находятся руды и чистые иногда металлы, подобное имеют происхождение, как разные роды солей. Во-первых, растворившись в воде, в скважины гор стекают, в коих весьма долговременным иссушением влажности садятся; подобное их положение в друзьях с солями то же действие объявляет». <sup>64</sup>

В приведенном отрывке особенно важно указание на постоянство (вернее, характерность) кристаллических форм некоторых рудных минералов. Для того чтобы понять всю важность этого положения, достаточно противопоставить ему точку зрения широко известного французского натуралиста Ж. Бюффона (1707—1788), по мнению которого «кристаллическая форма не имеет постоянного характера. Она более разнообразна и более изменчива, нежели любой другой признак, позволяющий различать минералы». <sup>65</sup>

Мы видим, что и в этом вопросе М. В. Ломоносов опередил даже самых выдающихся своих современников. Нам, однако, совершенно ясно, почему М. В. Ломоносов в данном случае стоял впереди других ученых своего времени: он на практике изучал горное дело, исследовал строение Богемских рудных гор, осматривал месторождения, рудники и заводы. «Естественную историю нельзя изучить в кабинете. . . нужно самому побывать на разных рудниках», <sup>66</sup> — утверждал он еще в молодости. Именно практический подход и позволил ему понять всю важность кристаллических форм минералов как характерных диагностических признаков. Знание этого признака давало в руки горнякам того времени очень точный способ распознавания рудных ископаемых.

---

<sup>63</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 316.

<sup>64</sup> Там же, стр. 340—342.

<sup>65</sup> M. De Romé de l'Isle. Cristallographie, vol. I, стр. XVIII.

<sup>66</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 10, стр. 431.

В рукописи «Об отношении количества материи и веса» (1757—1758 гг.) М. В. Ломоносов в предположительной форме приписывал корпускулам золота кубическую форму: «Для того чтобы плотность материи в телах была наибольшей, самой подходящей фигурой корпускул будет кубическая. Итак, допустим, что частицы золота имеют подобную форму (хотя его поры, открытые для самой воды, даже отягощенной солями, а также гибкость этого металла препятствуют приписать ему точно кубические частицы)»<sup>67</sup>. Однако в дальнейшем М. В. Ломоносов отвергает эту гипотезу и останавливается на шаровой форме. В опубликованном в 1760 г. «Рассуждении о твердости и жидкости тел» была снова выдвинута гипотеза о всеобщей шарообразности корпускул: «Не отгоняют меня от исследования частиц, убегающих малостию своею от зренья, неудачные физические вооружения, клинышки, иголки, крючки, колечка, пузырьки и прочие многочисленные, без всякого основания в голове рожденные, частиц фигуры; ибо по двадцатилетнем и частом о том рассуждении и с опытами сношении усмотрел я, что натура, одною круглостью довольствуясь, облегчает труд испытателей ее таинств».<sup>68</sup>

Далее в том же трактате содержится попытка подробнее описать геометрию взаимного расположения сферических частиц: «Четыре частицы сферических, в тесном положении и в союзном прикосновении состоящие, могут быть включены в равнобочную ромбоическую фигуру (в латинском тексте далее следует: «углы которой  $CB$  равен  $60^\circ$ , а  $AD$  —  $120^\circ$ », — *И. III.*), а в самом пространном положении и в прикосновении должны быть в фигуре кубической. Таковые равнобочные фигуры  $ABCD$  (фиг. 2) и  $ABCD$  (фиг. 3) имеют пропорцию между собою как  $AB^3$  к  $\frac{1}{2}(AB^2 + BC^2) \times AB^2$ , то есть как  $AB^3$  к  $AB^3\sqrt{\frac{1}{2}} = 1 : \sqrt{\frac{1}{2}} = 1000$  к  $\sqrt{500\ 000}$ , потому что  $AC = BC$ . Ибо такое ромбоическое тело можно разделить на две равные призмы —  $ADCFBE$  и  $ADCFGH$ , имеющие общий квадратный бок  $ADCF$  (фиг. 4). И понеже углы  $ABC$  и  $FBD$  суть прямые, то будет половина диагональной  $AC$  равна вышине  $BK$  призмы  $ACDFBE$  или половины всего ромбоического тела (см. рис. 6, — *И. III.*). То есть тело кубическое к телу ромбоическому будет почти как 1000 к 707. . . Отсюда явствует: 1) сколько простые тела, то есть из равных частиц состоящие и в скважинах посторонней материи не имеющие, расширяться и сжаться могут без нарушения союза, хотя он прибыть и убыть может; 2) что частицы посторонней материи, между ними в скважинах находящиеся, например воздушные, могут не допустить частиц до самого теснейшего ромбоического союза, следовательно до толь великого стеснения, как выше. . . показано, достигнуть не всегда могут; однако довольно еще в них к сжиманию и протяжению места остается,

<sup>67</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 3, стр. 357.

<sup>68</sup> Там же, стр. 387.



касающихся шаров. Ромбоическое расположение шаров, по мысли М. В. Ломоносова, действительно соответствует плотнейшей шаровой упаковке. До сих пор на приводившихся им рисунках (рис. 1, 2, 4) расположение шаров изображалось лишь в одном слое. В связи с этим судить о пространственном характере выдвигающейся им плотнейшей упаковки было нельзя.

На специальной гравюре, приложенной к «Рассуждению о твердости и жидкости тел», М. В. Ломоносов изобразил обе описанные им шаровые укладки (рис. 6) и пространственную ориентировку центров шаровых частиц, расположенных по вершинам

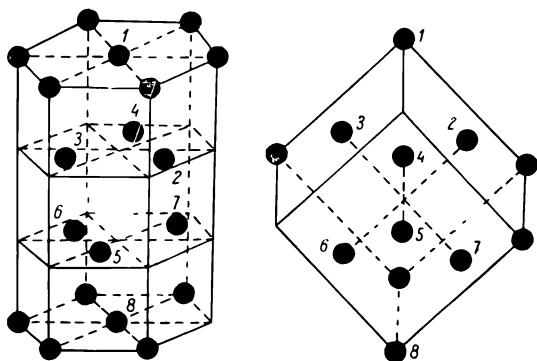


Рис. 7. Плотнейшая шаровая кубическая упаковка.

Цифрами отмечены центры шаров, изображенные М. В. Ломоносовым на фиг. 4 (рис 6).

ромбоэдра. Сопоставление этого изображения с рис. 7 показывает, что ломоносовское «тесное положение шаров» является плотнейшей шаровой кубической упаковкой, т. е. соответствует кубической центрогранной решетке. В последней им был выделен составной элементарный ромбоэдр. Вместе с тем из приведенной выше цитаты видно, что ученый вряд ли подозревал о кубическом характере решетки. Однако, судя по всему, именно такое строение он приписывал псевдогексагональной калиевой селитре и кварцу.

В качестве простой кубической решетки им приводились кристаллы поваренной соли. Следовательно, интуитивно великий ученый подозревал наличие двух типов кристаллического мира — кубического и гексагонального, с которыми и связывал квадратные и треугольные шаровые укладки.

Таким образом, М. В. Ломоносов должен быть назван одним из провозвестников знаменитого закона кристаллографических пределов — закона Федорова. Он должен упоминаться и как один из первых ученых, предугадавших значение плотнейших шаровых упаковок в кристаллах. Однако ему была известна лишь одна из них — кубическая, отвечающая кубической центрогранной решетке.



Целиком воспроизведенная гравюра представляет с этой точки зрения особую ценность, так как содержит единственные опубликованные самим ученым изображения двух выдвинутых им шаровых укладок (рис. 6, фиг. 2—4);

В «Задачах на премию Петербургской Академии наук на 1760 год» М. В. Ломоносов предлагает решить следующие чисто кристаллохимические проблемы: «Исследовать с помощью опытов преломление лучей света в различных телах, как твердых, так и жидких, и выяснить отсюда, в какой степени величина преломления зависит от различного удельного веса тел, от разного сцепления частиц и от первоначал, составляющих тела. Объяснить все это теорией, согласной с произведенными опытами».<sup>70</sup>

К 1761 г. относится отрывок «Инструкции по собиранию минералов», в которой М. В. Ломоносов требует обращать особое внимание на формы минералов и в первую очередь на кристаллы: «Различать по фигурам: угловатые, слоистые, ноздреватые, похожие на раковины, на рыбы, на кости животных».<sup>71</sup>

В 1763 г. вышли в свет «Первые основания металлургии или рудных дел». Основная часть этой книги была, по-видимому, закончена М. В. Ломоносовым еще в 1742 г. Приложения к ней относятся к более позднему времени. В этом сочинении находится ряд интересных высказываний, относящихся главным образом к кристаллам минералов.

Кратко описывая отдельные минералы, М. В. Ломоносов изредка останавливается и на их кристаллической «фигуре». Вот, например, как описывается форма «хрусталей»: «Фигуру имеют призматическую шестигранную, чем селитряным кристалликам очень подобны. Иногда находят их и кубичной фигуры, которые обыкновенно или цветные и полупрозрачные бывают и шестигранных мягче».<sup>72</sup> Здесь под названием «хрусталей» объединены кристаллы кварца («хрусталь шестигранный призматический») и флюорита («хрусталь кубический»). Снова встречаемся мы здесь с упоминанием о сходстве кристаллов селитры и кварца. Это сходство, как мы знаем, натолкнуло ученого на мысль об одинаковой схеме строения этих двух веществ, а затем дало основу для его теории строения кристаллов. «Свинцовая руда» (галенит) описывается следующим образом: «В рассуждении поверхности имеет три вида, ибо находится, первое, в кубичных либо продолговатых четверогранных брусках; второе, нерегулярно угловата и из нарочито крупных слоев состоящая; третье, из мелких зерен, как дресвяный камень, соединенная».<sup>73</sup> Зеленая свинцовая руда (пироморфит) «состоит в продолговатых грановитых брусочках,

---

<sup>70</sup> Там же, стр. 375.

<sup>71</sup> М. В. Л о м о н о с о в, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 359.

<sup>72</sup> Там же, стр. 420.

<sup>73</sup> Там же, стр. 425.

которые промеж собою наперекось срослись. . . Красная свинцовая руда (крокоит?, — *И. Ш.*) имеет фигуру брусковую и слоеватую». <sup>74</sup>

Далее приводится описание разновидностей касситерита: «Из оловянных руд за самую лучшую почитают кусковую. Сии куски оловянной руды бывают величины разной, угловаты, цветом черны; белые находятся очень редко. Черные имеют углы от большей части тупые и содержат в себе при олове пополам мышьяк. . . Черные камни разнствуют от кусковой оловянной руды богатством и фигурою, затем что угловатой фигуры и такого обилия в рассуждении олова не имеют, как она». <sup>75</sup>

Во всех этих еще крайне примитивных описаниях все же ясно проглядывает стремление использовать кристаллическую форму практически в качестве диагностического признака, а иногда (как, например, у оловянного камня) привлечь ее и для оценки качества руды.

Замечательный трактат «О слоях земных (Прибавление второе к «Основаниям металлургии)», написанный в последние годы жизни великого ученого, по словам акад. В. И. Вернадского, «является во всей литературе XVIII века первым блестящим очерком геологической науки». <sup>76</sup> В нем мы находим ряд интересных мест, относящихся к образованию кристаллов в природе. В качестве примера приведем описание хрусталеносных гнезд и жеод: «Особливого внимания требуют горные почки, кои содержатся в полостях или в пазухах самой горы, в жилах и во швах, что промеж горами и жилами. Большая часть в оных бывают хрустали, что у нас восточными называют, <sup>77</sup> разной чистоты, совсем прозрачные, молочного цвету, мутные с чернью, желчью и зеленью. По большому числу к стенам концами пристали, а другими, как шипы, торчат в полость. Великоною иногда едва зрению чувствительны, иногда в палец и больше. В Сибири случаются длиною больше аршина и в несколько пуд весом, только нечисты, мутны и с чернью». <sup>78</sup>

Внимания заслуживает и следующий отрывок, подсказанный наблюдениями над природными сростаниями разнородных минералов или, быть может, также над регенерировавшими кристаллами кварца: «Часто хрустали находят на рудах самих на-

---

<sup>74</sup> Там же, стр. 426.

<sup>75</sup> Там же.

<sup>76</sup> В. И. Вернадский. Несколько слов о работах Ломоносова по минералогии и геологии. Сб. «Труды Ломоносова в области естественно-исторических наук», Изд. Акад. наук, СПб., 1911, стр. 148.

<sup>77</sup> Ювелиры прежде условно называли «западными» и «восточными» ярко- и бледноокрашенные разновидности самоцветов. Здесь, как видно из текста, речь идет о разновидностях кварца. См.: М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 704.

<sup>78</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, стр. 562—563.

рослые или, напротив того, оброслые рудами, кои на них сидят угловаты наподобие хрусталей. Иногда отломившиеся от горы хрустали опять приросли на другом месте посредством какой-нибудь руды, а особливо желтого или белого колчедану, как бы ими нарочно приклеены были». <sup>79</sup>

Очень любопытен параграф, дающий представление о мыслях М. В. Ломоносова относительно генезиса природных кристаллов: «Дикие камни в изломе все зернисты, крошатся в угловатые частицы с плоскими боками и нередко с регулярными углами, и сие показывает, что при их затвердении происходило некоторое обращение в хрустали наподобие соли. Глина, особливо желтоватая и красноватая, когда из горы выкопана в сухом месте и еще не смочена и не смята, бывает почти всегда зерниста наподобие крупы. Сим явно указывает на зернистые, из ней затвердевшие камни. Здесь странно может показаться превращение в хрустали сухого тела. Но ежели кто знает, что толченный зернистый колчедан долгою времени опять срастается в зерна, что сухой поташ по бокам стклянки перебирается к пробке и в некоторые угловатые зерна садится, что многие минеральные растворы после выварки производят растения из мелких сухих хрусталей, чего, будучи жидкими, не показывают, — тот не станет спорить против возможности сухого хрусталей рождения». <sup>80</sup>

Конечно, далеко не со всем в это отрывке можно сейчас согласиться, однако основная его мысль об образовании кристаллов из твердого же вещества путем перекристаллизации безусловно верна. Кое-что в нем напоминает наши современные высказывания о метасоматическом росте минералов внутри твердых пород путем их замещения.

Особенное значение имеет следующий широко известный параграф: «Наконец, отличною фигурю известные (известняк, кальцит, — *И. Ш.*) и больше всех дорогие камни последуют в своем рождении законам геометрическим углами и плоскостями и преимуществуют твердостью и прозрачностью. Многие из них родятся ромбоической фигуры, имея два угла по шестидесят и два по 120 градусов, что я нарочно мерял у некоторого немалого неграненого алмаза и у других прозрачных камней. Иные суть параллелепипеды шестигранные, чем соответствуют много зернам разных солей и, без сомнения, садятся подобным образом, потому что 1) положение их видно по краям полости горной, как по бокам сосудов соль, селитра или квасцы прирастают; 2) что в таковых горных друзах хрустали горные сидят в пустоте, коя показывает, что после осадки оных излишняя вода долгою времени иссякла. Сия кристаллизация, или зернованье, разнится от вышепоказанного огущения, как выварка клею досуха от выварки

---

<sup>79</sup> Там же, стр. 563.

<sup>80</sup> Там же, стр. 595.

соли до посадки в зерна, затем что первая ради большей липкости к воде не может от ней отлучиться, пока вся не иссякнет, а вторая требует к своему в воде содержанию некоего ее количества, без которого от ней отстает и, соединясь с другими себе сродными частицами, составляет помянутые зерна».<sup>81</sup>

Из приведенной цитаты видно, что М. В. Ломоносову принадлежат одни из самых ранних измерений углов на кристаллах. К сожалению, не сохранилось сведений, с помощью какого именно прибора производились эти измерения. Судя по всему, измерялись плоские углы на гранях кристаллов. Напомним, что первый прикладной гониометр Каранижо был впервые описан Ромэ Делилем в его «Кристаллографии» в 1783 г., т. е. через 20 лет после выхода в свет ломоносовского трактата. Обращают на себя внимание величины углов, измеренных М. В. Ломоносовым на алмазе. По-видимому, в его руках была обычная для алмаза форма в виде кривогранного ромбододекаэдра. Плоские углы на гранях последнего должны равняться  $70^{\circ}32'$  и  $109^{\circ}28'$ .

А. В. Хабаков объясняет причину расхождений в угловых величинах, измеренных М. В. Ломоносовым, следующим образом: «Упоминание Ломоносова о двух углах „по 120 градусов“ для ромбической грани можно было бы принять за грубую неточность измерения, поскольку речь идет о плоских углах, трижды повторяющихся вокруг тройной оси симметрии и образующих в совокупности телесный угол. Однако следует иметь в виду, что ромбододекаэдры алмаза являются, как правило, кривогранными (округлыми). Для таких форм возможны значительные отклонения от вышеуказанных угловых величин».<sup>82</sup> По-видимому, дело не только в этом. Форму кристаллов М. В. Ломоносов всегда стремился связать с их внутренним строением. „Ромбическая фигура“ алмаза, по его мнению, указывала на внутреннее строение в виде ромбической, плотнейшей шаровой упаковки, уже не раз упоминавшейся выше. Для такой упаковки, как отмечалось в приводившихся выше цитатах, М. В. Ломоносов отмечал характерные углы в  $120$  и  $60^{\circ}$ . Отсюда же становится ясной его мысль о том, что причиной необычайной твердости алмаза является «сложение его из частиц, тесно соединенных». Выше указывалось, что ломоносовская ромбическая упаковка отвечает плотнейшей шаровой кубической упаковке, т. е. кубической центрогранной решетке.

Итак, говоря современным научным языком, М. В. Ломоносов представлял корпускулярное строение алмаза как кубическую центрогранную решетку. Достаточно вспомнить наше современное понятие о структуре алмаза, состоящей как бы из двух кубических центрогранных решеток, сдвинутых друг в друга, чтобы поразиться необычайной прозорливости великого ученого.

---

<sup>81</sup> Там же, стр. 599—600.

<sup>82</sup> Там же, стр. 712 (комментарии).

Следует отметить, что Е. С. Федоров в своем сочинении «Царство кристаллов», увидевшем свет в 1920 г. (через год после смерти ее автора), так же как и Ломоносов, но через полтора столетия после него, приписывал алмазу додекаэдрическую (т. е. центрогранную) решетку. Перед таким поразительным фактом научного предвидения отступают далеко на задний план неточности в измерениях углов, обусловленные теоретическими расчетами.

К кристаллам алмаза М. В. Ломоносов дважды возвращается в конце своего трактата. В первом из приводящихся ниже отрывков речь идет, очевидно, об округлых кривогранных кристаллах, которые в то время обычно принимались за окатанные: «Алмазы рождаются кристаллизациею, следовательно, должны были сначала быть не меньше угловаты, как и прозрачны. Ибо часто бывают угловаты, какие употребляют оконничники, затем что для резания стекла углы натуральные много сильнее и долговечнее, нежели на кругу искусством сделанные. Находят много алмазов совсем обитых и обточенных. Известно же, сколь великого труда требует алмаз, чтобы огранить, и каких крепких материй, какого скорого машины движения, то можно рассудить, сколько требовал он времени, чтобы, валяясь в песку, мог потерять свои углы. Притом оспорить нельзя, что иногда лежал алмаз несколько веков неподвижно на одном месте и не мог потерять от своих углов ниже пылинки».<sup>83</sup>

Вторая цитата показывает, что М. В. Ломоносов при изучении минералов широко пользовался понятием твердости. Для определения твердости он применял метод царапанья, т. е. в общем поступал так же, как и современные минералоги: «Обыск камней без пробы скучен и сомнителен, для сего способствуют следующие приметы и опыты: 1) для алмазов, яхонтов и других высокого достоинства служит стекло, которое почечный алмаз натуральными углами тотчас разрежет, что не токмо по черте легко руками разломится, но и само по ней распадется. Другие дорогие камни хотя режут, однако много слабее. Резанье стекла должно различить от царапанья, затем что и кремнем на стекле можно сделать глубокую царапину, коя, однако, в глубину нейдет наподобие трещины, да и тут должно крепко прижимать; алмаз, напротив того, легким прикосновением действует; 2) алмаз и другие под ним цветные камни пилу весьма скоро тупят и на точиле ходят плоскими боками гладко, а углами выдирают на нем тотчас глубокую борозду».<sup>84</sup>

В «Химических и оптических записках», относящихся к 1762—1763 гг., сохранились краткие упоминания о задуманных М. В. Ломоносовым опытах по искусственному получению минералов во главе с горным хрусталем и алмазом: «Из всего минерального

<sup>83</sup> Там же, стр. 628.

<sup>84</sup> Там же, стр. 629—630

царства для кристаллизации гасить в воде все роды по множеству раз. Воду употреблять просто и с минеральной кислотой. Также горячею водою настаивать глины разные в великом количестве. Сцеживать и ту же сверху наливать. Много от сего можно ожидать к произведению натуральных камней. Из мелу чаять горных хрустелей»;<sup>85</sup> «Для процеживания силою насоса воды сквозь материи ставить деревянные тощие цилиндры. При кристаллизации класть на зарод почечные алмазы и другие камни».<sup>86</sup>

Итак, последние записи ученого о кристаллах сохранили следы его попыток получить искусственные кристаллы горного хрусталя и алмаза. Однако успеха в этом он, конечно, добиться не мог. Поставленные им задачи слишком опередили свое время.

Проведенный нами обзор высказываний М. В. Ломоносова о кристаллах позволяет сделать некоторые обобщения и выводы. Несмотря на отрывочность, а иногда и незавершенность этих высказываний, все они прежде всего отличаются своей исключительной целеустремленностью. Начиная с самых ранних записей и кончая последними заметками, красной нитью проходит через них основное стремление М. В. Ломоносова — «ыскать причины видимых свойств в телах, на поверхности происходящих, от внутреннего их сложения».

«Страстное желание испытывать мельчайшие» наложило отпечаток на все его высказывания о кристаллах. Мы знаем, что эти «мельчайшие» ученый представлял себе в виде шарообразных корпускул. Неоднократно отмечал он два типа шаровых упаковок: треугольный, или ромбоический, и квадратный, или кубический. Первый тип, по мысли М. В. Ломоносова, отвечает наиболее плотному расположению соприкасающихся шаров, второй — наиболее разреженному расположению также соприкасающихся шаров. Между этими двумя типами существует ряд переходов.

Ромбоическая упаковка М. В. Ломоносова соответствует современному понятию плотнейшей шаровой упаковки, а именно кубической центрогранной решетке.

Особое внимание М. В. Ломоносов обращал на гексагональный характер узоров ромбоической упаковки в плоскостях, перпендикулярных телесной диагонали куба, и выделял составной элементарный ромбоэдр решетки. Такую структуру он приписывал селитре, кварцу и, очевидно, всем другим минералам, на которых были обнаружены формы в виде гексагональных призм или ромбоэдров. Как мы видели выше, к этому же типу структуры он отнес и алмаз вследствие наличия на ромбододекаэдрах граней в форме ромбов. Этим вызвана и его ошибка в найденных им величинах углов на ромбических гранях алмаза. Следует отметить, что углы, равные  $120^\circ$  и  $60^\circ$ , могли находиться лишь в плоскостях, перпен-

<sup>85</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 4, Изд. АН СССР, М.—Л., 1955, стр. 434—437.

<sup>86</sup> Там же, стр. 453.

дикулярных тройным осям симметрии шаровой упаковки, тогда как углы, замеренные М. В. Ломоносовым, лежали в плоскости, перпендикулярной двойной оси. Других плотнейших шаровых упаковок М. В. Ломоносов не знал. Было бы ошибкой утверждать, что ему были известны и кубическая, и гексагональная упаковки. Он знал из них только первую.<sup>87</sup>

Вторая шаровая укладка, выделявшаяся М. В. Ломоносовым, по его собственному указанию, должна рассматриваться как разреженная. Она отвечает простой кубической решетке. Такое строение ученый приписывал кристаллам, обнаруживающим кубические формы (поваренная соль, галенит и др.). В ломоносовских описаниях кристаллов неоднократно встречаются упоминания о формах, с одной стороны, ромбоических, или призматических шестигранных, а с другой — кубических, или кубовидных. В этом также нашли отражение взгляды ученого на строение кристаллов в виде двух вышеупомянутых типов. Здесь мы действительно имеем как бы предвидение закона кристаллографических пределов Е. С. Федорова, хотя ломоносовский «гексагональный тип» на самом деле соответствует кубической центрогранной решетке, а его «кубический тип» ограничивается одной простой кубической решеткой. Любопытно отметить, что структуры, приписанные алмазу (кубическая центрогранная решетка) и поваренной соли (кубическая простая решетка), были через полтора с лишним века снова выдвинуты Е. С. Федоровым в «Царстве кристаллов».

Высказывания М. В. Ломоносова по вопросам кристаллографии во многом предвосхитили наши современные воззрения в этой области. Одним из первых обратил он внимание на роль плотнейших шаровых упаковок. Закон постоянства углов объяснялся им с помощью структуры кристаллов. Он пытался установить связь между морфологией кристаллов и их структурой. В зависимости от строения кристаллов истолковывались им твердость и удельный вес.

Современная кристаллохимия «изучает пространственное расположение атомов в кристаллах, находит законы этого расположения и из них выводит физико-химические свойства соответствующих химических соединений».<sup>88</sup> Задачи, ставившиеся М. В. Ломоносовым, всецело подходят под эту формулировку. В планах и намеченных им опытах мы часто встречаемся с задачами и вопросами, стоящими и сейчас на повестке дня.

Все это свидетельствует о том, что в лице М. В. Ломоносова мы действительно имеем великого зачинателя кристаллографии

---

<sup>87</sup> И. И. Шафрановский. Несколько слов о кристаллографии в трудах Ломоносова. Зап. Всес. Минералог. общ., ч. 85, вып. 1, 1956, стр. 106—108. И. И. Шафрановский. Взгляды Ломоносова на строение кристаллов. Сб. «Ломоносов», т. 4, Изд. АН СССР, стр. 100—111.

<sup>88</sup> Г. Б. Бок и й. Введение в кристаллохимию. Изд. Моск. гос. ун-в., 1954, стр. 5.

в России. Его высказывания о кристаллах во многом как бы содержат программу работ, рассчитанную чуть ли не на два века вперед и отчасти требующую завершения в наши дни.<sup>89</sup>

<sup>89</sup> В вышеприведенном обзоре мы преимущественно ограничились выбором тех мест из сочинений М. В. Ломоносова, в которых шла речь непосредственно о кристаллах. Помимо этого, в его трудах встречаются многочисленные рассуждения о строении тел вообще, как твердых, так и жидких, и газообразных. Всем им ученый приписывал сложение из более или менее упорядоченных шаровых укладок. Некоторые такие рассуждения общего характера могут быть отнесены и к строению кристаллов. В упоминавшейся выше статье Т. Н. Агафоновой приводятся два таких отрывка. «Представьте себе, — пишет М. В. Ломоносов, — некоторое место, наполненное пушечными ядрами, так что больше оным уместиться там не можно. Однако же будут между ними места праздные, которые могут в себе вместить пулей фузейных великое множество. Меж пулями промежки пускай будут наполнены мелкой дробью» (Т. Н. А г а ф о н о в а. М. В. Ломоносов и современные кристаллохимические идеи, стр. 100—101). В этой цитате Т. Н. Агафонова видит как бы предвосхищение современной концепции плотной упаковки анионов и катионов с разными ионными радиусами в кристаллических структурах. «Качества тел, — говорится во второй цитате, — не могут претерпеть какое-либо изменение без того, чтобы не произошло какое-нибудь изменение в нечувствительных частях их. А это не в одном теле не делается, если к нему что-либо не прибавится, или от него не уйдет, или не переменят место его части» (там же, стр. 102). В этих словах, по мнению Т. Н. Агафоновой, выражена сущность полиморфизма, открытого Митчерлихом, и изомерии, установленной Берцелиусом в первой половине XIX в.

---



### III. Ф. ЭПИНУС. ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСТВА НА КРИСТАЛЛАХ ТУРМАЛИНА

Глубокие мысли М. В. Ломоносова о кристаллической структуре, его стремление разгадать внутреннее строение кристаллов по их внешним формам и физическим свойствам долго не находили поддержки и развития в трудах его младших современников. Несомненно, что по широте и глубине замыслов эти труды далеко уступают сочинениям М. В. Ломоносова. И все же, несмотря на это, среди них нельзя не выделить ряд замечательных исследований, относящихся к кристаллографии.

К таким работам в первую очередь принадлежат кристаллофизические исследования петербургского академика Ф. Эпинуса, с именем которого связано зарождение специального раздела кристаллографии — учения об электрических свойствах кристаллов, получившего широкое развитие в современной теории и практике.

Франц Ульрих Теодор Эпинус (1724—1802) в возрасте 32 лет занял должность профессора и члена Петербургской Академии наук (до этого он был астрономом и академиком в Берлине). В России Ф. Эпинус прожил 45 лет, вплоть до своей смерти. Здесь им был опубликован ряд трудов во главе с классическим «Опытом теории электричества и магнетизма» (1759 г.). Широкую известность приобрел также его «Сборник различных мемуаров о турмалине» (1762 г.).<sup>1</sup>

Теория электричества и магнетизма Ф. Эпинуса получила весьма высокую оценку со стороны крупнейших ученых того времени — Г. Кэвендиша, А. Вольты и др.

В 1787 г. знаменитый французский кристаллограф Р. Ж. Гаюи издал небольшую научно-популярную книжку под заглавием «Систематическое изложение электричества и магнетизма, согласно принципам г. Эпинуса, члена Академии Петербурга, Турина и т. д.» (Париж, 1787 г.).

Здесь мы остановимся лишь на двух его мемуарах, посвященных пирoeлектричеству кристаллов турмалина и занимающих почетное место в истории науки о кристаллах.

---

<sup>1</sup> Ф. У. Т. Э п и н у с. Теория электричества и магнетизма. Ред. и примеч. проф. Я. Г. Дорфмана. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М.—Л., 1951.

В самом начале первого мемуара Ф. Эпинус пишет о причинах, побудивших его подробно изложить вопрос «об удивительных свойствах турмалина». Причины эти заключались в желании внести ясность в существовавшие в то время весьма путанные суждения об этом минерале. Некоторые ученые, например, утверждали, что это род янтаря. Другие говорили о нем «столь неопределенно и малосущественно, что почти бесполезно их приводить».<sup>2</sup> Приступив к описанию своих опытов, Ф. Эпинус пре-

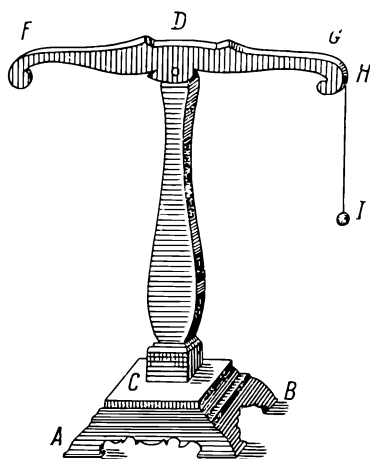


Рис. 8. Прибор с маятником для исследования пирозлектричества, по Ф. Эпинусу.

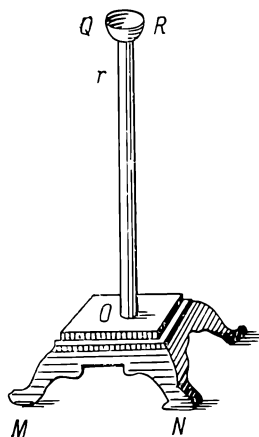


Рис. 9. Подставка для турмалина, по Ф. Эпинусу.

дупреждает читателя, во-первых, в том, что «турмалин есть камень редкий и малоизвестный, поэтому возможность производить на нем опыты представляется не без затруднений». Во-вторых, он подчеркивает, что опыты, с помощью которых им были открыты свойства турмалина, «требуют определенных способов, которые не сразу даются».<sup>3</sup>

На рис. 8, 9 и 10 изображены те несложные приборы, которыми пользовался Ф. Эпинус. К ним прежде всего относится подставка *AB* со стержнем *CD* и равноплечим рычагом *FG* (рис. 8). К одному из плеч этого рычага кусочком воска был прикреплен маятник, состоящий из шелковой нитки с подвешенным внизу кусочком закругленной пробковой коры «величиной с чечевицу». Второй прибор представлял квадратную подставку *MN* со стеклянной трубочкой *Or*, верх которой заканчивался полушарием *QR* (рис. 9).

<sup>2</sup> Там же, стр. 419.

<sup>3</sup> Там же.

Этот прибор и служил подставкой для исследуемого турмалина. На рис. 10 изображены щипчики, которыми Ф. Эпинус брал турмалин, не касаясь его пальцами. Род электричества определялся с помощью стеклянной трубочки и палочки испанского воска.

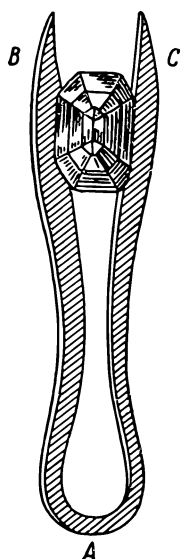


Рис. 10. Щипчики для турмалина, по Ф. Эпинусу.

Два турмалина, которые имел в своем распоряжении Ф. Эпинус, представляли собой уже ограненные, «предназначенные для оправы» камни (рис. 11).

Первые наблюдения Ф. Эпинуса показали, что турмалин, помещенный на раскаленный уголь, сперва притягивал, а затем отталкивал рассыпанную вокруг золу и другие легкие тела: перья, клочки бумаги, соломенки и проч. Это свойство турмалина было с давних времен известно ювелирам, назвавшим камень «притягивателем золы».

Обсуждая результаты опытов, Ф. Эпинус пришел к заключению, что «действие турмалина происходит от электричества».<sup>4</sup> Следующая серия опытов позволила ученому глубже проникнуть в сущность данного явления. Нагрев первый турмалин (рис. 11, а) в кипящей воде, он поместил его на подставку (рис. 12) и приблизил к маятнику (рис. 8). При этом маятник сперва притягивался камнем, а затем, коснувшись грани В, начал отклоняться. После этого потертая стеклянная палочка «с силой» притягивала маятник, а палочка испанского воска его отталкивала. «Этот опыт почти не оставляет сомнения в том, что притягательная и отталкивающая способность турмалина проис-

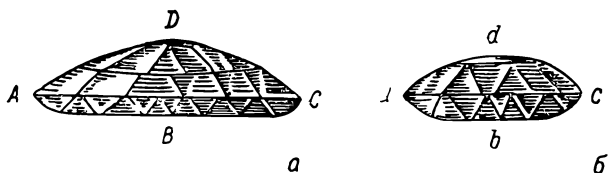


Рис. 11. Искусственно ограненные кристаллы турмалина, изучавшиеся Ф. Эпинусом.

ходит от электричества»,<sup>5</sup> — заключает ученый. Далее он формулирует следующий вывод: «Турмалин, следовательно, схож с электрическими телами также и тем, что он сообщает, как они, телам,

<sup>4</sup> Там же, стр. 423.

<sup>5</sup> Там же, стр. 424.

коих касается, свою притягивающую и отталкивающую способность».<sup>6</sup> Проделав аналогичные опыты со стороной  $D$  большего образца (рис. 11,  $a$ ), Ф. Эпинус заметил, что «сторона  $D$  выказывала, как ранее и сторона  $B$ , способность притяжения и отталкивания и подчинялась в этих явлениях точно тем же законам, что и сторона  $B$ , с той лишь весьма примечательной разницей, что сторона  $D$  была не отрицательно электрической, подобно стороне  $B$ , но создавала электричество положительное».<sup>7</sup> Отсюда вытекал следующий вывод: «Если припомнить. . . о том, что тела, обладающие электричеством одного вида отталкиваются, а те, которые обладают электричеством разного вида, притягиваются, легко увидеть, что нужно приписать стороне  $B$  турмалина отрицательное электричество, а стороне  $D$  — положительное».<sup>8</sup> Таким образом, впервые была отмечена полярность турмалина в отношении пирозлектричества.

Опыты с меньшим турмалином привели к аналогичным результатам, с той лишь разницей, что здесь плоская сторона  $b$  оказалась отрицательно-электрической, а выпуклая часть  $d$  — положительно-электрической. Вот что пишет по этому поводу Ф. Эпинус: «Разница, наблюдаемая между обоими турмалинами, весьма примечательна. Так как оба неизменно следуют тому правилу, что путем нагревания одна сторона камня получает электричество, противоположное электричеству другой стороны, то должна быть причина, почему определенная сторона всегда и без исключения положительно-электрическая, а другая — отрицательно. Можно было бы думать, что причина заключается во внешней форме каждой из сторон, и как раз это я и предположил вначале. Но форма обоих моих камней совершенно одинакова и, несмотря на это, схожие стороны производят совершенно различное электричество; стороны несхожие, напротив, обладают постоянно одинаковым электричеством. Причина эта, следовательно, не зиждется на внешней форме каждой из сторон, но на внутренней структуре и расположении самого камня. Это тем более удивительно, что наилучшее зрение не только не сможет открыть в нем какого-либо различия, но, напротив, установит, что камень совершенно

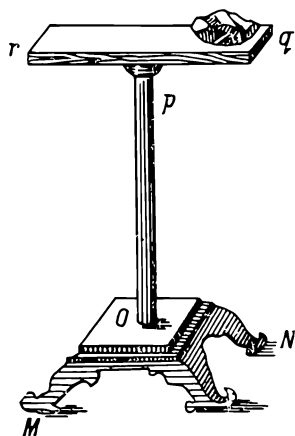


Рис. 12. Подставка с турмалином, лежащим на латунной пластинке, по Ф. Эпинусу.

<sup>6</sup> Там же, стр. 425.

<sup>7</sup> Там же, стр. 426.

<sup>8</sup> Там же, стр. 426—427.

однороден в своей субстанции». <sup>9</sup> Из приведенной цитаты видно, что Ф. Эпинус правильно разгадал связь пирозлектрических явлений с внутренней структурой кристалла.

Разгадка различного поведения обоих турмалинов Ф. Эпинуса заключается в том, что их искуственное ограничение было прямо противоположным относительно полярной (тройной) оси в обоих кристаллах. В большем образце с гранью *B* совпадал аналогичный полюс кристалла, а с выпуклой частью *D* — его антилогичный полюс. Наоборот, в меньшем турмалине с гранью *b* совпадал антилогичный полюс, а с выпуклой частью *d* — аналогичный полюс.

Из следующей цитаты выясняется терминология, принятая Ф. Эпинусом для открытых им явлений: «Состояние, в какое перейдет турмалин путем равномерного нагревания, я буду называть его *естественным состоянием*, сторону турмалина, постоянно получающую в этом случае положительное электричество, — *положительной стороной*, другую же, которая становится отрицательно-электрической, — *отрицательной стороной*». <sup>10</sup>

Легко перевести эти термины Ф. Эпинуса на современный научный язык: «положительная сторона» отвечает аналогичному полюсу, а «отрицательная сторона» — антилогичному полюсу. Опуская целый ряд деталей, свидетельствующих о тонкой наблюдательности ученого, ограничимся лишь приведением двух установленных им правил:

«1) если турмалин одинаково нагрет с обеих сторон, он находится всегда в естественном состоянии;

«2) если теплота распределена неравномерно или одна из сторон более нагрета, нежели другая, то он находится в обращенном состоянии, иначе говоря, сторона положительная — отрицательно-электрическая, сторона же отрицательная — положительно». <sup>11</sup>

Ф. Эпинус не ограничился открытием пирозлектричества на турмалине. Он обнаружил на нем также и явления трибоэлектричества. Вот как он сам пишет об этом: «Я предугадал, что если его (турмалин, — *И. III.*) натереть, он должен стать электрическим подобно другим телам этого рода». <sup>12</sup> «При всех обстоятельствах сторона турмалина, потертая об сукно, становится всегда положительно-электрической. Отсюда видно, что по отношению к электричеству, полученному трением, стороны этого камня ничем не отличаются друг от друга, тогда как в отношении электричества, полученного нагреванием, они наделены качествами, полностью противоположными». <sup>13</sup> Далее он пишет: «Следовательно, электричество, порожденное в турмалине трением, не имеет в себе ничего

<sup>9</sup> Там же, стр. 428.

<sup>10</sup> Там же, стр. 430.

<sup>11</sup> Там же, стр. 432.

<sup>12</sup> Там же, стр. 436.

<sup>13</sup> Там же, стр. 437—438

особенного, но то, кое доставляется ему посредством теплоты, следует правилам, совершенно отличным и исключительно турмалину присущим.

«Таким образом, в турмалине различаются два электричества, одно из которых именно и есть то, кое присуще всем телам типа стекла, другое, порожденное теплом, совершенно отлично от первого».<sup>14</sup>

Ф. Эпинус изучал также поведение порошка ликоподия, насыпанного на подогретый турмалин. Эти его опыты напоминают позднейшую методику Кундта и других последователей, употреблявших смесь порошков сурика и серы для выявления аналогичного и антилогичного полюсов на электризующихся кристаллах. Вот как описывает Ф. Эпинус проведенное им исследование: «Я положил турмалин плоской стороной на разогретую пластинку и покрыл его другую сторону легким слоем порошка ликоподия при помощи пуховки для пудры. Прилипнув к турмалину, порошок сам собой расположился в некоем определенном порядке. Частицы порошка сцепились друг с другом и образовали множество маленьких нитей, от коих камень совершенно ошетинился. Нити, возвышающиеся из середины камня, были ему перпендикулярны, а по мере приближения к краям они все более и более были наклонны».<sup>15</sup>

В «Дополнении» к своему основному мемуару о турмалине Ф. Эпинус пытался истолковать причину электризации этого минерала «неоднородностью» его частей. Он даже сконструировал тело, представляющее как бы искусственную модель кристалла, способного давать нечто вроде пирозлектрического эффекта: «Я часто пытался добыть электричество в каком-либо другом теле тем же, что и для турмалина, способом — простым нагреванием, но мне это никогда не удавалось, и до сей поры я не знаю ничего, что походило бы в этом пункте на турмалин. Я счел нужным приписать причину этого слишком большой однородности частей тех тел, с коими я делал опыты, ибо непонятно, каким образом, если части одного тела совершенно однородны, электрическая материя покидает одну из них, чтобы скопиться в другой: обстоятельство, без которого совершенно невозможно произвести электричество одним нагреванием. Что же, думал я, если два тела различного типа, напр. сера и металл, были бы так соединены, что их поверхности точно соприкасались бы и составляли, так сказать, одно тело, то электрическая материя, когда эти тела были бы нагреты, разве не перешла бы из одного тела в другое и разве не возникло бы от этого электричество? Я произвел опыт, и он мне удался».<sup>16</sup>

---

<sup>14</sup> Там же, стр. 444.

<sup>15</sup> Там же, стр. 451.

<sup>16</sup> Там же, стр. 457.

Этот опыт заключался в том, что Ф. Эпинус поместил в оловянное блюдо расплавленную серу. После охлаждения и последующего вторичного подогревания сера обнаружила отрицательный, а оловянное блюдо — положительный заряд. Несмотря на то что ученому было известно пирoeлектричество лишь для кристаллов турмалина, он предвидел, что подобные явления могут обнаружиться и для других веществ: «До сей поры турмалин может казаться чудом природы, единственным в своем роде, но путем экспериментирования мы найдем, быть может, что и другие тела хотя не имеют таких же точно качеств, но обладают близкими к ним. Лично я заметил в обыкновенной сере кое-что, имеющее к этому отношение, хотя и отдаленное».<sup>17</sup>

Мы не могли не остановиться подробно на знаменитых мемуарах Ф. Эпинуса о турмалине. Из приведенных цитат видно, с каким мастерством этот ученый XVIII в. ставил свои опыты, как зорко умел он подмечать тончайшие, трудно улавливаемые явления, как остроумно обобщал он открытые им факты.

Ф. Эпинус по праву считается родоначальником учения о пироелектричестве кристаллов. Целый ряд закономерностей, относящихся к этой области, был впервые установлен именно им.

Только то, что в его распоряжении находились искусственно отшлифованные камни, а не природные кристаллические многогранники, помешало ему открыть связь между кристалломорфологией, а следовательно и структурной геометрией, и электрическими свойствами турмалина.

Один из наиболее интересных физиков XVIII в., один из первых по времени экспериментаторов в области электрических явлений на кристаллах, Ф. Эпинус занимает выдающееся место как в истории физики вообще, так и в истории кристаллофизики в частности.

---

<sup>17</sup> Там же, стр. 456.

---

#### IV. Т. Е. ЛОВИЦ. ОТКРЫТИЯ В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛОГЕНЕЗИСА

В области химической кристаллографии и кристаллогенезиса ряд замечательных достижений связан с именем петербургского академика Товия Егоровича Ловица (1757—1804).

Эти открытия долгое время оставались забытыми и лишь недавно были оценены по достоинству. Выход в свет избранных трудов Т. Ловица в серии «Классики науки» дал возможность ознакомиться широким кругам читателей с творчеством этого крупного химика и кристаллографа.<sup>1</sup>

Сын академика-астронома, погибшего во время экспедиции к Каспийскому морю, Т. Ловиц начал свою деятельность в качестве ученика придворного аптекаря. Завершив образование за границей, он снова работал в лаборатории Главной аптеки. В 1787 г. он был избран корреспондентом Академии наук, в 1790 г. — адъюнктом, а в 1793 г. — ординарным академиком и профессором химии.

Личная жизнь ученого сложилась весьма печально. В молодости он страдал тяжелой меланхолией, сопровождавшейся эпилептическими припадками. Один за другим умерли его пять детей от первого брака (в живых остался только один сын), а вслед за ними и его жена. Вступив во второй брак, ученый снова потерял одну из трех дочерей, а затем и свою вторую жену. Только третья супруга Т. Ловица пережила своего мужа.

Работая с ядовитыми веществами, Т. Ловиц неоднократно тяжело отравлялся. В результате опытов с охлаждающими смесями у него так сильно были разъедены руки, что он долго не мог владеть пальцами. За четыре года до смерти ученого выпавшее стекло из дверцы шкафа с минералогическими коллекциями сильно ранило его левую руку; при этом оказались перерезанными сухожилия и рука перестала действовать.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии. Ред., статьи и примеч. Н. А. Фигуровского. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М., 1955.

<sup>2</sup> Н. А. Ф и г у р о в с к и й. Жизнь и научная деятельность Т. Е. Ловица. В кн.: Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 403—420.



Однако, несмотря на все эти невзгоды, научная деятельность Т. Ловица была исключительно интенсивной. В свое время он был крупнейшим аналитиком, сыгравшим большую роль в открытии стронция и хрома. Занимаясь в первую очередь химией и химической технологией, Т. Ловиц вместе с тем усиленно работал и в области кристаллографии. Следует заметить, что в отличие от большинства ученых того времени, изучавших главным образом кристаллы минералов, Т. Ловиц особенно интересовался продуктами искусственной кристаллизации. На проблемы кристаллогенезиса и химической кристаллографии его натолкнула лабораторная практика в Главной аптеке, а затем деятельность в качестве химика-аналитика в Академии. Многолетняя работа в лаборатории привела Т. Ловица к ряду блестящих открытий, относящихся к химической кристаллографии. Его научные достижения, по удачному выражению П. И. Вальдена, «не только значительны и самостоятельны, но и полны прелести и возбуждающего интереса».<sup>3</sup> Одно из самых известных его открытий касается способности древесноугольного порошка адсорбировать различные вещества из растворов. Это явление он использовал, между прочим, для получения чистых кристаллов, в частности для очистки кристаллической виннокаменной кислоты. В свое время Т. Ловиц получил самые низкие температуры, что дало ему возможность впервые исследовать кристаллы ледяной уксусной кислоты, двухводного хлористого натрия, серной кислоты и др.

Приведем несколько характерных цитат из его работы, касающейся получения кристаллов ледяной уксусной кислоты (1761 г.). «Я, однако, на моих собственных опытах теперь убедился, — пишет Т. Ловиц, — что чистая уксусная кислота действительно кристаллизуется, как только она освобождается от излишних водных частей, которые в этом случае, как и при всех кристаллизующихся солях, являются помехой для образования кристаллов».<sup>4</sup> Как видим, здесь Т. Ловиц указывает на необходимость определенной концентрации раствора (или, иначе говоря, его пересыщения) для получения кристаллов. Далее он описывает открытый им способ концентрации винного уксуса посредством холода. Для этого винный уксус подвергался дистилляции в реторте на водяной бане: «Этот дистиллированный уксус из-за потери спиртно-воспламеняемых частиц, будучи снова выставленным в бутылки на мороз, очень легко подвергается действию холода».<sup>5</sup> Для того чтобы довести уксус «до высшей концентрации

---

<sup>3</sup> П. И. В а л ь д е н. Товий Ловиц, забытый физико-химик. В кн.: П. И. В а л ь д е н. Наука и жизнь, ч. 2. Пгр., 1919, стр. 52.

<sup>4</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 136.

<sup>5</sup> Там же, стр. 137.



Т. Ловиц (1757—1804).

и кислоты его до кристаллизации», Т. Ловиц очищал его с помощью изобретенного им способа — путем прибавления угольного порошка. Такой укус «на естественном холоде замерз».

Вот как описывает ученый получившиеся кристаллы: «Однажды я при второй кристаллизации такого уксуса получил большие красивые чистейшие кристаллы, разнообразно перекрещивающиеся, формы продолговато-ромбоидальной, длиной в полтора пальца, шириной в полпальца и толщиной в половину высоты». <sup>6</sup> На рис. 13 изображен «красивейший образец» подобного кристалла.

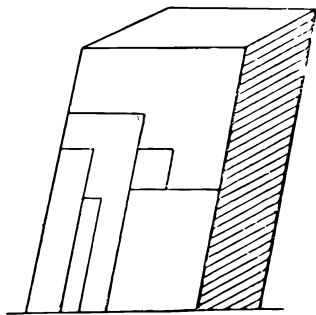


Рис. 13. Кристалл ледяной уксусной кислоты, по Т. Ловицу.

Особое внимание уделяет Т. Ловиц формам получившихся кристалликов. «Из большого множества солей мне неизвестна ни одна соль, которая могла бы сравниться с ледяным уксусом по удивительному многообразию и красоте формы», — пишет он. <sup>7</sup> Он тщательно отмечает, какие именно кристаллические образования получают при различных условиях кристаллизации: «Если кристаллизация происходит постепенно, она начинается, как и у воды, с появления ветвистых заостренных фигур, идущих от краев стакана в жидкость. . . Между тем внутренняя по-

верхность незаполненной части стакана покрывается красивыми кристаллическими разветвлениями с различными звездообразными фигурами, какие можно видеть зимой на окнах». <sup>8</sup> «При слабом охлаждении, — пишет он далее, — появляется огромное количество тончайших равносторонних треугольников, беспорядочно плавающих по всей массе уксуса и излучающих все призматические цвета. . . Иная картина наблюдается при несколько большем охлаждении уксуса: теперь появляются звездообразные, пяти- и шестиконечные фигуры, похожие на снежинки, которые медленно опускаются на дно стакана, и очень интересно наблюдать, как они, падая, увеличиваются в объеме. . . Если первоначальное охлаждение еще больше, то на дно опускаются шарообразно-лучистые фигуры, которые очень быстро увеличиваются. . . При достижении же крайней точки кристаллизации жидкость в момент открытия стакана тотчас затвердевает во всей своей массе». <sup>9</sup> Далее отмечаются «саблевидные кристаллы», получающиеся из частично расплавленного ледяного уксуса.

<sup>6</sup> Там же, стр. 142.

<sup>7</sup> Там же, стр. 144.

<sup>8</sup> Там же.

<sup>9</sup> Там же, стр. 145—146.

В этой же статье Т. Ловиц описывает еще одно из своих кардинальных открытий — явление переохлаждения: «В плотно закрытом стакане эта кислота может выдержать, не кристаллизуясь, значительно больший холод, чем на открытом воздухе. Но если стакан встряхнуть или, больше того, допустить в него снаружи воздух, кислота внезапно затвердевает во всей своей массе».<sup>10</sup> Важно отметить, что ученый сознавал общее значение открытых им явлений. Он усиленно подчеркивал «удивительное сходство» между кристаллизацией уксуса и замерзанием воды.

Ряд новых данных о кристаллах ледяного уксуса находится в статье «Продолжение рассуждения о кристаллизации уксусной кислоты» (1791 г.). Здесь прежде всего приводятся точные определения и обозначения: «Я буду называть самый концентрированный уксус, который, будучи выставленным на сильный холод, подвергается кристаллизации (*acetum crystallisable*), кристаллизующимся уксусом; полученные при этой операции кристаллы, отделенные от остальной жидкой части (*acetum glaciale*), — ледяным уксусом; оставшуюся от кристаллов жидкую часть (*miriam aceti*) — уксусным рассолом».<sup>11</sup>

Далее Т. Ловиц описывает новый, изобретенный им способ получения уксусных кристаллов: «Выше я уже сказал, что кристаллизующийся уксус для самопроизвольной кристаллизации требует холода не менее 173 градусов<sup>12</sup>. . . Мне удалось, однако, прийти к такому изобретению, благодаря которому кристаллизующийся уксус превращается в кристаллы при значительно меньшем холоде, а именно при 158 градусах. Для этой работы, правда, нужно иметь под руками уже готовый ледяной уксус. . . Тонкий хлопчатобумажный фителек (который, если угодно, можно заменить и какой-нибудь ниткой) я погрузил в расплавленный крепкий ледяной уксус и подверг последний кристаллизации с тем, чтобы несколько кристаллов ледяного уксуса пристали к концу погруженного в него фитиля. Затем я подвесил этот фитиль в стакан с кристаллизующимся уксусом, выставленный на холод 158 градусов, таким образом, что конец фитиля с висящими на нем кристаллами касался поверхности уксуса, и очень скоро я увидел столь приятное моему взору зрелище — начало кристаллизации: сначала на поверхности появилось множество кристалликов, которые, будто снежинки, падали на дно. Вскоре я увидел как бы распускающиеся корни кристаллы, быстро растущие в длину, свисающие, подобно кисти, с конца фитиля, и, таким образом, за час наш уксус полностью кристаллизовался».<sup>13</sup>

<sup>10</sup> Там же, стр. 144.

<sup>11</sup> Там же, стр. 149.

<sup>12</sup> Градусы, приведенные Т. Ловицем, соответствуют термометрической шкале Делиля. Для перевода их на градусы Цельсия следует вычесть 150 и взять две трети остатка.

<sup>13</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 156—157.

Из приведенной цитаты видно, что Т. Ловиц для ускорения процесса кристаллизации использовал затравку из уже готовых кристаллов. Как увидим ниже, метод затравки был им широко использован впоследствии для получения различных кристаллов.

Не меньший интерес представляет статья, описывающая кристаллизацию дигидрата поваренной соли ( $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), полученного из раствора хлористого натрия, охлажденного до  $-12^\circ \text{C}$  ( $168^\circ$  по шкале Делиля), — «Наблюдения над кристаллизацией обыкновенной соли посредством холода и новый способ очистки этой соли» (1792 г.).

В самом начале этой статьи Т. Ловиц отмечает два способа получения кристаллов из растворов: «Известно, что большинство солей можно выделить из их растворов в твердом состоянии двумя способами, один из которых — выпаривание водных частей, другой — охлаждение. Эту последнюю кристаллизацию солей можно назвать самопроизвольной, первую — принудительной.

«. . . Соли, которые кристаллизуются обоими этими способами, при своей кристаллизации, самопроизвольной или принудительной, не только образуют различные формы кристаллов, но и включают различное количество кристаллизационной воды: в первом случае большее, во втором — меньшее».<sup>14</sup>

В последней фразе речь идет о кристаллогидратах, получаемых обычно при выпаривании растворов, и криогидратах, кристаллизующихся при охлаждении растворов. В первых отношении молекул соли и воды является постоянным, во вторых, представляющих эвтектические смеси, содержание воды колеблется.

Из насыщенного раствора хлористого натрия при достаточно сильном морозе выкристаллизовывается соль не в обычной форме «кубов и составленных из них пирамид», а в виде совершенно иных многогранников. Форма их описывается Т. Ловицем в следующих словах: «Что касается формы, они представляют собой равносторонние шестиугольные пластины, у которых четыре боковые грани заострены, две же, противолежащие друг другу, плоские, так что, кроме двух основных шестиугольных плоскостей, верхней и нижней, они ограничены еще десятью боковыми плоскостями, а именно восемью ромбоидальными и двумя удлиненными шестиугольниками. Кроме этих кристаллов, я увидел еще редчайшую форму: две соединенные основаниями четырехгранные косые (усеченные) пирамиды».<sup>15</sup>

Приведенное описание иллюстрируется двумя изображениями кристаллов (рис. 14). По своим размерам кристаллы, полученные Т. Ловицем, достигали в диаметре «двух пальцев». Ученый установил, что эти кристаллы отличаются по своему составу от обычного хлористого натрия: «Они исключительно богаты кристалли-

<sup>14</sup> Там же, стр. 174.

<sup>15</sup> Там же, стр. 175—176.

зационной водой, а именно содержат этой воды 48 частей на сто».<sup>16</sup>

В заключение Т. Ловиц подчеркивает, что найденный им способ кристаллизации морской соли посредством холода представляет значительный практический интерес, так как дает возможность получить очищенный хлористый натрий: «Все чужеродные соли и жирные части, которыми обычно загрязнена поваренная соль, в ходе кристаллизации задерживаются в остаточной жидкости».<sup>17</sup> Отделенный кристаллический порошок после высушивания «представляет собой белейшую, совершенно освобожденную от всех чужеродных частей морскую соль».<sup>18</sup>

Ряд важных кристаллографических выводов находится также в статье «Изложение новых опытов по искусственному холоду» (1794 г.). В самом начале статьи Т. Ловиц с уверенностью выдвигает следующую

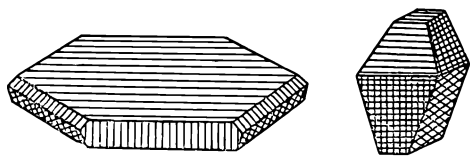


Рис. 14. Кристаллы дигидрата хлористого натрия, по Т. Ловицу.

тей тезис: «Не существует ни одного твердого тела в нашем мире, которое при достаточно большой степени огня не превращалось бы в жидкое состояние. Подобно этому почти нельзя сомневаться в том, что, наоборот, все вещества, до сих пор известные в жидком состоянии, затвердевают при возрастании холода до определенного градуса».<sup>19</sup>

Исключительное значение имеет также следующее утверждение: «При замерзании жидкостей возникает теплота, а при таянии твердых тел или их растворении — холод. . . Причину холода или тепла в данном случае следует искать в том, что твердые тела, обращаясь в жидкое состояние, весьма прочно связывают и как бы поглощают тепло, посредством которого растворяются или становятся жидкими; в противоположном же случае, а именно при замерзании, поглощенное тепло вновь высвобождается».<sup>20</sup> По справедливому замечанию Н. А. Фигуровского, это очень важное утверждение впоследствии было обобщено в закон сохранения энергии.<sup>21</sup>

Искусственный холод Т. Ловиц получал, прибавляя к снегу кристаллы едкой щелочи, а также смешивая различные соли. Максимальный холод в 225° по шкале Делиля (т. е. —50° С) ему удалось получить путем смешения едкого натра с хлористым кальцием.

<sup>16</sup> Там же, стр. 175.

<sup>17</sup> Там же, стр. 177.

<sup>18</sup> Там же.

<sup>19</sup> Там же, стр. 179.

<sup>20</sup> Там же, стр. 183.

<sup>21</sup> Там же, стр. 542.

Классическими, в подлинном смысле этого слова, следует признать две статьи Т. Ловица, касающиеся собственно кристаллизации солей. Первая из них носит название «Изложение новых наблюдений над кристаллизацией солей, а также нового изобретения, касающегося образования солями правильных кристаллов» (1794 г.). Следует отметить, что эта работа является одним из первых сочинений, специально описывающих технику выращивания кристаллов. В своем очерке развития кристаллографии В. И. Вернадский писал об известном французском химике Н. Леблане (1742—1806): «Он первый дал общие способы получения кристаллических многогранников, выяснил строгую закономерность процесса кристаллизации и поставил огромное количество разнообразнейших опытов». <sup>22</sup> Н. Леблан представил результаты своих опытов в Парижскую Академию в 1788 г. Однако его брошюра «De la cristallotechnie» появилась лишь в 1802 г. Т. Ловиц опубликовал свои работы на несколько лет раньше, и тем самым слова В. И. Вернадского по праву можно отнести не только к французскому ученому, но и к нашему кристаллографу.

В самом начале вышеупомянутой статьи Т. Ловиц отмечает практическую важность методики выращивания крупных и хорошо образованных соляных кристаллов: «Химическая операция, с помощью которой мы получаем из растворов солей правильные кристаллы, представляет большой интерес с двух точек зрения: прежде всего она служит для совершенной очистки солей от всех загрязняющих их чужеродных частей; затем она открывает также путь к изучению форм, свойственных различным солям». <sup>23</sup>

Прежде чем приступить к тому «новому, что он открыл в этом деле», Т. Ловиц перечисляет известные и до него приемы, способствующие получению правильно образованных кристаллов. Приведем целиком этот интересный перечень:

- 1) Должная степень концентрации соляного раствора.
- 2) Медленное выпаривание раствора.
- 3) Ненарушенное в ходе всей кристаллизации покойное состояние раствора.
- 4) Погружение в раствор, доведенный выпариванием до точки кристаллизации, тонких деревянных палочек или нитей, на которых могли бы повиснуть образующиеся при охлаждении кристаллы.
- 5) Смачивание внутренней стенки сосуда, предназначенного для кристаллизации, винным спиртом.
- 6) Возможность самопроизвольного испарения раствора, без помощи нагревания». <sup>24</sup>

Далее Т. Ловиц переходит к рассмотрению препятствий к пра-

<sup>22</sup> В. И. Вернадский. Основы кристаллографии. М., 1904, стр. 35.

<sup>23</sup> Т. Е. Ловиц. Избранные труды по химии и химической технологии. стр. 208.

<sup>24</sup> Там же, стр. 208—209.

вильному кристаллообразованию. К ним в первую очередь он относит открытое и описанное им же самим явление переохлаждения. Сам термин «переохлаждение» был впервые введен Т. Ловицем в рассматриваемой статье. «Эту особенность я позволю себе в этой статье ради краткости обозначить словом „переохлаждение“» — пишет он.<sup>25</sup> Наличие переохлаждения препятствует медленному и постепенному образованию кристаллов. Помещая сильно переохлажденный раствор в более теплое место, Т. Ловиц неоднократно наблюдал следующее «приятное для глаза, но отрицательное по своему действию» характерное явление: «Как только начинается образование кристаллов, тончайшие зародыши кристаллов в растворе вызывают внутреннее движение; вскоре это движение распространяется на всю жидкость и совершенно нарушает ее покой, крайне необходимый именно в это время. Кристаллы стремятся вверх, вниз и во все стороны, нижние смешиваются с верхними, так что, когда восстановлен покой, мы обнаруживаем вместо правильных кристаллов бесформенную, беспорядочную соляную массу».<sup>26</sup>

В приведенной цитате Т. Ловиц говорит о подмеченном им «внутреннем движении» в растворе. Это явление привлекает особое его внимание и описывается им следующим образом: «Упомянутое мною. . . внутреннее движение раствора всегда бывает тем сильнее, чем стремительнее отделение соляных частиц от воды. Оно, с другой стороны, значительно слабее, если образование кристаллов происходит медленно, постепенно. . . Физическая причина этого самопроизвольного движения следующая: частицы воды в момент своего отделения на дне сосуда от соляных частиц в силу уменьшения своего удельного веса устремляются в верхнюю часть раствора, и это можно заметить даже невооруженным глазом. В самом деле, во всех соляных растворах во время кристаллизации наблюдаются от растущих на дне кристаллов бесчисленные нити, которые поднимаются к поверхности раствора, подобно тому, как если бы мы примешали к воде винный спирт или какой-нибудь соляной щелок».<sup>27</sup>

Как видим, в приведенном отрывке ученый очень наглядно описывает «бесчисленные нити» столь хорошо известных современным кристаллографам концентрационных потоков. Открытие этого явления обычно приписывалось известному немецкому кристаллографу и физiku О. Леманну, давшему описание концентрационных потоков в статье «О росте кристаллов» (1877 г.).<sup>28</sup> Даже объяснение сущности данного явления, приведенное Т. Ловицем,

<sup>25</sup> Там же, стр. 210.

<sup>26</sup> Там же, стр. 211—212.

<sup>27</sup> Там же, стр. 212. «Соляным щелоком» Т. Ловиц называет водный раствор соли.

<sup>28</sup> O. L e h m a n n. Ueber das Wachstum der Krystalle. Zeitschr. f. Kryst., Bd. I, 1877, стр. 453—496.



по сути дела, дублируется следующим толкованием О. Леманна: «Менее концентрированный и нагретый раствор вблизи кристалла стремится вверх благодаря своему меньшему удельному весу и замещается притекающим снизу более холодным и концентрированным раствором». <sup>29</sup>

Как увидим ниже, роль концентрационных потоков в процессе кристаллизации была впоследствии особенно детально освещена Г. В. Вульфом в его знаменитой работе «К вопросу о скоростях роста и растворения граней» (1895 г.). <sup>30</sup>

Итак, явление, привлекавшее особое внимание ученых в конце XIX столетия, открытие которого приписывалось О. Леманну, на самом деле было описано за 80 с лишним лет до этого в работе Т. Ловица. Нельзя не поразиться замечательной зоркости ученого, позволившей ему открыть это малозаметное, трудно улавливаемое на глаз, но чрезвычайно важное явление.

Наблюдения Т. Ловица привели его к заключению, что получение хороших кристаллов может осуществляться лишь при условии непрерывного выделения соляных частиц из постепенно охлаждаемых растворов. При этом отпадает возможность переохлаждения последних. В поисках разрешения этой задачи ученый в течение нескольких лет проделал множество опытов почти со всеми солями, чтобы получить различные формы их кристаллов. «Мое желание найти нужный прием было так сильно, — пишет он, — что я нередко раствор одной соли подвергал по десять и более раз кристаллизации, прежде чем мне удавалось получить кристаллы определенной желательной формы. Этот кропотливый труд при таком множестве солей поистине немало послужил упражнению моего терпения». <sup>31</sup>

В результате этой огромной и напряженной работы Т. Ловиц и нашел свой «чрезвычайно легкий и простой способ». Образно описывает он те подмеченные им явления, которые натолкнули его на открытие нового метода искусственной кристаллизации из растворов. Нельзя не привести целиком тех параграфов, в которых ученый рассказывает о своем открытии: «В тех растворах, которые после выпаривания и охлаждения затвердевают в сплошную плотную массу, мне не раз довелось наблюдать, что эта внезапная кристаллизация начинается в тот самый момент и постоянно в том именно месте, где появляются первые зачатки сгущения или кристаллизации, которые очень быстро распространяются по всей жидкости, как бы лучами, исходящими из общего центра. Так как, кроме того, эта внезапная кристаллизация у многих солей наступает лишь спустя длительное время после полного

<sup>29</sup> Там же, стр. 474.

<sup>30</sup> Г. В. В у л ь ф. К вопросу о скоростях роста и растворения граней. Варшавск. унив. изв., 1895, кн. 7—9; 1896, кн. 1, 2, стр. 1—120.

<sup>31</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 213.

охлаждения. . . я предположил, что вся кристаллизация как бы выжидает этого первого зачатка, и самая мелкая частица соли, которая первая отделяется от воды, мне представляется как бы вожаком или инициатором, подающим всем остальным сигнал к кристаллизации.<sup>32</sup>

«. . . Это наблюдение привело меня к счастливой мысли, что можно ускорить начало кристаллизации, если бросить кристаллик соли в соляные растворы, уже доведенные выпариванием до надлежащей точки кристаллизации. Он, я надеялся, и выполнит обязанности того инициатора, которым обычно является первая, лишь поздно и с трудом отделяющаяся от воды, частичка соли. Я тут же немедленно поставил опыт, который полностью подтвердил мое предположение. Когда я в какой-нибудь раствор, уже полностью охлажденный, но еще не проявляющий никаких признаков сгущения или кристаллизации, бросал сухой кусочек соли того же вида, то растворы, в зависимости от природы самой соли и от различной степени концентрации, немедленно начинали затвердевать во всем своем объеме или образовывать кристаллы. Когда же кристаллик прибавлялся к еще горячему раствору, то кристаллизация всегда начиналась именно в нужный момент, то есть до полного охлаждения раствора, и протекала медленно, так же последовательно, как и самое охлаждение, так что с помощью такого приема я всякий раз получал красивейшие кристаллы».<sup>33</sup>

Из приведенного отрывка выясняется, что способ, найденный Т. Ловицем, является методом затравки, широко применяемым всеми современными специалистами, выращивающими в лабораторных условиях кристаллы из растворов. Этот метод является сейчас настолько обыденным и общепринятым, что большинство работников, применяющих его, и не подозревает о том, что он впервые был предложен петербургским академиком.

Следует также подчеркнуть, что Т. Ловиц осуществлял выращивание кристаллов при повышенной температуре и предельно малых пересыщениях. С помощью изобретенного им метода ему удалось получить прекрасные кристаллы хлористого бария, сегнетовой соли, уксуснокислого аммония, хлористого, азотно-кислого и сернокислого магния, хлорного железа и др. Он подчеркивал, что им были получены «красивейшие кристаллы» даже для таких веществ, которые до него никем не кристаллизовались (уксусная и серная кислоты, едкий натр). Открыв метод затравки, Т. Ловиц всесторонне изучил его. При этом напрашивался вопрос:

---

<sup>32</sup> В другом варианте этой же статьи отмеченная мысль сформулирована еще более ярко и образно: «Мне показалось, что все находящиеся в растворе частички спорят из-за первенства отделения от воды и что та часть соли, которой это удастся, напоминает того полководца, который подает знак следовать за собой» (см.: П. И. В а л ь с н. Наука и жизнь, ч. 2, стр. 58).

<sup>33</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 213—214.

нельзя ли в качестве затравки использовать также кристаллы других солей?

Ряд тщательных опытов привел ученого к следующей формулировке «общего свойства всех соляных растворов»: «Все они могут быть побуждены к своевременному образованию кристаллов исключительно с помощью однородных солей».<sup>34</sup>

Мало того, при проведении своих опытов Т. Ловиц обнаружил нечто вроде «отталкивающей силы» между разнородными солями: «Находящиеся в растворе соляные частицы, объединяясь в кристаллы, как бы убегают от брошенного в раствор чужеродного кристалла».<sup>35</sup>

Стремясь применить свои открытия на практике, Т. Ловиц решил использовать вышеупомянутую «отталкивающую силу» для отделения друг от друга солей, находящихся в общем растворе. Эта попытка увенчалась полным успехом: «Я научился в растворе, содержащем две различные соли, по моему желанию любую из двух солей превращать в кристаллы, оставляя другую нетронутой в растворе».<sup>36</sup> Однако ученый предупреждает о ряде трудностей, встречающихся при такой операции, и указывает, что соли должны быть смешаны лишь в определенных количествах.

Далее Т. Ловиц описывает опыт, в результате которого из общего раствора селитры и глауберовой соли, разлитого по двум сосудам, с помощью соответственных затравок были получены чистые кристаллы селитры и глауберовой соли. «Этот опыт может на первый взгляд, — заканчивает он свое описание, — показаться больше развлекательным, чем полезным. Однако если ставится вопрос об отделении друг от друга двух смешанных в растворе солей, что нередко приходится делать при химических работах, нужно полагать, этот способ может оказать немалую услугу».<sup>37</sup> Далее Т. Ловиц указывает на то, что его способ может быть с особой пользой применен для разделения солей, «которые очень мало различаются по своей растворимости, или если обе они кристаллизуются охлаждением, или, наконец, образуют кристаллы почти одинаковой формы».<sup>38</sup> Такие соли при кристаллизации выпадают вместе и с трудом отделяются друг от друга.

Мы подробно остановились на классической работе Т. Ловица «Изложение новых наблюдений над кристаллизацией солей». Приведенные достаточно большие цитаты и обзор всего содержания работы показывают, какой вклад в экспериментальную кристаллографию она представляла. Одной этой работы было бы вполне достаточно для того, чтобы поставить Т. Ловица в ряд наиболее выдающихся кристаллографов XVIII в.

---

<sup>34</sup> Там же, стр. 216.

<sup>35</sup> Там же, стр. 217.

<sup>36</sup> Там же.

<sup>37</sup> Там же, стр. 218—219.

<sup>38</sup> Там же, стр. 219.

К разобранной выше статье тесно примыкает вторая, являющаяся как бы ее непосредственным продолжением. Эта статья, «Опыт изъяснения различных явлений, которые бывают во время кристаллообразования солей», интересна для нас и тем, что она была опубликована на русском языке в «Технологическом журнале» в 1805 г.

В самом ее начале Т. Ловиц рассказывает о том, с какой любовью и увлечением проводились им опыты по кристаллизации: «Образование кристаллов есть неоспоримо самое привлекательное и удивительное, но притом доселе еще неизъяснимое действие природы. . . С давнего времени для меня было самым приятнейшим упражнением делать наблюдения над кристаллообразованием солей».<sup>39</sup>

Ученый напоминает, что «образование кристаллов основывается на химическом притяжении однородных частиц растворенного в какой-либо жидкости и к притятию кристаллического вида способного тела».<sup>40</sup> Однако только одним этим еще нельзя объяснить всех особенностей процессов кристаллизации. Целый ряд обстоятельств, по его мнению, остается без объяснения. Так, например, неясно, почему из растворов выпадают отдельные, правильно ограниченные тела — кристаллы, а не получается единая гладкая корка на дне сосуда. Непонятно, почему пылинки и посторонние тела, плавающие в растворе, не захватываются кристаллами. Требуется разъяснения, почему две соли, растворенные вместе, выпадают из раствора, образуют отдельные, а не смешанные кристаллы обеих солей. Возникает также вопрос: отчего в кристаллах бывают пустоты, заполненные жидкостью?

Все эти вопросы Т. Ловиц пытается объяснить с помощью открытых им концентрационных потоков. Описание этого явления в рассматриваемой статье содержит ряд новых деталей: «При растворении солей, к кристаллообразованию способных, с самого начала и до окончания осаждения в кристаллы всегда заметно бывает от образующихся кристаллов вверх стремящееся движение. Сии простым глазом видимые, тонкостию нити подобные струи оказываются возле самых кристаллов и от оных поднимаются с нарочитою скоростью вверх по отвесной черте; но в некотором отдалении от кристаллов извиваются оне змейкою и, наконец, достигая до поверхности, переплетаются взаимно».<sup>41</sup>

Кажется, более тонко, точно и образно описать концентрационные потоки невозможно даже и сейчас, когда имеются многочисленные фотографии и точные изображения этого явления! Исходя из явления концентрационных потоков, Т. Ловиц и стремится объяснить поразившие его детали процесса кристаллооб-

---

<sup>39</sup> Там же, стр. 222—223.

<sup>40</sup> Там же, стр. 222.

<sup>41</sup> Там же, стр. 223.

разования. Ход мыслей ученого основывается на следующих моментах. До начала кристаллизации в растворе имеет место совершенное равновесие. Как только начинается кристаллизация, это равновесие разрушается: «Когда в том месте, в котором соляные частицы соединяются, растворяющее средство, отделяясь от оных, сделается сравнительно легче, то оно и принуждено бывает уступить место стремящемуся туда со всех сторон гораздо тяжелейшему и еще насыщенному щелоку для такового же отделения соляных частей на образовавшийся соляной зародыш и подняться вверх. Отчего в жидкости вокруг образующегося кристалла дотоле необходимо должно происходить притекающее и утекающее непрерывное стремление, пока вся она жидкость не изтощится до такой степени, что притягательная сила в оставшихся еще в ней соляных частицах перестанет совершенно действовать».<sup>42</sup> Этим Т. Ловиц и объясняет образование в растворе отдельных кристаллов, а не сплошной корки: «Растворенные соляные частицы посредством выше помянутых со всех сторон притечений поневоле навлекаются на означенные им с первым началом кристаллообразования места».<sup>43</sup> Стремление соляных частиц из раствора к образующемуся кристаллу ученый объясняет тем, что еще до присоединения к кристаллу они «приемлют в рассуждении строения своего такое единообразное между собою направление или положение, которое одно может способствовать к образованию их в правильные тела».<sup>44</sup>

Стремясь объяснить читателю как можно нагляднее свою мысль, Т. Ловиц приводит «нижеследующее, чувствами постигаемое сравнение»: «Если на стоящую, нисколько не зыблущуюся воду рассыпать горсть легких продолговатых тел, например соломин, то оне на поверхности воды останутся без перемены, в том же самом непорядочном между собою положении, в каком оне на оную упали. Но как скоро вода сия примет правильное течение, то и все на ней плавающие тела немедленно воспримут стремление воды сообразное, совершенно равноотстоятельное, параллельное между собою положение».<sup>45</sup> Само собой разумеется, что приведенное сравнение с современной точки зрения является лишь механистическим уподоблением. Однако, как правильно отмечает в примечании Н. А. Фигуровский, «в науке того времени такого рода объяснения — вполне обычное явление».<sup>46</sup>

Действием концентрационных потоков Т. Ловиц объясняет и то, что посторонние плавающие в растворе частицы обычно не захватываются растущим кристаллом. Движением потоков они привлекаются к кристаллу, однако «стремящееся вверх течение

---

<sup>42</sup> Там же.

<sup>43</sup> Там же, стр. 224.

<sup>44</sup> Там же.

<sup>45</sup> Там же.

<sup>46</sup> Там же, стр. 547.

немедленно уносит их с собою». В результате ученый приходит к следующему выводу: «Только те частицы могут соединяться с нарастающим кристаллом, которые к тому нудятся законом притяжения».<sup>47</sup>

О том, что здесь идет речь не просто о силе тяжести, свидетельствуют следующие строки: «Правда, что нередко находят разнородные тела в кристаллах совершенно заключенными; но сие происходит единственно от того, что увлекающее стремление не имело довольно сил поправшиеся случайно на образующиеся кристаллы посторонние тела, по причине большей их тяжести, унести обратно с собою».<sup>48</sup> Далее в качестве примера кристаллов с посторонними включениями упоминаются знаменитые кристаллы кальцита, пропитанного песком, из Фонтенебло.

Из этого видно, что в своем истолковании процесса кристаллизации Т. Ловиц стремится выявить самую первопричину этого явления. Дальше он прямо говорит о «притягательной силе» кристаллов. Действием этой силы объясняет он то, почему разнородные соли из одного общего раствора кристаллизуются каждая по отдельности, в виде свойственных им характерных форм: «Притягательная сила определяет, что... должно и что не должно с ним (кристаллом, — *И. Ш.*) соединяться; причем все разнородное уносится увлекательным стремлением... отделяется просто механически все разнородное, над чем притягательная сила соединяющихся в кристаллы частиц не имеет никакого действия».<sup>49</sup>

С действием концентрационных потоков Т. Ловиц связывает и образование трубчатых, пустотелых внутри кристаллов. Как отмечает Т. Ловиц, «кристалл нарастает только извне в окружающей и высоте», в результате того, что «в том месте, где вышеупомянутое течение непосредственно стремится от кристаллов вверх, при первом начале не может никакой быть осадки соляных частей».<sup>50</sup> Поэтому «должна необходимо во внутренности кристалла остаться пустота или полость, наподобие обращенного конуса или пирамиды, и от обращенного его вверх основания примет уклоняющее стремление равномерно трубчатый вид».<sup>51</sup>

Следует отметить, что на образование трубчатых кристаллов в настоящее время обращается особое внимание, так как в природе нередко формируются кристаллы минералов в виде трубок или футляров.<sup>52</sup> Т. Ловиц одним из первых отметил трубчатые кристаллические формы и дал первое остроумное истолкование их

<sup>47</sup> Там же, стр. 225.

<sup>48</sup> Там же.

<sup>49</sup> Там же, стр. 225—226.

<sup>50</sup> Там же, стр. 226.

<sup>51</sup> Там же.

<sup>52</sup> В. Д. Н и к и т и н. Особенности процессов формирования минералов при метасоматических явлениях. Сб. «Кристаллография», вып. 4, Изд. Ленингр. гос. ун-в., Л., 1955, стр. 47—68.

образования.<sup>53</sup> В конце статьи он подчеркнул, что правильные, неискаженные формы кристаллов могут получиться лишь тогда, когда кристаллы находятся на достаточном расстоянии друг от друга и не мешают друг другу в росте.

Заканчивая обзор этой небольшой, но в высшей степени интересной статьи, нельзя не высказать уверенности в том, что в будущих хрестоматиях по кристаллографии (потребность в таких книгах уже давно назрела) она займет видное место среди первых классических трудов, посвященных кристаллогенезису.

В том же «Технологическом журнале» увидела свет и другая замечательная статья Т. Ловица — «Показание нового способа испытывать соли», напечатанная в 1804 г., но доложенная в Академии еще в 1798 г. Впервые на эту статью обратили внимание Г. Г. Леммлейн и Е. В. Цехновицер, указавшие на приоритет Т. Ловица в деле открытия микрохимического анализа.<sup>54</sup>

Рассмотрим вкратце содержание этой работы. Начинается она с описания «соляных налетов» — «кристалловидных, либо дендритических изображений», подобных образующимся «при замерзании оконных стекол».<sup>55</sup> Далее ученый переходит к вопросу о практическом их использовании: «Вскоре я пришел, к немалому моему удовольствию, что весьма многие роды солей несравненно бывают единообразнее и постояннее в виде налета их на плоское стекло, нежели в виде правильных кристаллов».<sup>56</sup>

В связи с этим «химик, приобретший некоторую в сем предмете опытность и применивший к налету каждой соли, гораздо точнее и скорее может впоследствии увериться в качестве предложенной ему для испытания соли чрез легкое произведение налета оной, нежели чрез приведение ее в правильные кристаллы, которое по большей части не столько определяет род соли и гораздо продолжительнее и труднее, а нередко бывает и неудачливо».<sup>57</sup> Особенно подчеркивается в статье то, что для таких исследований нужны лишь незначительные количества соли («не более нужно соли, как один гран или даже и десятая доля одного»).

Поэтому, согласно Т. Ловицу, «предварительным приготовлением налета исследуемой соли доставляется великое облегчение для самого химического испытания».<sup>58</sup> Далее на примере хлороплатината натрия ученый показывает эффективность изобретенного им нового способа исследования солей.

---

<sup>53</sup> П. С. В а д и л о. Этюды по минералогической кристаллографии. Минералог. сборник Львовск. геолог. общ., 1950, № 4, стр. 40—43.

<sup>54</sup> Г. Г. Л е м м л е й н и Е. В. Ц е х н о в и ц е р. К истории возникновения микрохимического анализа. Труды Инст. истории науки и техники, вып. 4, 1934, стр. 365.

<sup>55</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 273.

<sup>56</sup> Там же, стр. 274.

<sup>57</sup> Там же.

<sup>58</sup> Там же.

В результате он приходит к заключению о необходимости всемерно развивать свой метод: «Все вышесказанное, так как и удовольствие, ощущаемое при рассматривании большой части соляных налетов, особливо посредством сложного микроскопа, побуждало меня к тому, чтоб приготовить по возможности полное собрание оных из всех сим средством обработанных солей и представлять мало-помалу императорской Академии наук. Исполнение сего хотя несколько трудного, но при том весьма приятного предприятия почитаю я тем паче нужным, что некоторые из помянутых полезных испытаний, как то легко видно, тогда только быть могут, когда химик снабден будет столь полным собранием таковых налетов, что оно сможет служить ему в подобных исследованиях для сравнений».<sup>59</sup>

Пользуясь соляными налетами, Т. Ловиц, помимо определения солей, предполагал исследовать ряд интересных кристаллохимических проблем. Так, например, он хотел сравнить налеты солей одной и той же кислоты при различных основаниях и одного основания с различными кислотами: «Сие, может быть, некоторым образом изъяснит нам, какое имеют влияние на кристаллообразование как кислоты, так и различные основания солей».<sup>60</sup>

В заключение Т. Ловиц делает оговорку, что хотя им и отмечалось «удивительное единообразие» солей, однако «во многих солях сие единообразие бывает только тогда, когда в приготовлении из них налетов наблюдаются каждый раз совершенно одинаковые обстоятельства; напротив того, часто случается, что одна и та же соль при различных приемах в произведении налета подвергается нарочитым в образовании оного изменениям».<sup>61</sup>

Для того чтобы получить однообразные результаты, Т. Ловиц предлагает для каждой соли изготовлять четыре налета: при выпаривании кипящего раствора, при высыхании холодного насыщенного раствора, при образовании весьма тонкого слоя (на отвесно поставленной стеклянной пластинке) и при выпаривании насыщенного раствора перед огнем.

К сожалению, ему не удалось осуществить своих планов по изготовлению налетов многочисленных солей. Из статьи Г. Г. Леммлейна и Е. В. Цехновицера мы узнаем, что на заседании академической конференции 26 февраля 1798 г. он продемонстрировал первые 85 препаратов и таблицы зарисовок под микроскопом. Статья о новом методе появилась в 1804 г., в год смерти ученого. Г. Г. Леммлейну и Е. В. Цехновицеру посчастливилось обнаружить несколько зарисовок соляных налетов, сохранившихся в Архиве Академии наук (рис. 15).<sup>62</sup>

---

<sup>59</sup> Там же, стр. 277.

<sup>60</sup> Там же.

<sup>61</sup> Там же, стр. 278.

<sup>62</sup> Недавно Н. М. Раскин опубликовал целый ряд найденных им аналогичных зарисовок. См.: Рукописные материалы химиков XVIII в. в Архиве



Разбор статьи Т. Ловица не оставляет сомнения в том, что им за 90 лет до общепризнанных основателей микрохимического анализа — К. Гаусгофера, К. Клемента и А. Ренарда, Г. Беренса — были заложены основы этого анализа. На примере описанного им хода исследования хлороплатината натрия Г. Г. Леммлейн и Е. В. Цехновицер убедительно показали, что в своих аналитических приемах Т. Ловиц был очень близок к современным приемам микрохимии. В своей работе он широко пользовался микроскопом. Вместе с тем «он слишком большое значение отводил форме соляных налетов — скелетным формам роста кристаллов, полученным из насыщенных растворов высыханием на стекле».<sup>63</sup>

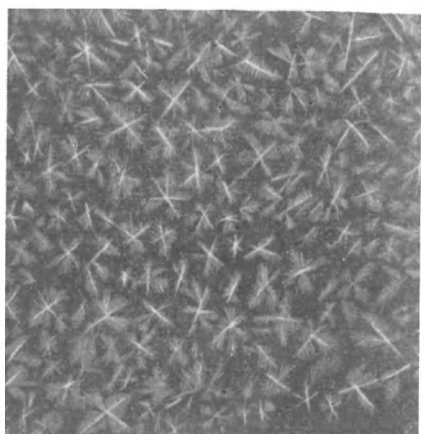


Рис. 15. Соляные налеты, по Т. Ловицу.

На самом деле скелетные формы соляных налетов — «сии нежные кристаллообразования», по характеристике самого Т. Ловица, — являются столь чувствительными даже к малейшим колебаниям в условиях образования, что трудно ожидать постоянного появления одних и тех же форм их развития. Отчасти этот упрек относится и к современному микрохимическому анализу, который основывается преимущественно на идентификации веществ по форме выпадающих кристаллов.

Последняя же зависит не только

от внутренних факторов состава и строения, но и от внешних условий кристаллизации (в особенности от степени пересыщения раствора, наличия примесей и др.). В связи с этим в настоящее время предъявляется законное требование дополнять данные микрохимического анализа точными цифрами кристаллооптических констант.<sup>64</sup>

Академии наук СССР. Составитель Н. М. Раскин. Труды Архива АН СССР, вып. 15, изд. АН СССР, М.—Л., 1957.

<sup>63</sup> Г. Г. Леммлейн и Е. В. Цехновицер. К истории возникновения микрохимического анализа, стр. 367.

<sup>64</sup> О. М. Аншелес и Т. Н. Буракова. Микрохимический анализ на основе кристаллооптики. Л., 1948.

Из сказанного видно, что Т. Ловица нельзя называть прямым предшественником Е. С. Федорова на поприще создания кристаллохимического анализа. Е. С. Федоров, исходя из внешних форм кристаллов, положил в основу своего метода угловые константы, измеренные на гониометре с точностью до минут, тогда как Т. Ловиц не шел дальше визуальных уподоблений. Подчеркнем еще раз, что метод Т. Ловица не отличается существенно от современных приемов микрохимии в том упрощенном виде, как ими обычно пользуются химики, не учитывающие оптических или геометрических констант вещества. Однако в отличие от современных микрохимиков Т. Ловиц хотя и пользовался «сложным микроскопом», но чаще всего ограничивался макроскопическими наблюдениями.<sup>65</sup>

Приведенный выше обзор главнейших работ Т. Ловица по кристаллогенезису далеко не исчерпывает всех его достижений в этой области.

Уже после смерти ученого появилось краткое сообщение «О особенной кристаллизации кисловатой сернопоташной соли» (1807 г.), описывающее чрезвычайно эффектную дендритную форму роста кислого сернокислого калия.<sup>66</sup>

В «Указателе императорского Московского университета» за 1826 г. читаем, что 4-е отделение химического кабинета «содержит два собрания различных форм кристаллов, искуснейшим образом сделанных из воска знаменитым академиком Товием Ловицем. Одно из собраний имеет 288, а другое 300 форм кристаллов». Подобные же модели из черного воска хранятся и в Академии наук (рис. 16). В них Т. Ловиц суммировал свои многочисленные наблюдения над кристаллическими многогранниками исследованных солей.

Знакомство с работами Т. Ловица показывает, как высоко стояла у нас в конце XVIII в. химическая кристаллография и какие крупные достижения в этой области были получены в скромных лабораториях Петербургской Главной аптеки и Академии наук.<sup>67</sup> Многие сделанные здесь открытия настолько опере-

---

<sup>65</sup> В статье Н. А. Фигуровского и В. Г. Борисовой «Качественный анализ фармацевтических препаратов методом кристаллических налетов» (Аптечное дело, 1957, № 5) делается интересная попытка воскресить метод Т. Ловица.

<sup>66</sup> Т. Е. Л о в и ц. Избранные труды по химии и химической технологии, стр. 229—231.

<sup>67</sup> Важно отметить, что Т. Ловиц был отнюдь не единственным в то время русским исследователем, углубленно разрабатывавшим проблемы кристаллогенезиса и химической кристаллографии. Из ряда талантливых химиков и минералогов той эпохи необходимо выделить вице-президента Берг-Коллегии А. А. Мусина-Пушкина (1760—1805), работы которого были тесно связаны с творчеством Т. Ловица. Им впервые были получены некоторые хромовые соли, в том числе и хромовые квасцы (элемент хром открыл в 1797 г. Вокэлэн «в красной сибирской свинцовой руде» — крокоите). Все эти соли были тщательно просмотрены под микроскопом. Исследуя растворы хромовых солей, А. А. Мусин-Пушкин изучал изменение их окраски в за-

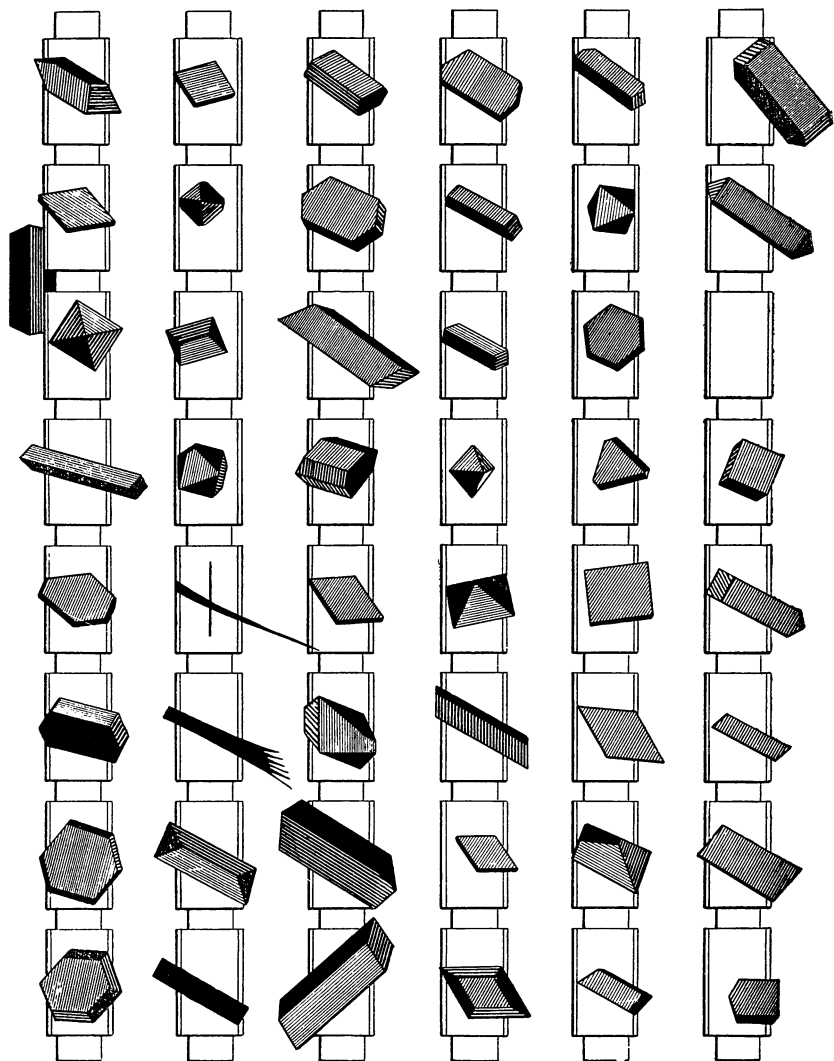


Рис. 16. Коллекция кристаллографических моделей из воска, изготовленных Т. Ловидом.

дили науку своего времени, что в течение целого века оставались совершенно непонятыми и забытыми и частично были заново переоткрыты позднейшими учеными (вспомним явление концентрационных потоков, процессы переохлаждения, микрохимический анализ). Честь этих открытий, как было показано выше, всецело принадлежит Т. Ловицу, имя которого должно быть поставлено в один ряд с наиболее выдающимися именами в истории кристаллографии.

---

висимости от концентрации. Впервые получил он две модификации фосфора — бесцветную и фиолетовую. Им оставлены также работы о способах кристаллизации благородных металлов, о ковкости платины и т. д. См.: И. И. Ск о л ь д с к и й. Вице-президент Берг-Коллегии Аполлос Мусин-Пушкин. Природа. 1948, № 3, стр. 77—80.

---

## V. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ МИНЕРАЛОВ В РУССКОЙ НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЕ XVIII в.

Развитие горной промышленности в России XVIII в., а также деятельность знаменитых академических экспедиций обусловили богатые сборы минералов нашей страны. Само собой разумеется, что в этот материал входили и многочисленные образцы кристаллических образований.

Передовые ученые той эпохи ясно сознавали, что изучение и точное определение таких образований в качестве характерных диагностических признаков полезных ископаемых имеет большое практическое значение. Однако исследование кристаллов наталкивалось на целый ряд препятствий. Слишком мало было еще для этого твердо установленных фактических данных и открытых обобщающих закономерностей. Полностью отсутствовала методика исследования кристаллических форм. В лучшем случае при описании минералов ученые ограничивались эпитетами, характеризующими общий облик кристаллических многогранников («столбчатый», «пирамидальный», «кубический» и т. п.). В высших учебных заведениях того времени — Петербургском академическом университете, Московском университете и Петербургском горном училище (нынешнем Ленинградском горном институте) — кристаллография затрагивалась лишь очень бегло при прохождении курсов натуральной истории вообще и собственно минералогии. О том кристаллографическом материале, который могли почерпнуть из этих курсов учащиеся, можно судить по старейшим учебникам минералогии на русском языке.

Первый из них, увидевший свет в 1763 г., представляет собой перевод книги известного шведского минералога и химика И. Г. Валлерия (1709—1785) «Минералогия, или Царство минералов».<sup>1</sup> Кристаллографические сведения, приводящиеся в этом

<sup>1</sup> J. G. Wallerius. Mineralogia eller Mineral-Riket. Stockholm, 1747. Полное название русского перевода: «Минералогия, или Описание всякого рода руд и ископаемых из земли вещей, сочиненные Иоганном Готшалком Валлерием, Королевской Шведской Академии в Упсале философии и медицины доктором, а с немецкого на российский язык переведенное действительным статским советником Берг-Коллегии президентом и Монетной канцелярии главным судьей Иваном Шлаттером. В Санктпетербурге при императорской Академии наук, 1763 г.».

руководстве, ограничиваются словесными характеристиками кристаллических образований минерального мира. Нередко такие характеристики с современной точки зрения грешат недостаточной строгостью и точностью. Так, например, исландский шпат кристаллизуется, по И. Г. Валлерию, в «остроконечных кубиках», пирит описывается как «шестиугольный кубический марказит». В качестве самостоятельных разновидностей описываются кристаллы, различающиеся лишь своим ограничением. Ниже приводится цитата из этой книги, касающаяся горного хрусталя и иллюстрирующая сказанное: «Горный хрусталь есть чистый, белый и никакого цвета не имеющий камень, который представляет шестиугольную фигуру. К оному причисляются:

«1. Горный хрусталь с одним острым кончиком. Состоит из шестиугольной призмы, какую фигура 10 (рис. 17, — *И. III.*) под литерами *abcd* представляет, коей один конец, литерами *aeb* означенный, есть также шестиугольный, а другим концом, *cd*, хрусталь по большей части утверждён в кварце, так что его совсем видеть не можно.

«2. С обеих сторон острый хрусталь. Состоит также из шестиугольной призмы, под фигурой 11 (рис. 17, — *И. III.*) литерами *abcd* означенный, которого оба острые конца или пирамиды суть о шести сторонах.

«3. Пирамидальный хрусталь. Составляется из двух шестисторонних пирамид, как под фигуру 12 (рис. 17, — *И. III.*) представлен.

«4. Внутри пустые хрустали. Имеют внутри пустоту, которая всегда шестисторонняя бывает.

«**П р и м е ч а н и е.** Неизвѣстно, отчего такая шестиугольная пустота делается, разве положить так, что конец другого хрусталя в оный включен был, вокруг которого другие хрустали выросли, и потом тот конец каким-нибудь случаем выпал».<sup>2</sup>

Любопытные высказывания И. Г. Валлерия, касающиеся кристаллизации минералов, находятся в «Примечаниях о хрусталях и драгоценных камнях вообще». Приведем несколько цитат из этих примечаний, дающих понятие о теоретических представлениях об образовании кристаллов: «Примечено, что во многих хрусталях и драгоценных камнях включены бывают разные посторонние вещи, как мох, волосы, хрящ и тому подобное; из чего заключить должно, что драгоценные камни и хрустали произошли и ежедневно происходят от окаменевшей материи, которая должна быть плавкой. Ибо иначе статья бы нельзя было, чтобы твердое тело в другом таком же заключалось, если бы одно из них пловущее не было, которое при течении своем около другого тела, облившись и таким образом загустев и затвердев, оное

---

<sup>2</sup> И. Г. В а л л е р и й. Минералогия, или Царство минералов. СПб., 1763, стр. 167—168.

в себе заключило. Сие доказывается опытом, ежели хрустали, смешав вдвое против их весом с солью и винным камнем, вместе сплавлены будут, то загустевший сок делается»;<sup>3</sup> «Способ, коим хрустали и драгоценные камни из пловущей материи рождаются,

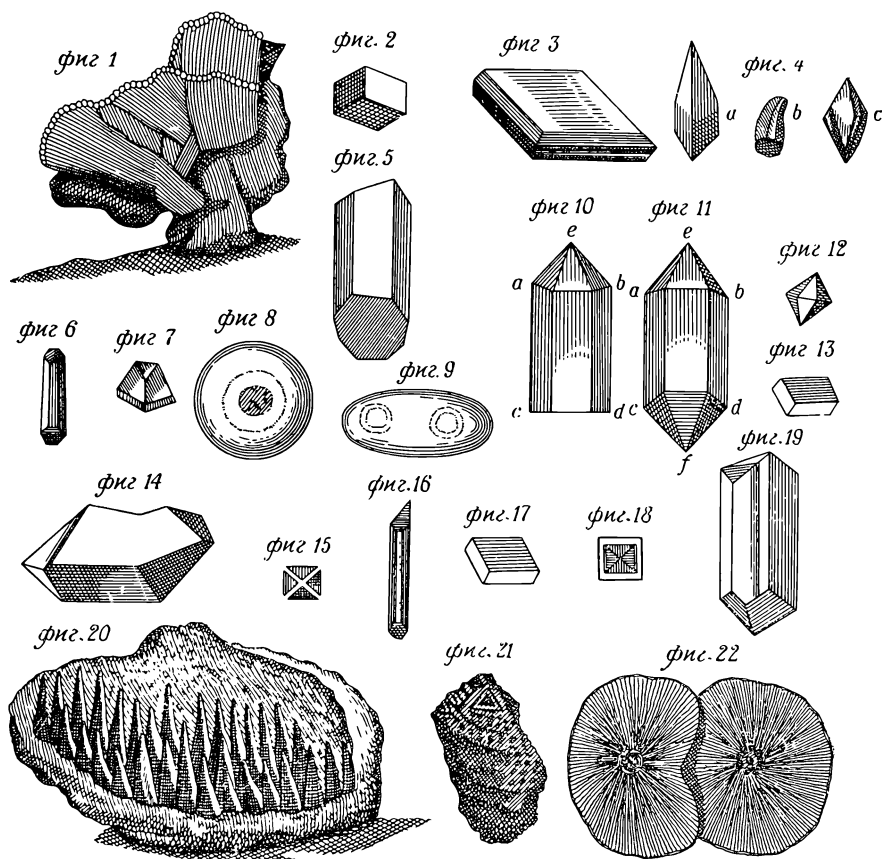


Рис. 17. Таблица с изображениями минералов из книги И. Г. Валлерия «Минералогия».

без сомнения, состоит в кристаллизации, или оные твердеют наподобие соли, которая малыми кусками и хрусталами садится».<sup>4</sup>

Особенно подробно останавливался И. Г. Валлерий на вопросе: «могут ли хрустали и драгоценные камни, в рассуждении разной их фигуры, зависеть от некоторых солей, на которые они фигурируют своею походят?».<sup>5</sup> Напомним, что, согласно К. Линнею, кристал-

<sup>3</sup> Там же, стр. 168.

<sup>4</sup> Там же, стр. 188.

<sup>5</sup> Там же.

лическая форма минерала всегда образуется за счет присутствия в нем некоторой соли. В частности, форма горного хрусталя, по его мнению, порождалась наличием в этом камне калиевой селитры (выше уже неоднократно упоминалось о сходстве кристаллов кварца и селитры). И. Г. Валлерий резко критиковал это мнение: «Ежели кто все каменные хрустали химическими опытами исследовать захочет, тот найдет, что горный хрусталь есть острый и кубический, только селитреной соли нимало в нем не содержится. . . Напоследок и то примечать должно, что соль, на горный хрусталь похожая (сие разумеется о селитре), поныне никогда под землей не нахаживалась; почему может ли стать, чтобы от наружной, сверху земли находящейся соли похожий на оную горный хрусталь составился».<sup>6</sup>

В отличие от К. Линнея И. Г. Валлерий выдвигал гипотезу о зависимости кристаллической формы от входящих в состав кристалла металлов. Вот какие аргументы приводил он в пользу своего предположения: «Ежели селитренный спирт (т. е. азотную кислоту, — *И. III.*) с некоторой частью травяной алкалической соли (т. е. хлористого калия, — *И. III.*) смешается, то произойдет из того шестиугольная, призматической фигуры соль, или так называемая селитра; а когда тот же спирт смешан будет с поваренной солью или минеральной алкалической материей, то соль из той смеси кубической фигурой составитя. Из сего довольно явствует, что алкалическая земля есть точную причину разных фигур, какие хрустали имеют. Равным образом, когда серебро в крепкой водке распустится, то хрустали пластинками будут. Железо, распущенное в той же водке, производит неровные четвероугольные хрустали и так далее; почему не должно ли металлическую материю почитать за прямую причину различия хрусталей? Ибо крепкая водка не переменялась.

«Что различие хрусталей от металлов, а не от солей зависит, оное более еще доказать можно тем, что один и тот же металл, в разных крепких спиртах (т. е. кислотах, — *И. III.*) распущенный, фигуру свою теряет, а не по фигуре соли в другой вид переменяется».<sup>7</sup>

Такие высказывания являются значительным шагом вперед по сравнению с фантастической теорией К. Линнея. И в настоящее время существует мнение о влиянии металлов на форму кристаллов, хотя и в совершенно иной форме. Так, например, акад. Н. В. Белов считает, что габитусные формы силикатов зависят главным образом от распределения в их структурах катионов.

Существенный интерес представляет находящееся в конце книги И. Г. Валлерия «Прибавление о минералах, искусством произведенных». Следует отметить, что в приведенном здесь до-

<sup>6</sup> Там же, стр. 191—192.

<sup>7</sup> Там же, стр. 189—190.



статочно обширном списке минералов находятся и такие «каменные препараты», как стекло, фарфор, флюсы, шлак и т. п. Однако имеются здесь и искусственные минералы в полном смысле этого слова (гипс, «искусством сделанный мрамор», «деланная поваренная соль» и проч.). Во всяком случае список «деланных минералов» свидетельствует о достаточно большом опыте в области кристаллизации, главным образом солей и металлических сплавов. Представление о том, какие именно кристаллические формы должны были знать студенты того времени, дает гравированная таблица, приложенная к книге И. Г. Валлерия и воспроизводимая нами целиком (рис. 17). Отметим, что перевод книги И. Г. Валлерия вышел в свет в тот же год, что и «Первые основания металлургии» М. В. Ломоносова, — в 1763 г. Последние, как указывалось выше, также содержат достаточно большой материал по минералогии. Однако в отличие от преимущественно описательного характера книги И. Г. Валлерия в ломоносовских «Основаниях» обращалось особое внимание на генезис минералов и динамику минералообразующих процессов. Кроме того, описывая кристаллы минералов, М. В. Ломоносов стремился найти общие законы их внутреннего строения, подсказанные теоретическими соображениями.

В 1772 г. появился русский перевод «Минералогии» И. Г. Лемана.<sup>8</sup>

И. Г. Леман (1700—1767) — известный немецкий химик, металлург и минералог. В Россию он приехал в 1761 г. в возрасте 61 года и был назначен после М. В. Ломоносова профессором химии Академии наук. Работал он в контакте с Ф. Эпинусом, которому передал свои кристаллы турмалина для исследования их электрических свойств.

В Петербургской Академии И. Г. Леман примыкал к партии противников М. В. Ломоносова. В. И. Вернадский в статье о М. В. Ломоносове противопоставлял последнему И. Г. Лемана как типичного натуралиста-эмпирика, чуждающегося широких философских обобщений. Вместе с тем В. И. Вернадский отмечал точность, ясность и простоту его высказываний, вменяя ему в особую заслугу знакомство с химией, к которой он относился «здро-во и критически». И. Г. Леман указал на важность трещин в образовании месторождений, выделил важнейшие «горные тракты» в своем «Опыте генеральной орографии» (1762 г.) и дал первые геогностические профили (геологические разрезы). В письме к Ж. Бюффону от 1766 г. им впервые подробно была описана красная свинцовая руда (крокоит) из Березовска. Русский перевод «Ми-

---

<sup>8</sup> Перевод вышел под названием: «Иоганна Готлоба Лемана, королевского прусского горного советника, императорской Академии наук химии профессора и члена минералогии. Переведена Андреем Нартовым, статским советником, членом Берг-Коллегии Монетного департамента, Вольного экономического общества и Лейпцигского ученого собрания свободных наук, в Санктпетербурге, 1772 г.».

нералогии» И. Г. Лемана увидел свет уже после смерти ее автора. Из этого небольшого курса видно, что в противоположность М. В. Ломоносову И. Г. Леман не придавал большого значения кристаллической форме. Вот что он писал по этому поводу: «Все минералы суть неопределенного вида, исключая солей, окаменелостей и друз как из руд, так и из других камней, коих определенный вид бывает случайный». <sup>9</sup> Ясно, что, придерживаясь такого взгляда, И. Г. Леман лишь очень бегло останавливался на форме кристаллических многогранников. Приведем в качестве иллюстрации описание кристаллов алмаза: «Вид его, каким его в естестве находят, есть то осьмиугольный, то круглый, кубический или плоский». <sup>10</sup> Эпитет «осьмиугольный» в нашем понимании отвечает, по-видимому, «восьмигранному», т. е. «октаэдру».

Описывая горный хрусталь, И. Г. Леман справедливо отмечал, что выделенные И. Г. Валлерием по различному огранению разновидности кварца принадлежат одному минералу: «Сюда принадлежат все шестиугольно растущие хрустали, одинокими они или друзами находятся, и поэтому считаю я [за] горный хрусталь лиловую корку, яхонтовую корку, топазовую корку, изумрудную корку и сим подобные камни, ибо в их внутренности они не что иное, как окрашенные горные хрустали. Так как и г. Валлерием описанные наружные формы кварцов не делают никакого существенного различия». <sup>11</sup> Под различными корками — «лиловой», «яхонтовой», «топазовой», «изумрудной» — И. Г. Леман, очевидно, имел в виду так называемые «рубашки» на кристаллах кварца, окрашенные в красные, голубые, зеленые и другие тона. Несмотря на краткость кристаллографических описаний, И. Г. Леманом в «Минералогии» приводились сведения о новейших открытиях в этой области. Так, например, им сообщались сведения о только что открытых тогда электрических свойствах кристаллов турмалина: «Он (турмалин, — *И. III.*) изо всех прочих таких родов драгоценных камней притягательнее и привлекает, как скоро только его нагреют, разные тела с одной стороны и отдувает от себя их с другой стороны. Свойства одного более описал и открыл г. славный профессор Епинус». <sup>12</sup>

Из краткого обзора кристаллографических данных в первых двух учебниках минералогии на русском языке видно, что авторы их еще не понимали практического значения кристаллографических форм. В последних они видели нечто совершенно случайное, не связанное с внутренним строением и составом минерала. Поэтому И. Г. Валлерий и выделял ряд разновидностей кварца, отличающихся лишь по числу и характеру развития граней.

---

<sup>9</sup> И. Г. Леман. Минералогия. СПб., 1772, стр. 7.

<sup>10</sup> Там же, стр. 41.

<sup>11</sup> Там же, стр. 84.

<sup>12</sup> Там же, стр. 83.

И. Г. Леман почти совсем не обращал внимания на формы кристаллов и ограничивался лишь самыми краткими упоминаниями о них. В отличие от И. Г. Валлерия и И. Г. Лемана М. В. Ломоносов, как уже отмечалось, сознавал характерность формы кристаллов для отдельных минералов и стремился использовать это свойство в качестве важного диагностического признака.

С течением времени кристаллография стала занимать более значительное место в курсах минералогии. Об этом красноречиво свидетельствуют вышедшие в конце XVIII и начале XIX в. известные руководства В. М. Севергина, подробный разбор которых

будет дан ниже.

Из ученых-специалистов, обращавших особое внимание на кристаллы минералов, необходимо упомянуть знаменитых академических путешественников, ревностно собиравших и описывавших наряду с прочими «натуралиями» природные кристаллические образования. Приведем в качестве примеров несколько таких описаний, взятых из знаменитого «Путешествия по разным провинциям Российской империи» П. С. Палласа (1741—1811).

Кристаллы гипса, найденные около Симбирска, П. С. Паллас описывал следующим образом: «В мелкой глине лежат гнездами

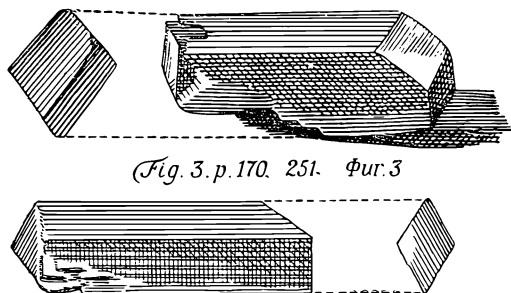
Рис. 18. Кубические кристаллы пирита, по П. Палласу.

селенитные хрустали, отчасти порознь, а отчасти вместе слившись. Но здешний селенит имеет вид шестиугольных призматических тел, у которых концы тремя неравными плоскостями наось притуплены и в существе своем слоисты. Находят часто хрустали до пяти, до шести дюймов толщиною и притом нарочито прозрачны. В кусках показывается иногда ромбоидальная фигура».<sup>13</sup> Далее следует описание илецкой соли: «Каменная соль везде очень чиста, крепка и бела, в отломе показывает четвероугольную свою фигуру, или, когда разбивают, то ломается на четвероугольные куски».<sup>14</sup> Кубики пирита с характерной штриховкой из Березовского месторождения не только подробно описаны, но и изображены на гравюре: «Вышеупомянутые кубики, различной величины в руды сыскиваемые и обыкновенно углами между собой сросшиеся, состоят всегда почти из ржавчинного, смуглого, несколько губча-

<sup>13</sup> П. С. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российской империи, ч. I. СПб., 1773, стр. 131—132.

<sup>14</sup> Там же, стр. 132.

того, но твердого вещества, так что поверхность их тверда, светла и к огню огонь производит. Сии. . . изображенные кубики (рис. 18, — *И. III.*) сами собой во всем правильный кубический, какой только себе вообразить можно, составляют вид; каждая сторона исписана параллельными чертами так, что смыкающиеся стороны имеют всегда противное поперечное, а противостоящие — равное положение. . . Мне случалось видеть некоторые, которых кора, либо часть всего кубика состояла из золотистого колчедана. а иногда сыскивают полосатые и совсем из одного состоящие».<sup>15</sup>



*(Fig. 3. p. 170. 251. Plur. 3)*

Рис. 19. Кристаллы крокоита, по П. Палласу.

Приведем также достаточно подробное описание крокоита и пироморфита: «Сверх того, сыскивают и тот достаточный красный свинцовый шпат, о коем мы горного советника г. Лемана печатное имеем сочинение и коего не токмо здесь в государстве, но и ни в каком иностранном руднике обретаемо не было. Сей разноцветный, иногда темно-красный, полупрозрачный тяжелый шпат как по кварцевым, так и по песчаным расщелинам открывается большими и малыми, короткими и долгими кристаллами: и где место свободное, то имеет он четвероугольный, призматический, с неровными тупыми двухконечиями. . . срисованный вид (рис. 19, — *И. III.*), который снят по подобию зеленого шерла после упоминаемого; он имеет иногда и таковую же точно величину, а иногда наподобие маленьких рубинов сидит в кварце в косых, коротких и неправильных пирамидах. . . Примечается также в сей жиле и нежный желтый или зеленоватый блейшпат, который представляет маленькие, продолговатые, заостренные, желтые хрустали, сии во всем отличные от самородной серы, какая временем попадает в сухарной руде; но вряд ли соберут одного столько, чтобы сделать опыт. Сия небольшая кристаллизация находится и в кварце, и в песчанике».<sup>16</sup>

<sup>15</sup> П. С. П а л л а с. Путешествие по разным местам Российского государства, ч. II, кн. 1. СПб., 1786, стр. 217.

<sup>16</sup> Там же, стр. 219—226.

Мы привели несколько примеров, в которых дана более или менее развернутая, хотя и чисто словесная характеристика кристаллов некоторых минералов. К сожалению, такие описания являются исключением. В большинстве случаев П. С. Паллас ограничивался лишь весьма скухими упоминаниями о кристаллах («двенадцатисторонние гранаты», «неправильно заостренный при конце топаз» и т. п.). Читая такие описания, надо помнить, что в то время общий уровень представлений о происхождении природных кристаллов был очень низок.

Еще М. В. Ломоносов боролся с невежественным и вредным для развития отечественного горного дела мнением, согласно которому кристаллы драгоценных камней порождаются южным солнцем: «Представляя себе то время, — писал он, — когда слоны и южных земель травы на севере важивались, не можем сомневаться, что могли произойти алмазы, яхонты и другие драгоценные камни, и могут отыскаться, как недавно серебро и золото, коего наши предки не знали» (1763 г.).<sup>17</sup>

В 1779 г. П. С. Паллас также принужден был заниматься этим вопросом. В «Проекте путешествия в Восточную Сибирь» он писал: «В старых донесениях тех людей, которые побывали на Ковыме (т. е. Колыме, — *И. Ш.*), находятся указания на то, что эта местность изобилует разнообразием прекрасных кристаллизаций и цветных камней. Существующий невежественный предрассудок, утверждающий, что северный климат не благоприятен для образования драгоценных камней, опровергается ведущейся уже у нас добычей топазов и аметистов на Мурзинке и в особенности признаками залежей прекрасных хризолитов открытых мною в группе гор, проходящих между реками Онон и Онон-Борза в Нерчинской местности. Они носят название Адунчуль. Здесь, на этой еще девственной и нетронутой почве, при постановке работ под руководством знающего человека может быть найден клад драгоценных кристаллизаций различных видов и оттенков».<sup>18</sup>

К сожалению, в подавляющем большинстве случаев ученые-путешественники, ограничиваясь краткими словесными характеристиками найденных образцов, обычно избегали рассуждений и обобщений. Остановимся на одном из таких редких рассуждений, сохранившемся в рукописном наследии известного путешественника-натуралиста, крупного химика и минералога — Кирилла (Эрика) Лаксмана (1737—1796). «Я до безумия, до мученичества влюблен в камни дикой Сибири», — писал о себе этот энтузиаст русской минералогии, открывший сибирский лазурит,grossуляр,

---

<sup>17</sup> М. В. Ломоносов, Полное собрание сочинений, т. 5, Изд. АН СССР, М.—Л., 1954, стр. 628.

<sup>18</sup> А. В. Х а б а к о в. Очерки по истории геологоразведочных знаний в России, ч. I. Изд. Моск. общ. испытателей природы, М., 1950, стр. 191.

вилуит, байкалит.<sup>19</sup> Внимательно и вдумчиво изучал он природные кристаллы минералов, однако почти ничего не опубликовывал и в лучшем случае ограничивался краткими письменными сообщениями к своим друзьям. В одном из таких писем, сохранившемся в Архиве Академии наук СССР, находится следующее любопытное высказывание о тончайших иголочках турмалина (?), находящихся внутри кварца: «Неубедительным было бы рассуждение и оно обнаружило бы очень плохое знание учения о кристаллизации, если бы мы вместе с одним крупным литологом сказали: кварц был в момент кристаллизации так необычайно мягок, что тонкие шерловые столбики (которые тогда упали вниз через почву или в результате какого-то особого разрушения) могли проникнуть в него так глубоко. Здесь, кажется, были забыты законы тяжести при падении. Очевидно, тогда была какая-то электрическая сила, которая разбрасывала во все стороны эти шерлы, подобно тому, как дикобраз разбрасывает во все стороны свои иглы, когда преследует врага».<sup>20</sup>

Следует отметить, что разгадка наличия ненарушенных тончайших иголочек рутила («стрел Амура», «волос Венеры»), актинолита и других минералов внутри горного хрусталя была дана лишь очень недавно. Причина этого заключается в чрезвычайно медленном и спокойном росте кварца, захватывавшего эти минералы. Рассуждение К. Лаксмана интересно в другом отношении: из него видно, что для объяснения природной кристаллизации им привлекалась «электрическая сила». Только сейчас можно по существу оценить это смелое предположение старинного натуралиста.

Значительно больше высказываний, имеющих непосредственное отношение к минералогической кристаллографии, находится в трудах Федора Петровича Моисеенко, даровитого специалиста-минералога второй половины XVIII в. (1754—1781). Имя этого ученого долгое время было незаслуженно забыто, что объясняется, с одной стороны, его преждевременной смертью (он умер на 27-м году жизни), а с другой — тем, что основные его труды до самого последнего времени оставались ненапечатанными. Лишь совсем недавно были найдены и увидели свет в «Трудах Архива Академии наук СССР» его работы «О тяжелом шпате», «О первоначальных горах» и др.<sup>21</sup>

Ф. П. Моисеенко воспитывался в гимназии при Петербургской Академии наук. С 1770 г. для лучших учеников старшего класса, к которым принадлежал и Ф. П. Моисеенко, было введено универ-

<sup>19</sup> Из письма К. Лаксмана П. Палласу от 18 ноября 1786 г. В кн.: П. И. В а л ь д е н. Наука и жизнь, ч. 2, Пгр., 1919, стр. 46.

<sup>20</sup> Материалы акад. К. Лаксмана. Архив АН СССР, ф. 1, оп. 2, лл. 76—77.

<sup>21</sup> Материалы Ф. П. Моисеенко в Архиве АН СССР. Составители И. И. Шафрановский и Н. М. Раскин. Труды Архива АН СССР, вып. 12, Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.

ситетское преподавание ряда естественнонаучных и математических дисциплин. Лекции по химии читались акад. К. Лаксманом, под влиянием которого он и избрал минералогию своей специальностью.

В 1774 г. Ф. П. Моисеенко был послан для завершения образования во Фрейбергскую горную академию. Здесь его руководителем по минералогии и горному делу был широко известный в то время профессор, геолог-нептунист и минералог, А. Г. Вернер (1750—1817). В истории минералогии А. Г. Вернер известен как наиболее яркий представитель словесно-описательного направления. Огромный минералогический материал, собранный к концу XVIII в. в связи с развитием горного дела и исследованиями, проводившимися путешественниками-натуралистами, требовал точного описания и систематики. А. Г. Вернер предложил классифицировать минералы на основании их внешних признаков. Искусственность этой системы признавалась и самим ее автором, который считал, что естественная минералогическая система должна базироваться на химических определениях. Однако, учитывая сложность и недостоверность таких определений в то время, А. Г. Вернер предлагал пользоваться на практике созданной им «искусственной системой». Коренной недостаток этой системы заключался в том, что она всецело основывалась на внешних признаках минералов, игнорировала их химический состав, породившую их минералогическую среду и пройденные ими процессы изменения. Особое внимание А. Г. Вернер обращал на внешний облик кристаллов (габитус), цвет, блеск, твердость и вес. Описание кристаллических обликов ограничивалось семью основными формами: столбиком, табличкой, чечевицей, пирамидой, гексаэдром, правильным пентагональным додекаэдром и икосаэдром. Все остальные кристаллические формы рассматривались как результат притупления или заострения вершин и ребер вышеперечисленных основных форм. Обзор приведенных форм показывает, что к кристаллическим объектам А. Г. Вернер подходил без учета угловых величин. Так, например, известно, что в кристаллографии невозможны правильные додекаэдры и икосаэдры. А. Г. Вернер же за таковые принял кристаллографический пентагон-додекаэдр и так называемый «минеральный икосаэдр» — комбинацию пентагон-додекаэдра с октаэдром, характерную для кристаллов пирита.

Несмотря на существенные недостатки система А. Г. Вернера сыграла в свое время положительную роль: она заставила внимательно приглядеться к минералам и тщательно изучить их характерные признаки. Как мы увидим далее, Ф. П. Моисеенко критически воспринял эту систему. Ему была ясна ограниченность вернеровской минералогии, оторванной от химии. Сознавал он и необходимость точных кристаллографических характеристик.

Вскоре после приезда за границу Ф. П. Моисеенко закончил свою первую минералогическую работу — «О тяжелом шпате» и сразу же приступил к составлению «Минералогического сочинения об оловянном камне», которое вышло в свет на немецком языке в 1779 г. В том же 1779 г. Ф. П. Моисеенко вернулся на родину и вскоре представил в Академическое собрание диссертацию на тему «Пример превращения руд в рудах серебра», получившую весьма высокую оценку. На торжественном заседании, посвященном утверждению Ф. П. Моисеенко в звании адъюнкта Академии, им было зачитано сообщение «О наилучших способах открывать и эксплуатировать рудные месторождения». В 1780 г. молодой адъюнкт представил Академическому собранию свой новый труд — «О первоначальных горах». Тогда же он принял от своего учителя акад. К. Лаксмана, уезжавшего в Сибирь, химическую лабораторию Академии и приступил к экспериментальным работам.

В 1780 г. Ф. П. Моисеенко был назначен преподавателем Горного училища в Петербурге. Когда же в 1781 г. Академии наук понадобился опытный минералог-химик для посылки в Крым с целью организации там горнопромышленных предприятий и изучения минеральных богатств, выбор пал на Ф. П. Моисеенко. В конце августа 1781 г. экспедиция выехала через Москву в Крым. Однако, прибыв в Москву, Ф. П. Моисеенко заболел и 24 сентября 1781 г. скончался.

Ф. П. Моисеенко был одним из первых русских специалистов, всецело посвятивших себя минералогии. Его уже не удовлетворяли краткие словесные характеристики минералов. Он оставил несколько сочинений монографического характера, подробно освещающих особенности изученных им минералогических образцов. Само собой разумеется, что в таких сочинениях должны были содержаться и более или менее подробные кристаллографические характеристики. Особенно много интересных в этом отношении данных содержится в монографии «О тяжелом шпате».

Ф. П. Моисеенко подробно описал морфологию кристаллов барита, а также дал детальнейшие характеристики кристаллографических комбинаций, часть которых была открыта им самим. На приложенных к этому сочинению рисунках описанные комбинации изображены в виде разверток (рис. 20). По этим рисункам и описаниям, несмотря на отсутствие каких бы то ни было цифровых данных, можно легко восстановить символы приведенных форм. В качестве характерных диагностических признаков для барита, помимо его большого удельного веса, Ф. П. Моисеенко указывал таблитчатую форму, спайность и чешуйчатые спайные осколки.

Приступая к описанию барита, ученый подчеркивал важное значение морфологии кристаллов: «Я убедился на опыте, как много в минералогии зависит от точного и ясного определения кристаллов тех ископаемых, которые встречаются в кристалличе-



ской форме. . . редко случается, чтобы ископаемые, относящиеся к разным родам, имели бы одинаковые по форме кристаллы».<sup>22</sup> Последние слова показывают, что Ф. П. Моисеенко создавал значение кристаллической формы как характерного диагностического признака. Им сформулирован, хотя и не совсем точно, закон от-

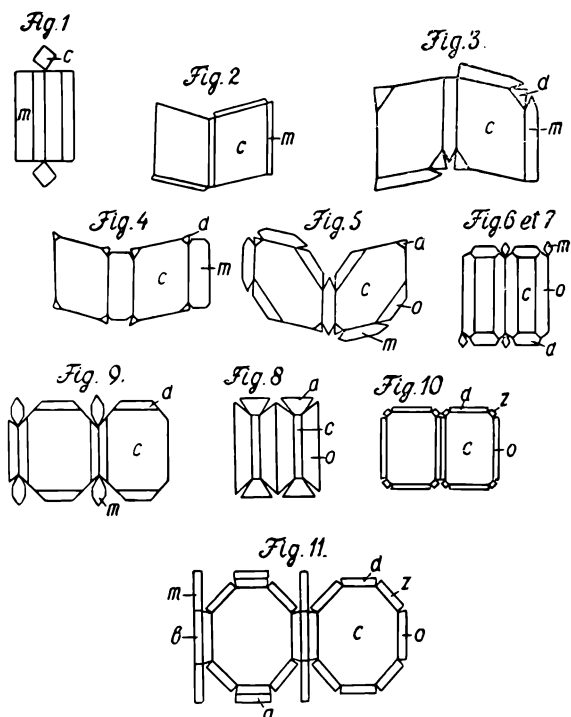


Рис. 20. Комбинации кристаллов барита в виде разверток, по Ф. П. Моисеенко.

носительного постоянства кристаллической формы для кристаллов определенного вещества.

Новая и смелая для того времени мысль о влиянии условий кристаллизации — ориентировки, температуры и химических примесей — на изменение формы кристаллов барита дана в следующих выражениях: «Иногда случается и так, что у некоторых, правда у очень маленьких [кристаллов], отсутствует какая-нибудь грань или вершина; иногда же от изобилия природы, как у цветов, появляется у них что-нибудь лишнее, что несомненно зависит лишь от места, где произошла кристаллизация, от тепла или холода и от тех материй, которыми земля тяжелого шпата.

<sup>22</sup> Там же, стр. 35—36.

растворенная какой-нибудь жидкостью, была преобразована в форму кристаллов». <sup>23</sup>

Заканчивая описание кристаллов барита, Ф. П. Моисеенко писал: «Я надеюсь, что описал здесь не только все те кристаллы нашего камня, которые были известны другим авторам-минерологам, определил их формы подробно и ясно, хотя и не вполне точно в математическом отношении, но что в моем перечислении имеются и такие, которые у других авторов обойдены молчанием». <sup>24</sup>

В приведенной цитате, помимо интересной мысли относительно новых данных, особенно замечательно высказывание о недостаточной точности описания кристаллов в математическом отношении. Оно свидетельствует о том, что ученый отчетливо сознавал несовершенство чисто словесных описаний по методу А. Г. Вернера и стремился перейти к точным математическим приемам исследования.

Важно отметить, что с помощью кристаллических форм Ф. П. Моисеенко пытался подойти к решению генетических вопросов. Вот одно из таких высказываний: «Обязаны ли, однако, металлические руды, плотные и в форме кристаллов, своим происхождением воде или огню, — я не могу сказать ничего определенного. В недрах земли встречаются ясные и очевиднейшие доказательства и свидетельства, которые делают вероятным и то и другое, но больше всего все-таки первое. . . Но, с другой стороны, в натуральном волосистом, зубчатом и тому подобном серебре разве не очевидно, что эти металлические формы руды произошли под действием подземного огня, когда удастся химическим путем, на огне пробирной печи, превратить стеклянную серебряную руду в натуральное серебро, обладающее такими же формами?». <sup>25</sup> Последняя фраза тем более интересна, что она ярко показывает значение эксперимента в области минералогической кристаллографии. Мысль эта безусловно оригинальная и смелая для того времени.

Из приведенных отрывков видно, как много можно было ожидать от Ф. П. Моисеенко в области минералогической кристаллографии. Особенно значительным является его динамический подход к кристаллам минералов, резко отличающийся от обычного статического подхода, столь характерного для XVIII в. В этом отношении он является прямым продолжателем традиций М. В. Ломоносова и отчасти своего учителя К. Лаксмана. К несчастью, преждевременная смерть не позволила развернуться этому многообещающему дарованию.

Все ученые, о которых шла речь до сих пор, были тесно связаны с Академией наук. Лишь Ф. П. Моисеенко академическую деятельность совмещал с преподаванием в Петербургском горном

<sup>23</sup> Там же, стр. 39.

<sup>24</sup> Там же.

<sup>25</sup> Там же, стр. 43—44.

училище (ныне Ленинградском горном институте). В этом же училище читал лекции по металлургии и химии выдающийся экспериментатор в области минералогии и кристаллографии Александр Матвеевич Карамышев (родился в начале 1740-х годов, умер в 1791 г.). Сперва А. М. Карамышев учился в Екатеринбургском горном училище, затем перешел в Московский университет. В 1758 г. его командировали в Швецию для «усовершенствования в науках» у К. Линнея, где он и защитил диссертацию о необходимости развития естественной истории в России.

С 1773 г. А. М. Карамышев преподавал и вел экспериментальную работу в Горном училище, где им была организована «яхонтовая литейка» для плавки драгоценных камней. О проводившихся А. М. Карамышевым экспериментах сохранились лишь весьма незначительные сведения, помещенные в качестве замечаний и дополнений к переводам некоторых минералогических сочинений. Так, например, сохранилось до сих пор поражающее известие, будто «обербергмейстер Карамышев опытом при своих лекциях доказал, что из всякого непрозрачного известн<sup>го</sup> шпата можно сей удвояющий камень произвести искусством» (известной камень обозначает здесь известняк, удвояющий камень — исландский шпат).<sup>26</sup> В своей «яхонтовой литейке» А. М. Карамышев выяснял рецептуру подделок драгоценных камней (венисы—граната, изумруда, раухтопаза и др.). Здесь же он демонстрировал «сжигание алмаза нарочитой величины». По-видимому, этот опыт имел целью доказать невозможность искусственного получения крупных алмазов из мелких путем их сплавления.<sup>27</sup>

Пересуды и кривотолки, возникшие в связи с опытами по сжиганию алмаза, описал в забавной басне «Лжец» сослуживец А. М. Карамышева по Горному училищу, известный баснописец и переводчик книг по минералогии и металлургии И. И. Хемницер (1745—1784). Приведем целиком это любопытное стихотворение:

### ЛЖЕЦ

Кто лгать привык, тот лжет в безделице и в деле,  
И лжет, душа покуда в теле.  
Ложь — рай его, блаженство, свет:  
Без лжи лгуну и жизни нет.

Я сам лжеца такого

Знал,

Который никогда не выговорит слова,  
Чтобы притом он не солгал.

---

<sup>26</sup> У. Ф. Б. Б р и к м а н. Сочинение о драгоценных камнях. СПб., 1779, стр. 44.

<sup>27</sup> Известный французский авантюрист XVIII в. Сен-Жермен славился своим «искусством» получать крупные алмазы из мелких путем сплавления. Очевидно, за алмазы им выдавались стекла.

В то время самое, как опыты те были,  
Что могут ли в огне алмазы устоять,  
В беседе некакой об этом говорили,  
И всяк по-своему об них стал толковать.  
Кто говорит: в огне алмазы исчезают,  
Что в самом деле было так.

Иные повторяют:

Из них, как из стекла, что хочешь выливают,  
И так,  
И сяк,

Об них твердят и рассуждают.  
Но что последнее неправда, знает всяк,  
Кто химии хотя лишь несколько учился.  
Лжец тот, которого я выше описал,  
Не вытерпел и тут, солгал:

«Да», — говорит, — «да, так; я сам при том случился  
(Лишь только что не побожился,  
Да, полно, он забылся),  
Как способ тот нашли,

И до того алмаз искусством довели,  
Что, как стекло, его теперь уж плавить стали,  
А эдакой алмаз мне самому казали,  
Который слишком в фунт из мелких был стоплен».  
Один в беседе той казался удивлен,  
И ложь бесстыдную с терпением внимает:

Плечами только пожимает,

Принявши на себя тот вид,

Что будто ложь его он правдою считает.  
Спустя дней несколько лжецу он говорит:  
— Как, бишь, велик алмаз тебе тогда казали,  
Который сплавляли? я, право, позабыл.  
В фунт, кажется, ты говорил?

«Так точно, в фунт», — лжец подтвердил.

— О, это ничего: теперь уж плавить стали  
Алмазы весом в целый пуд;  
А в фунтовых алмазах тут  
И счет уж потеряли.

Лжец видит, что за ложь хотят ему платить,  
Уж весу не посмел прибавить,  
И лжой алмаз побольше сплавить,  
Сказал: «Ну, так и быть:  
Фунт пуду должен уступить».

Свои интереснейшие эксперименты в области минералогии и кристаллографии А. М. Карамышев проводил всего в течение шести лет. В 1779 г. по неизвестной причине он оставил научную и педагогическую деятельность и стал сперва директором ассигнационной конторы (банка) в Иркутске, а затем перешел в Горную экспедицию Колывано-Воскресенских заводов. Имя его значится в числе провинциальных членов-корреспондентов Академии наук того времени.

Для полноты обзора нельзя не привести здесь нескольких цитат, касающихся кристаллизации минералов, из философского трактата выдающегося мыслителя-революционера А. Н. Радищева (1749—1802). В них сформулированы замечательно смелые

для того времени мысли о единстве природы. «От камни до человека, — пишет А. Н. Радищев, — явственна постепенность, благоговейного удивления достойная, явственна сия лествица веществ, древле уже познанная, на коей все роды оных един от другого столь мало, кажется, различествуют, что единого другому обратным почесть можно с уверением; лествица, на коей гранит, рубин и адамант, железо, ртуть и злато суть едиnorodны алою, тюльпану, кедру, дубу; где по чреде сии суть братия мотыльку, змие, орлу, жаворонку, овце, слону, человеку».<sup>28</sup>

Эти мысли находят свое объяснение и дальнейшее развитие в следующем отрывке: «Лествица, на коей кристаллизация и минерализация заимствуют уже силы растительной, на коей коралл, губка, мох различествуют токмо утробою, в ней же зарождаются; лествица, на коей сила растительная, расширяя в другом сложении свою энергию, переходит помалу в раздраженность, а из сея в чувствительность, где чувственница и полип содействуют; лествица, где чувствительность, расположася в чувственности, совокупляется с умственно силою; где орангутанг и пещери кажутся быть единоутробны».<sup>29</sup>

Следует подчеркнуть, что в императорской России времен Павла I необходимо было подлинно гражданское мужество для высказывания таких мыслей. Ведь А. Н. Радищев развивает здесь идеи о всеобщем единстве природы, начиная с минералов и кончая человеком.

Обзор достижений минералогической кристаллографии в русской научной литературе XVIII в. следовало бы заключить рассмотрением творчества виднейшего минералога того времени В. М. Севергина. Однако богатое минералого-кристаллографическое научное наследие этого ученого не укладывается в рамки настоящего повествования и требует детального рассмотрения в отдельном, специально посвященном ему очерке.

---

<sup>28</sup> А. Н. Р а д и щ е в. Избранные философские и общественно-политические произведения. Госполитиздат, М., 1952, стр. 379.

<sup>29</sup> Там же.

## VI. В. М. СЕВЕРГИН. СОЗДАНИЕ РУССКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ

В. М. Севергин был наиболее крупным представителем русской минералогической школы конца XVIII—начала XIX столетия. В своих трудах немало внимания он уделял кристаллам минералов. Прежде чем перейти к разбору его кристаллографических высказываний, напомним вкратце биографию и основные творческие достижения этого выдающегося ученого.<sup>1</sup>

Сын «вольного человека», музыканта, Василий Михайлович Севергин родился в 1765 г. Одиннадцати лет он поступил в академическую гимназию, а затем был переведен в Академический университет. Здесь им была избрана специальность, которой он остался верен в течение всей своей жизни, — минералогия. В 1785 г. В. М. Севергин был «отправлен за море для наук студентом в город Геттинг (т. е. Геттинген, — *И. Ш.*)». После трехлетнего обучения химии и горному делу он возвратился на родину и блестяще выдержал испытания при Академии наук. В 1789 г. молодой ученый представил в Академию два научных сочинения. Первый трактат был посвящен «естеству и образованию базальта, или столбчатого камня», второй — «природе и разделению щелочных солей». За эти труды В. М. Севергин был произведен в адъюнкты Академии наук, а через четыре года, в 1793 г., назначен профессором минералогии.

Жизнь и деятельность В. М. Севергина была почти всецело связана с Академией: 13 лет он провел в ней в звании гимназиста и студента и 37 лет в качестве адъюнкта и профессора. Шесть раз его переизбирали членом комитета правления Академии. Несколько лет подряд ему поручались публичные лекции по минералогии.

Огромное количество оригинальных и переводных статей и заметок ученого печаталось на страницах академических журналов. Особенно много труда было положено им на издание «Технологического журнала», бессменным редактором и наиболее плодотворным

---

<sup>1</sup> Подробный очерк жизни и деятельности В. М. Севергина дан в кн.: М. И. Сухомлинов. История Российской Академии. т. 4, СПб., 1878, стр. 6—185.

витым автором которого он состоял с 1804 г., с самого основания журнала, до своей смерти. Кроме того, В. М. Севергин читал лекции по химии и минералогии в Медико-хирургической академии; с 1798 по 1801 г. он преподавал также пробирное искусство в Горном корпусе (нынешнем Ленинградском горном институте).

В начале прошлого столетия В. М. Севергиным было принято несколько поездок по Европейской России, Финляндии и Эстонии «для испытания дымящейся горы», т. е. изучения подземного пожара горючих сланцев. Все эти путешествия были им описаны в отдельных книгах и статьях.

Небогатая внешними событиями жизнь В. М. Севергина представляла собой истинную жизнь ученого, насыщенную научной и организационной работой в Академии наук, Российской Академии, Вольном экономическом обществе, Медико-хирургической академии и Министерстве народного просвещения. Имя его пользовалось популярностью не только в России, но и за границей. Стокгольмская Академия наук избрала его в число своих академиков. Восемнадцать научных обществ, русских и иностранных, считали его своим членом. В. М. Севергин являлся почетным членом Минералогического общества с момента его основания в Петербурге (1817 г.). В 1819 г. он был избран почетным членом Московского университета.

Неутомимый труженик науки, всецело преданный интересам ее развития, В. М. Севергин продолжал плодотворно работать до последних дней своей жизни. Умер он в 1826 г.

В многочисленных трудах В. М. Севергин неустанно подчеркивал идею о пользе и необходимости минералогии для нужд государства. В связи с этим он считал своим первейшим долгом всемерно популяризовать науку о камнях и рудах среди широких кругов русского общества. Из этой задачи непосредственно вытекала и вторая — создание русского научного языка в области минералогии и химии.

Всю жизнь В. М. Севергин работал над этими проблемами, являясь верным последователем и продолжателем дела М. В. Ломоносова. В своих капитальных трудах — «Первые основания минералогии» (1798 г.) и «Подробный словарь минералогический» (1807 г.) — В. М. Севергин дал обстоятельные, критически проверенные сводки накопленного к тому времени минералогического материала. Особенное внимание обращалось им на отечественные полезные ископаемые. Выполняя завет М. В. Ломоносова, В. М. Севергин написал и в 1809 г. опубликовал «Опыт минералогического землеописания Российского государства» — первую топографическую минералогию.

В своих трудах В. М. Севергин был решительным сторонником химического направления в минералогии в отличие от ряда современных ему ученых, ограничивавшихся рассмотрением минералов только с точки зрения их формы. В области теории он был



В. М. Севергин (1765—1826).



одним из первых поборников «антифлогистического химического учения». Смело примкнул он к новому течению, несмотря на противодействие ряда академиков, придерживавшихся устарелых представлений.

Задолго до И. А. Ф. Брейтгаупта обратил он особое внимание на парогенезис минералов (т. е. на их характерное совместное нахождение), назвав его русским словом «смежность».

Работы В. М. Севергина по минералогии и химии были тесно связаны с развитием отечественной промышленности. Неумоимо пропагандировал он необходимость изучения русских минеральных богатств, указывая на их значение в промышленности и технике. Впервые им была выделена в качестве самостоятельного раздела науки «экономическая минералогия»; в связи с этим по его инициативе был основан «Технологический журнал», а в 1821 г. издано «Начертание технологии минерального царства».

В. М. Севергин предстает перед нами как один из наиболее выдающихся деятелей минералогической науки своего времени.

Ранние минералогические работы В. М. Севергина содержат прежде всего исчерпывающе точные описания ископаемых тел. В этом отношении ученый в общем следовал приемам, выдвинутым школой А. Г. Вернера. Помимо внешних признаков, он обращал внимание и на физические свойства (вес, упругость, магнитность), и на химические характеристики минералов. Однако последние тонули в массе наружных признаков, число которых достигало 23. К ним относились цвет, сложение, внешний вид, поверхность, внешний блеск, внутренний блеск, излом и проч. Следует отметить, что в ранних работах В. М. Севергина кристаллическая форма рассматривалась (так же как и у А. Г. Вернера) лишь в качестве одного из многочисленных внешних признаков минерального вещества. В своей неопубликованной при жизни статье «О цветах минералов» он предостерегал от излишнего увлечения классификацией минералов на основе их кристаллических форм: «Признаемся, что и самый кристаллический вид, на который некоторые столь много полагаются, не есть единственный определятельный признак, ибо, например, все (? — И. Ш.) имеют кубический вид, а естество их совсем одно от другого различное».<sup>2</sup> В то время кристаллография как наука для В. М. Севергина по сути дела еще не существовала. По его собственным словам, «ископаемые тела, или минералы, возрастают не от внутреннего побуждения, но от внешнего скопления мельчайших частиц и не одарены никакой внутренней стройностью».<sup>3</sup>

Понятие о том комплексе кристаллографических сведений, который В. М. Севергин считал необходимым ввести в минерало-

---

<sup>2</sup> Г. Б. Бок и И. И. Шафрановский. Русские кристаллографы. Труды Инст. истории естествозн. АН СССР, т. I, 1947, стр. 87.

<sup>3</sup> Там же.

гию, мы получаем из его знаменитой книги «Первые основания минералогии, или естественной истории ископаемых тел». В предисловии В. М. Севергин отмечал, что именно в его курсе было им подчеркнуто у А. Г. Вернера и что он счел необходимым изменить и добавить: «В первой части главное затруднение составляли минералогические термины, введенные наипаче знаменитым немецким минералогом Вернером, кои я, однако же, сколько в силах моих было, на российском языке выразить старался с присовокуплением описания их различных знаменований. Сего ради и занимался я здесь наипаче наружными признаками ископаемых тел, помощью помянутых терминов способом г. Вернера кратко и ясно выражаемыми и составляющими существенную часть теоретической минералогии. При сем показал я также способ употребления оных при описании ископаемых тел, который, хотя в существе своем и сходствует со способом г. Вернера, однако предложен и употреблен иначе, ибо таковой оного перемены требовалось по свойству нашего языка.

«Я принял разделение ископаемых тел только на классы, виды, отличия и дальнейшие разности и почел за нужное определить точнее каждое из сих наименований».<sup>4</sup>

Касаясь принятой им классификации минералов, В. М. Севергин особенно подчеркивал имеющиеся в ней расхождения с системой А. Г. Вернера. Важно отметить, что эти расхождения были вызваны принятием во внимание химизма минералов, совершенно игнорировавшегося А. Г. Вернером: «Систематический порядок, мной принятый, в существе своем также сходствует с тем, который предложен был от г. Вернера, исключая, что я о некоторых телах упоминал прежде или после, нежели как в Вернеровой системе показано, как то мне по предмету моему казалось нужным. Сверх того, местами переменены дальнейшие его разделения, а инде присовокуплены виды российских минералов, в новейшие времена исследованных, например вилуйский гиацинт, байкальский пренит, малиновый шерл, мареканские камни и проч. Латинские систематические наименования, кои старанием г. Вернера и его последователей ныне почти с Линнеевой точностью каждый вид и отличие ископаемых тел определяют, приняты мною так, как они введены новейшими минералогами, исключая токмо то, что я наипаче при солях употреблял наименования, относящиеся к Лаваозьеровой химической номенклатуре, так как и вообще сей класс солей составляет паче химическую часть минералогии и познается более по химическим оных свойствам, нежели по наружным признакам, кои сего ради здесь и не так часто употребляются. А как предварительные химические понятия в минералогии необходимо нужны, то и проходил я обыкновенно прежде всех прочих сей класс солей,

---

<sup>4</sup> В. Севергин. Первые основания минералогии, или естественной истории ископаемых тел, кн. 1. СПб., 1798, стр. I—II.

при коем случае старался соединить прежние химические понятия с антифлогистической Лавоазьеровой теорией».<sup>5</sup>

Приведенные цитаты показывают, что В. М. Севергин не слепо следовал А. Г. Вернеру, а практически пересматривал и творчески перерабатывал его систему. О том, что словесные описательные характеристики А. Г. Вернера далеко не удовлетворяли его, свидетельствуют и следующие слова: «Многословные определения внешних признаков, введенные недавно г-ном Вернером и его последователями, кажется мне, не только понятию нашему о ископаемых телах не придают ясности, но более еще запутывают».<sup>6</sup> Все эти высказывания следует иметь в виду при разборе кристаллографических сведений, помещенных в «Первых основаниях минералогии» В. М. Севергина, хотя с первого взгляда и может показаться, что они попросту повторяют данные А. Г. Вернера.

Выше уже отмечалось, что А. Г. Вернер рассматривал все кристаллические многогранники как результат притупления или заострения ребер и вершин семи основных форм: икосаэдра, правильного пентагонального додекаэдра, гексаэдра (куба), столбика, пирамиды, таблички и линзы, или чечевицы.

В. М. Севергин в главе «О признаках ископаемых тел» посвятил ряд параграфов «наружному очертанию», или «наружному виду», минералов (§§ 34—46). «Наружное очертание, — писал он, — зависит от различных качеств составляющих частей, либо от различного оных смешения в соединения, либо от посторонних случаев».<sup>7</sup> Оно бывает: 1) обыкновенное, 2) особенное, 3) правильное, 4) в виде окаменелостей. Правильные очертания имеют кристаллы. К главным формам кристаллов, следуя в общем А. Г. Вернеру, В. М. Севергин относил следующие: 1) чечевичный кристалл, 2) таблицу, 3) куб, 4) столбик или призму, 5) пирамиду, 6) восьмиугольник (октаэдр), 7) двенадцатиугольник (пентагон-додекаэдр) и 8) двадцатиугольник (икосаэдр). Сравнение этого перечня форм с приведенным выше списком основных форм А. Г. Вернера показывает, что В. М. Севергин к числу главных форм добавил октаэдр (у А. Г. Вернера октаэдр, так же как и все дипирамиды в современном значении этого термина, относится к пирамидам).

Приведем описание октаэдра по В. М. Севергину: «Осьмиугольник, или двойная четырехсторонняя пирамида, состоит из восьми равных тристоронних плоскостей, кои всегда по четыре вместе соединяются в одно острие и образуют две четырехсторонние пирамиды, кои основаниями своими вместе соединены».<sup>8</sup> Это описание дает вполне правильное понятие об октаэдре. Любопытно,

---

<sup>5</sup> Там же, стр. III—V.

<sup>6</sup> В. М. Севергин. Введение. В кн.: Р. Кирван. Начальные основания естественной истории. Царство ископаемых. СПб., 1792, стр. II.

<sup>7</sup> В. Севергин. Первые основания минералогии, или естественной истории ископаемых тел, кн. 1, стр. 30—31.

<sup>8</sup> Там же, стр. 39.

однако, отметить, что в качестве примеров октаэдрических кристаллов В. М. Севергин наряду с магнетитом и купритом называл и рубин, принимая, очевидно, за октаэдр комбинацию ромбоэдра с пинакидом.

Говоря о «правильном виде» минералов, т. е. о кристаллах, В. М. Севергин отмечал важность их точного геометрического изучения: «Поелику кристаллы состоят из двух или более правильных плоскостей, определенным образом между собой соединенных, то от соединения сих плоскостей происходят углы и края, кои с точностью определять должно, а между краями различать боковые и конечные края, из коих первые происходят из соединения боковых плоскостей, а последние из соединения конечных плоскостей между собой или с боковыми плоскостями».<sup>9</sup> Однако, несмотря на это замечание, В. М. Севергин вслед за А. Г. Вернером относил к числу главных кристаллографических форм и правильный додекаэдр и икосаэдр — формы, невозможные для кристаллов. Приведем описание этих форм по В. М. Севергину: «Д в е н а д ц а т и у г о л ь н и к. Онный состоит из двенадцати равносторонних плоскостей, соединенных под одинаковым углом, коего рода кристалл бывает у серного колчедана. Здесь примечаются плоскости, края и углы, кои у совершенных кристаллов между собой равны. . .

«Д в а д ц а т и у г о л ь н и к. Онный состоит из двадцати равносторонних треугольных плоскостей, кои все под одинаковым углом вместе соединены и образуют двенадцатиугольники. Такого рода кристалл бывает иногда токмо у серного колчедана».<sup>10</sup>

В этих описаниях неправильным является прежде всего указание на наличие «равносторонних плоскостей» (т. е. граней). Хорошо известно, что у пентагон-додекаэдра грани не являются правильными (равносторонними) пятиугольниками. «Минеральный икосаэдр» пирита состоит из восьми правильных треугольников (октаэдрические грани) и двенадцати равнобедренных треугольников (грани пентагон-додекаэдра). Неправильно также указание на равенство всех углов этих реальных форм. Не ясны для нас и принятые В. М. Севергиным названия правильных многогранников. С одной стороны, октаэдр, додекаэдр и икосаэдр, т. е. восьмигранник, двенадцатигранник и двадцатигранник, он почему-то называл «восьмиугольником», «двенадцатиугольником» и «двадцатиугольником», а с другой — в описании икосаэдра («двадцатиугольника») совершенно справедливо отмечал одновременно и его принадлежность к «двенадцатиугольникам», явно имея в виду его двенадцать телесных углов (вершин). В дальнейшем тексте, отступая от приведенной выше терминологии, В. М. Севергин уже правильно называл «восьмиугольником» куб и ромбоэдр, а «двадцатиугольником» — пентагон-додекаэдр. Все выше-

---

<sup>9</sup> Там же, стр. 35.

<sup>10</sup> Там же, стр. 40.

сказанное показывает, с каким трудом создавалась кристаллографическая номенклатура и сколько неясностей она содержала вначале. Само собой разумеется, что главные формы, выделенные В. М. Севергиным, так же как и основные формы А. Г. Вернера, с современной точки зрения представляют лишь исторический интерес, еще раз свидетельствуя об очень слабом развитии науки о кристаллах в ту эпоху. Как уже отмечалось, сам В. М. Севергин сознавал несовершенство этих воззрений и впоследствии совершенно отказался от них.

В § 46 «Первых оснований минералогии» он отмечал, что кристаллы могут быть простыми, двойными и тройными. Несколько же «кристаллов, вместе сросшихся, составляют то, что называют друзою, или щеткою».<sup>11</sup>

Значительно интереснее вышеприведенных геометрических сведений о кристаллографических формах высказывания В. М. Севергина о кристаллогенезисе минералов. Приведем целиком параграф, описывающий кристаллизацию: «Кристаллообразование происходит мокрым путем, возгонкой или плавлением. Во всех случаях подвержено оно одинаким законам притяжения, кои еще не довольно изведаны. Главное различие кристаллов зависит либо от различия растворяющего средства и количеств оного, либо от различия самого тела, с коим оное соединяется, либо от различия в состав их вступающих примесей. Прочие изменения оных происходят большей частью либо от недостатка растворяющего средства, либо от внезапного, медленного или вообще воспрепятствованного осаждения оных. Но какие суть первые причины самого различия видов, сие должны решить будущие времена».<sup>12</sup>

Почти все мысли, сформулированные в этом параграфе, выдержали испытание временем. Как мы видим, В. М. Севергин ясно указывал на зависимость кристаллизации от состава и степени пересыщения маточного раствора; он учитывал влияние примесей, скорость кристаллизации и проч. Очень характерна его уверенность в том, что «будущие времена» сумеют разгадать первопричины кристаллизации. Несомненный кристаллографический интерес представляет следующее примечание к параграфу о цвете минералов: «Таковые цветы (т. е. окраска, — *II. III.*) часто бывают по всему телу равно перемешаны, а иногда в одном куске различные встречаются цвета по различному притяжению, с каковым частицы соединялись. Достопамятнейший в рассуждении сего случай представляют те чистые кристаллы, которые только на концах своих бывают окрашены, а сие, вероятно, происходит следующим образом. Когда однороднейшие части в силу своего притяжения соединяются, то отдаляют они в то же самое время все то, что соединению их в силу их сродства препятствует, чего

---

<sup>11</sup> Там же, стр. 41.

<sup>12</sup> Там же, стр. 97.

ради и окрашивающие части, кои всегда почти бывают металлические, отдаляются более от центра и окрашивают таким образом более концы оных. По сей же причине, когда таковые частицы в силу своего особого сродства плотнее соединяются, то образуют внутри особого цвета и рода иглы металлические и других тел. По сей же причине прозрачные кристаллы в концах своих иногда бывают непрозрачны». <sup>13</sup>

По справедливому замечанию Г. П. Барсанова, здесь высказывается оригинальная для того времени мысль о том, что более интенсивная окраска концов кристаллов (так же как и находящиеся в них цветные включения) связана с кристаллизацией из растворов, загрязненных примесями: «Сначала кристаллизуется главная часть чистого вещества, а примеси обособляются в конце процесса в виде самостоятельных скоплений, откладывающихся в концах кристаллов. Так впервые было высказано правило дробной кристаллизации смешанных растворов и понятие о «самоочистке» раствора при кристаллизации, как это понимается нами на современном уровне науки». <sup>14</sup>

Заканчивая обзор кристаллографических данных, находящихся в «Первых основаниях минералогии» В. М. Севергина, нельзя не отметить таблицы с изображениями геометрических форм, помещенной в конце второй книги. Среди прочих изображений обращает на себя внимание рисунок двойника гипса в форме ласточкиного хвоста — первое изображение двойника в русской минералогической и кристаллографической литературе (рис. 21, № 19).

В 1807 г. вышел в свет один из важнейших трудов В. М. Севергина — «Подробный словарь минералогический, содержащий в себе подробное изъяснение всех в минералогии употребительных слов и названий, также все в науке сей учиненные новейшие открытия». Эта капитальная работа свидетельствует о существенном переломе в кристаллографических воззрениях ученого. Ознакомившись с теорией строения кристаллов выдающегося французского кристаллографа Р. Ж. Гаюи, В. М. Севергин стал ее энергичным поборником. Неудовлетворенный чисто формалистическим подходом А. Г. Вернера, он принял теперь за основу кристаллографии теорию, согласно которой кристаллы слагаются из закономерно расположенных относительно друг друга частиц — молекул, состоящих в свою очередь из атомов. Тем самым вслед за М. В. Ломоносовым и Р. Ж. Гаюи он примкнул к сторонникам атомистической теории.

Вот как сам В. М. Севергин говорил об этом в предисловии к своему «Словарю»: «А как в нынешние времена два наипаче способа рассматривания и определения ископаемых тел содела-

<sup>13</sup> Там же, стр. 15—16.

<sup>14</sup> Г. П. Барсанов. К истории развития русской минералогии конца XVIII в. Труды Минералог. музея АН СССР, вып. 2, 1950, стр. 16.

лись по справедливости наиболее принятыми, т. е. способ г: Вернера в рассуждении наружных признаков и г. Гаюи в отношении к кристаллографии, то для вящего удовлетворения российской публики соединял я при каждом более известном ископаемом теле определение сих знаменитых минералогов... Словарь сей может служить дополнением к «Минералогии», мною в 1798 году в двух частях изданной; а как я в оной подробно изъяснял наружные признаки способом г. Вернера, то здесь занялся наипаче переложением и изъяснением словоименования (т. е. номенклатуры, — *И. Ш.*) г. Гаюи, которое я старался выразить сколько мог приличнейшим образом».<sup>15</sup>

Во вступлении к «Словарю» В. М. Севергин изложил основные понятия теории Р. Ж. Гаюи. Вступление содержит следующие параграфы: 1) «Первые понятия о кристаллографии по Гаюи»; 2) «Основания именований кристаллов по Гаюи»; 3) «Описание угломера» (т. е. прикладного гониометра); 4) «О знаках, употребляемых Гаюи при описании кристаллов»; 5) «Показание кристаллических видов ископаемых тел, извлеченное из «Минералогии» Гаюи, исправленное и дополненное по новейшим наблюдениям».

Для лучшего понимания кристаллографических данных, содержащихся в «Словаре», мы вкратце напомним сущность структурно-кристаллографической теории Р. Ж. Гаюи.

Теория Р. Ж. Гаюи базируется на явлении спайности. Путем постепенного раскалывания (деления) кристалла на спайные осколки мы в конце концов доходим до таких осколков, которые при дальнейшем раскалывании остаются геометрически подобными самим себе. Эти осколки, по мнению Р. Ж. Гаюи, дают представление о первичной форме, или «кристаллическом ядре». В. М. Севергин назвал такие формы «первообразными видами». Из сказанного видно, что грани первичных форм должны располагаться параллельно плоскостями спайности. Исходя из наблюдений, Р. Ж. Гаюи установил всего пять (или шесть) типов первичных форм: параллелепипед, октаэдр, тетраэдр, правильную шестигранную (гексагональную) призму и ромбододекаэдр; иногда он добавлял к ним и гексагональную дипирамиду.

Дальнейшее деление первичных форм вдоль плоскостей, параллельных их граням, приводит, согласно Р. Ж. Гаюи, к «интегрирующим молекулам», имеющим форму четырехгранников (тетраэдров), трехгранных призм и параллелепипедов. В. М. Севергин назвал их «составляющими частицами». В самом деле, легко сообразить, что, раскалывая параллелепипед по плоскостям, параллельным его граням, мы всегда получим более мелкие параллелепипеды. Разделив таким же образом гексагональную

---

<sup>15</sup> В. М. Севергин. Подробный словарь минералогический, т. I. СПб., 1807, стр. V.

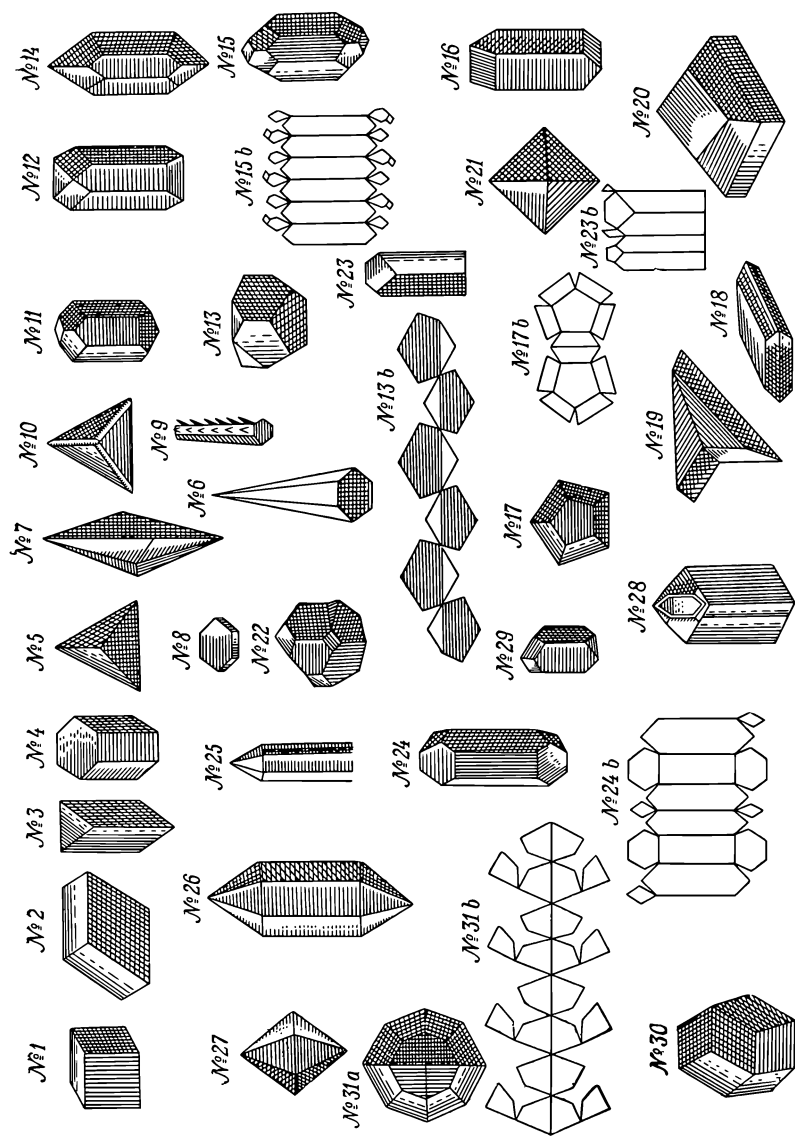


Рис. 21. Таблица форм кристаллов, приложенная к «Первым основаниям минералогии» В. М. Севергина.



призму, получим шесть интегрирующих молекул в форме трехгранных призм.

Ромбододекаэдр в результате деления распадается на 24 неправильных четырехгранника, которые Р. Ж. Гаюи называл тетраэдрами. Более сложное явление мы будем иметь при делении октаэдра. Действительно, рассекая октаэдр плоскостями, проходящими через середины его ребер и параллельными его граням, мы получим шесть октаэдров и восемь тетраэдров. Р. Ж. Гаюи предполагал, что октаэдрические участки являются незаполненными.

Итак, формы интегрирующих молекул соответствуют трем типам: тетраэдру («простейшей по числу граней пирамиде»), трехгранной призме («простейшей по числу граней из всех призм») и параллелепипеду («простейшему из всех многогранников с парно параллельными гранями»). Эти формы, ограниченные четырьмя (тетраэдр), пятью (трехгранная призма) и шестью (параллелепипед) гранями, являются одновременно и простейшими замкнутыми многогранниками по числу граней.

По теории Р. Ж. Гаюи, кристаллические тела слагаются наподобие кирпичных кладок, причем роль кирпичиков играют первичные формы, состоящие в свою очередь из интегрирующих молекул. Все кристаллы одного минерального вида характеризуются совершенно одинаковыми интегрирующими молекулами и первичными формами.

Каким образом одинаковые элементарные частицы слагают столь разнообразные по внешнему виду и огранению кристаллы одного и того же вещества? Для объяснения этого явления Р. Ж. Гаюи создал свою «теорию убывания». Кристаллы, по его мнению, состоят из налегающих друг на друга слоев. В последовательных слоях мы имеем закономерное уменьшение числа молекул, образующих нечто вроде ступенчатых лестниц. Малые размеры этих молекул не позволяют уловить отдельных ступенек. Совокупности их кажутся нам плоскими гранями. Таким образом, например, множество первичных кубиков может складываться не только в крупные кубы, но и во вторичные формы — октаэдры, ромбододекаэдры и пентагон-дodeкаэдры (рис. 22).

Ознакомившись с теоретическими взглядами Р. Ж. Гаюи, обратимся к его классификации кристаллических форм. Для нас эта классификация представляет особый интерес, так как В. М. Севергин принял ее в своем «Словаре» и тем самым ввел в русскую минералогическую литературу начала прошлого столетия.

Как уже отмечалось, Р. Ж. Гаюи подразделял формы на «первичные» (примитивные) и «вторичные». Первые можно получить с помощью раскалывания кристаллов по плоскостям спайности. Путем наложения убывающих слоев интегрирующих молекул, как мы уже знаем, из первичной формы выводятся разные вторичные формы. К классификации вторичных форм Р. Ж. Гаюи под-

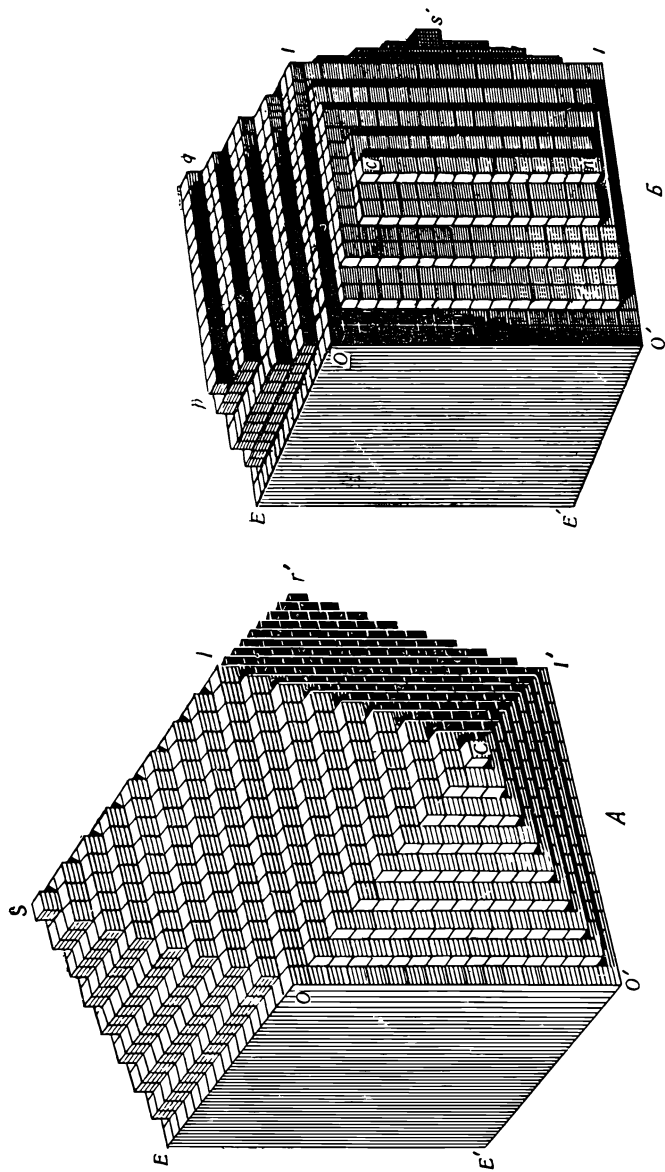


Рис. 22. Сложение ромбододекаэдра (А) и пентагон-дододекаэдра (В) из первичных кубиков, по Р. Ж. Гаюи.

ходил с различных точек зрения и поэтому дал весьма подробную и вместе с тем чрезвычайно сложную их систематику. Вторичные формы им рассматривались в отношении: 1) их собственной геометрической формы, 2) изменения ими первичных форм, 3) расположения вторичных граней относительно исходных граней или ребер кристалла, 4) зависимости от законов убывания, 5) геометрических особенностей кристалла, 6) особых частных случаев.

Ниже мы приводим классификацию вторичных форм по геометрической форме (на первом месте стоят русские термины В. М. Севергина, широко бытовавшие в отечественной минералогической литературе начала XIX столетия; параллельно с ними в скобках приводятся термины Р. Ж. Гаюи; при объяснении этих терминов мы пользуемся современной кристаллографической номенклатурой и символикой):<sup>16</sup>

### *КЛАССИФИКАЦИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОРМ ПО В. М. СЕВЕРГИНУ И Р. Ж. ГАЮИ*

#### I. Первообразные виды (первичные формы)

1. Параллелепед.

Куб, ромбоэдр, тетрагональная и ромбическая призмы с пинакоидами и все параллелепипедальные комбинации в низших сингониях.

2. Восьмигранник (октаэдр).

Собственно октаэдр, тетрагональная и ромбическая дипирамиды и восьмигранные комбинации в низших сингониях.

3. Четырехгранник (тетраэдр).

Кубический, тетрагональный, ромбический тетраэдры и четырехгранные комбинации в низших сингониях.

4. Призма шестигранная правильная.

Гексагональная призма.

5. Двенадцатигранник ромбоидальный.

Ромбододекаэдр.

6. Двенадцатигранник сугубо пирамидальный.

Гексагональная дипирамида.

#### II. Второобразные виды (вторичные формы)

1. Кубические.

Пример: флюорит. Первичная форма — октаэдр. Грани куба являются вторичными.

2. Кубоватые (кубовидные).

Пример: кальцит. Первичная форма — ромбоэдр  $\{10\bar{1}1\}$ ; вторичный ромбоэдр  $\{30\bar{3}2\}$  по углам близок к кубу.

3. Четырехгранные (тетраэдрические).

Пример: сфалерит. Первичная форма — ромбододекаэдр.

Грани тетраэдра являются вторичными.

4. Восьмигранные (октаэдрические).

---

<sup>16</sup> Под современной номенклатурой как здесь, так и всюду в дальнейшем тексте подразумевается кристаллографическая номенклатура, принятая в 1925 г. по инициативе проф. А. К. Болдырева Федоровским институтом кристаллографии, минералогии, петрографии и учения о месторождениях полезных ископаемых (Ленинград).

Пример: каменная соль. Первичная форма — куб. Грани октаэдра являются вторичными.

5. Призматические.

Пример: кальцит. Первичная форма — ромбоэдр. Призма {1010} является вторичной.

6. Двенадцатигранные (додекаэдрические).

Все двенадцатигранные вторичные формы. Р. Ж. Гаюи помещает здесь и комбинации, состоящие из сходных двенадцати граней.

Примеры. 1) Пирит; первичная форма — куб; пентагон-додекаэдр является вторичной формой. 2) Циркон; первичная форма — призма {110} с пинакоидом; двенадцатигранная комбинация {111} с {100} (гациантовый облик) является вторичной.

7. Двадцатигранные (икосаэдрические).

Комбинация пирита, состоящая из 20 треугольных граней. 12 треугольников являются равнобедренными, а 8 — равносторонними. Первые являются гранями пентагон-додекаэдра, вторые — октаэдра. Р. Ж. Гаюи впервые отметил разницу между гранями этих двух форм.

8. Трапециодальные.

Вторичные формы в виде тетрагон-триоктаэдров (границ трапециоды).

Пример: гранат. Первичная форма — ромбододекаэдр. Грани тетрагон-триоктаэдра {112} являются вторичными.

9. Тридцатиромбные (триаконтаэдрические).

Комбинация пирита, состоящая из 30 граней, имеющих форму четырехугольников. Очевидно, это комбинация куба и одного из 24-гранников, встречающихся на пирите.

10. Десяностогранные (эннеаконтаэдрические).

Сложная комбинация везувиана, на которой Р. Ж. Гаюи насчитал 90 граней.

11. Сугубо ромбоидальные (биромбоэдрические).

Комбинация кальцита, состоящая из двух ромбоэдров. В случае трех ромбоэдров получим триромбоэдрические формы и т. п.

12. Двубразные, триобразные (биформные, триформные).

Комбинации нескольких различных простых форм.

Пример: алюмо-калиевые квасцы. Комбинация октаэдра, ромбододекаэдра и куба — триформная.

13. Кубовосьмигранные, кубодвенадцатигранные, кубочетырехгранные (кубооктаэдрические, кубододекаэдрические, куботетраэдрические).

Комбинация куба с октаэдром, додекаэдром и тетраэдром.

14. Трапецовые (трапецевые).

Комбинации, в которых имеется ряд граней в виде трапеций.

Пример: барит. В комбинации {110}, {011} и {010} грани ромбических призм {110} и {011} имеют форму трапеций.

15. Сугубо четырехгранные (дитетраэдрические).

Комбинация двух четырехгранных форм.

Пример: эпсомит. Комбинация ромбической призмы с ромбическим тетраэдром.

16. Сугубо шестигранные (дигексаэдрические).

Комбинация двух шестигранных форм.

Пример: кальцит. Комбинация гексагональной призмы с ромбоэдром.

Р. Ж. Гаюи сюда относит также полевой шпат «с шестигранной призмой и трехгранными вершинами».

Аналогично выделяются сугубо восьмигранные, сугубо двенадцатигранные (диоктаэдрические, дидодекаэдрические) и прочие формы.

17. Тржды-, четырежды-, пятью-, шестигранные (три-, тетра-, пента-, гексаэдрические).

Комбинации, состоящие из повторяющихся шести граней, расположенных друг под другом.

Пример: кварц. Гексагональная призма в комбинации с двумя «гексагональными пирамидами» (ромбоэдрами).

Аналогично выделяются тридодекаэдрические, триоктаэдрические и прочие комбинации. Например, комбинация трех ромбических или тетрагональных дипирамид относится к «триоктаэдрической».

18. Сугубо сросшиеся (дважды сдвоенные, или бигеминальные).

Комбинация четырех простых форм, из которых каждые две, взятые попарно, относятся к одному и тому же виду простых форм.

Пример: кальцит. Комбинация двух ромбоэдров и двух скаленоэдров.

19. Двоякошестигранные (амфигексаэдрические).

Комбинации, дающие шестиугольные сечения в двух различных направлениях.

Р. Ж. Гаюи в качестве примера приводит форму аксинита.

20. Шесто-десятые (гексадецимальные).

Комбинации, состоящие из шестигранной призмы и десяти косых граней.

Аналогично получают октодецимальные и тому подобные формы.

21. Многогранные, или периполигонные.

Призматические формы с большим количеством граней.

Пример: турмалин.

22. Многосложные.

Весьма сложные на вид кристаллы.

23. Противоположно девятигранные (антиэннеаэдрические).

Кристаллы турмалина с девятью пирамидальными гранями на обоих противоположных концах.

24. Смежно-девятигранные (проэннеаэдрические).

Кристаллы турмалина с девятью пирамидальными гранями на одном конце и девятью призматическими гранями.

25. Возвращающиеся (повторные).

Кристаллы касситерита, в которых числа граней, одинаково наклоненных к главной оси, повторяются в следующем порядке: 4, 8, 4, 8, 4.

26. Равноразнствующие (экиферентные).

Кристаллы амфиболов, в которых число вертикальных и косых граней на обоих концах образует начало арифметического ряда: 6, 4, 2.

27. Сближающиеся (конвергентные).

Кристаллы турмалина, в которых число призматических и пирамидальных граней на обоих концах отвечает ряду: 15, 9, 3.

28. Нечетные.

Кристаллы турмалина, в которых числа призматических граней и косых пирамидальных граней на обоих концах являются нечетными.

29. Избыточно острые.

Комбинация двух весьма острых ромбоэдров на кальците.

30. Шаровые (сфероидальные).

Округлые кристаллы алмаза с выпуклыми гранями.

31. Плоско-выпуклые.

Кристаллы алмаза с плоскими и выпуклыми гранями.

Классификация кристаллографических форм по Р. Ж. Гаюи, принятая В. М. Севергиным, еще очень далека от современной.

Прежде всего набор первичных форм, полученных в результате наблюдений над спайными осколками, является чисто случайным. Сам Р. Ж. Гаюи колебался в их окончательном выборе и называл то пять, то шесть первичных форм. Следует, однако, отметить, что установление первичных форм отвечает одной из первых ранних попыток найти такие многогранники, которые, будучи

равными, параллельно ориентированными и смежными по целым граням, нацело бы выполняли пространство. Предшественником Р. Ж. Гаюи по постановке этой задачи был И. Кеплер. Впоследствии ее гениально разрешил Е. С. Федоров с помощью своих знаменитых параллелоэдров.

Из четырех типов идеальных федоровских параллелоэдров три (куб, гексагональная призма с пинакоидом и ромбододекаэдр) совпадают с примитивными формами Р. Ж. Гаюи. Четвертый параллелоэдр — кубооктаэдр — до Е. С. Федорова не был известен. Однако, как мы увидим далее, русский кристаллограф придавал своим параллелоэдрам совершенно другое физическое значение.

Далека от совершенства и геометрическая классификация вторичных форм. Вначале Р. Ж. Гаюи как будто бы стремился выделить формы, отвечающие современным простым формам (кубы, кубовидные ромбоэдры, тетраэдры, октаэдры). Однако, начиная с 6-го пункта, он отступил от этого принципа и наряду с простыми формами ввел комбинации, назвав их по суммарному числу граней. Таким образом, снова воскресает пресловутый икосаэдр, хотя Р. Ж. Гаюи и отметил на нем наличие граней двух сортов: в виде правильных и равнобедренных треугольников (невозможность в кристаллографии правильных додекаэдров и икосаэдров была доказана Р. Ж. Гаюи на основе его структурной теории). Далее появляются тридцатигранные и даже девяностогранные (!) комбинации. Так как комбинаций может существовать неограниченное множество, то лишь благодаря счастливой случайности список названий вторичных комбинаций по числу их граней не разросся у Р. Ж. Гаюи до бесконечности. Просматривая последующие названия форм, мы видим, что в дальнейших пунктах принцип определения названий по числу граней откидывается и наступает полнейший произвол в их установлении. В большинстве случаев они даются в зависимости от чисто случайных особенностей, почему-либо бросившихся в глаза исследователю.

Несмотря на все эти недостатки, классификация Р. Ж. Гаюи для своего времени имела большое значение, да и сейчас она представляет существенный исторический интерес в качестве первой попытки структурно-геометрической классификации кристаллографических форм.

Нельзя не признать заслуги В. М. Севергина в том, что он ввел эту классификацию в русскую литературу, заменив ею формальную схему А. Г. Вернера.

В отличие от своих ранних высказываний, в которых он отрицал существенное значение кристаллографии для познания минералов, В. М. Севергин в своем «Словаре минералогическом» начинает с учения о кристаллах, положив его вместе с химией в основу минералогии. Его прежнее утверждение об отсутствии «внутренней стройности» у минералов уступает место изображениям и описаниям кристаллических структур по Р. Ж. Гаюи.

Обзор кристаллографических данных, находящихся в трудах В. М. Севергина, нельзя не дополнить несколькими отрывками из его «Словаря», касающимися собственно кристаллографии. Прежде всего приведем определение самой науки о кристаллах: «Кристаллография занимается систематическим описанием кристаллов с показанием всех их отношений между собой».<sup>17</sup> Читая это определение, мы видим, что В. М. Севергин не считал кристаллографию простой описательной наукой, а подчеркивал ее структурно-генетическую сущность. Понятие «кристалл» определено в «Словаре» следующим образом: «Ныне слово сие принято минералогами на всех языках и означает существо соляное, каменное и металлическое в определенном многогранном виде с гладкими либо кривыми поверхностями. Российски в сем отношении может предложено быть на слово Г р а н н и к».<sup>18</sup> Важно заметить, что в этом определении В. М. Севергин не выдвигал на первый план плоскогранность и прямореберность кристаллов: «гладкие» поверхности стоят у него наряду с «кривыми». Такой подход к кристаллам можно оценить только сейчас, когда на обширном фактическом материале доказано, что кривогранные кристаллы, возникающие в процессах роста и растворения минералов, представляют широко распространенное явление. Вспомним, что Ромэ Делиль вообще исключал эти кристаллы из кристаллографии: «Кристаллические тела прямолинейностью своих контуров отличаются от растительных»,<sup>19</sup> — писал он. В отличие от французского кристаллографа В. М. Севергин ясно сознавал распространенность и значение кривогранных кристаллических тел. Характерна также его попытка заменить термин «кристалл» чисто русским словом «гранник».

Наконец, приведем отрывок из «Словаря», носящий подзаголовок «Кристаллизация. Кристаллообразование»: «Действие законов сродства над малейшими частицами минералов есть такого рода, что когда ничто оному не препятствует, то собрание сих частиц определяется поверхностями равными, из коих происходят правильные фигуры, подобные геометрическим. Все такие правильного вида тела названы к р и с т а л л а м и. Название к р и с т а л л и з а ц и я изображает вообще всякое соединение частиц в массы правильного вида, помощью особенного сродства между малейшими частицами действующего. Ежели сии массы имеют вид симметрический, то будут они произведениями кристаллизации, собственно называемой, или правильной. Когда же вид их непостоянный и не может быть определен точным образом, то принадлежат они к помешанной кристаллизации.

<sup>17</sup> В. М. Севергин. Подробный словарь минералогический, т. I, стр. 616.

<sup>18</sup> Там же, стр. 616—617.

<sup>19</sup> M. De Romé de l'Isle. Cristallographie, vol. I. Paris, 1783, стр. 94.

«Дабы частицы могли правильно вместе соединяться, надобно, чтобы они имели свободу избирать одна другую, прилагаться одна к другой приличными плоскостями, и все вместе стремиться к произведению согласия частей, которое от совокупности их произойти должно. Надобно, чтобы жидкость, их содержащая, была в спокойном состоянии, чтобы соответственные ее частицы тихо составляли частицы минерала, дабы привести их в положение, сродству наиболее способствующее; чтобы полость, их в себе заключающая, была достаточно пространна, а жидкость довольно изобильна, дабы кристаллизующиеся частицы плавали в оной спокойно и в полной свободе.

«Ежели сии условия не исполняются, ежели случится, например, что жидкость выпаряется скоро или делается в оной колебание, то сии случаи отвлекут частицы от настоящего их пути, принудят их повергнуться одна на другую без порядка, а по необходимому от того следствию, более или менее переменят черты геометрической фигуры, которая бы воспоследовала в случае соединения частиц медленного и спокойного».<sup>20</sup>

Приведенный отрывок содержит и с современной точки зрения правильное описание главнейших условий кристаллизации, в результате которой получаются, с одной стороны, правильно развитые, а с другой — искаженные формы.

Заканчивая на этом обзор кристаллографических данных, содержащихся в трудах В. М. Севергина, подчеркнем еще раз характерную эволюцию его взглядов на кристаллы. В первый период своего творчества ученый еще не сознавал значения кристаллографических форм и ограничивался формалистической систематикой А. Г. Вернера. Второй период его деятельности характеризуется принятием атомистической теории строения кристаллов, которую он положил совместно с химией в основу минералогии.

Сознавая огромное практическое значение минералогии в деле использования минеральных богатств нашей страны, В. М. Севергин тем самым одним из первых понял практическую важность кристаллографии и усиленно пропагандировал ее изучение. В этом и состоит его основная заслуга в истории развития науки о кристаллах в России.

---

<sup>20</sup> В. М. Севергин. Подробный словарь минералогический, т. I, стр. 614—616.



## ВІІ. КРИСТАЛЛОГРАФІЯ В УЧЕБНИХ РУКОВОДСТВАХ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ ХІХ СТОЛЕТІЯ

Начало прошлаго столетія характеризуется оживлением горного дела, вызванным общим процессом промышленного развития Россіи. К этому періоду относится и строительство ряда монументальных сооружений в Петербургѣ — Михайловскаго замка, Казанскаго и Исаакиевскаго соборов, Биржи, Горнаго института, до сих пор поражающих своимъ великолепіемъ.

Отечественная война 1812 г., временно затормозивъ эти работы, потребовала ускоренной выплавки чугуна и стали для оружія, заготовки серы и селитры для пороха. Все это, конечно, не могло не наложить отпечатка на развитие горнаго дела. После победоноснаго окончанія войны заново начала отстраиваться Москва. Возведеніе множества зданій вело к интенсивной добычѣ строительныхъ матеріаловъ (различныхъ мраморовъ и известняковъ, гранита, порфіровъ), а также к усиленнымъ поискамъ и добычѣ поделочныхъ камней (преимущественно такихъ, какъ малахит, лазурит, нефрит, ценные мраморы и яшмы). В связи съ этимъ понятенъ оживленный интересъ въ обществѣ того времени къ минералогіи, а следовательно, и къ кристаллографіи.

За рубежомъ въ началѣ прошлаго столетія въ минералогіи еще существовала словесно-описательная школа, возглавлявшаяся саксонскимъ минералогомъ и геологомъ А. Г. Вернеромъ. Однако эта школа уже доживала свои послѣдніе дни. На смену ей выступали представители химическаго направленія, съ одной стороны, и кристаллографическаго направленія — съ другой.

В Россіи развитію химическаго направленія въ минералогіи способствовалъ В. М. Севергинъ. Однако, какъ было показано, онъ занимался и кристаллографіей, широко применяя достиженія этой науки къ минераламъ. Последователи Р. Ж. Гаюи придавали минералогіи сугубо кристаллографическій характеръ. Позднѣе немецкіе кристаллографы Х. С. Вейс, К. Ф. Науманъ и другіе, отказавшись отъ теории строенія кристалловъ Р. Ж. Гаюи, все свое вниманіе обратили на внешнюю форму кристалловъ и на ихъ систематику по кристаллографическимъ системамъ (сингоніямъ). Это направленіе на долгое время стало основнымъ въ минералогіи. Кристаллографія въ этотъ періодъ являлась по сути дела вводной

главой в минералогию. Само собой разумеется, что это течение нашло свое отражение и в русской научной и в особенности учебной литературе. Поэтому, рассматривая развитие кристаллографии в ту эпоху, приходится одновременно говорить и о развитии минералогии.

В 1817 г. в Петербурге открылось Минералогическое общество, сыгравшее впоследствии столь видную роль в истории развития кристаллографии. Напомним, что в «Записках Минералогического общества» увидели свет основные труды Н. И. Кокшарова, П. В. Еремеева, М. В. Ерофеева, А. В. Гадолина, Е. С. Федорова и многих других русских кристаллографов. Минералого-кристаллографические темы неоднократно обсуждались и на заседаниях старейшего русского естественноисторического общества — Московского общества испытателей природы, существующего с 1805 г.

Чтение курсов минералогии, включавших и основы кристаллографии, в университетах и Горном институте начинает привлекать особое внимание. Не случайно в этот период вышел в свет целый ряд новых руководств по минералогии. В каждом из них мы находим более или менее подробное изложение основ кристаллографии.<sup>1</sup>

В 1818 г. в Москве была опубликована «Ориктогнозия» Г. И. Фишера.<sup>2</sup> Автор ее, Г. И. Фишер фон Вальдгейм (1771—1853), был известным московским профессором натуральной истории. По специальности зоолог, он в то же время занимался и геологией, и палеонтологией, и минералогией. Геолого-минералогические дисциплины изучались им во Фрейберге под руководством А. Г. Вернера. Позднее Г. И. Фишер учился в Париже, где познакомился с рядом известнейших ученых того времени, в том числе с Р. Ж. Гаюи. В 1804 г. Г. И. Фишер приехал в Россию и возглавил кафедру натуральной истории в Московском университете; здесь он проработал около 50 лет, до последних дней своей жизни.

Первая часть «Ориктогнозии» Г. И. Фишера является «предупредительной», вторая — «прикладной».

Приведем высказывание самого автора о предмете трактуемой им науки: «Ориктогнозия есть часть ориктологии или минералогии, которая, определив правильно и основательно признаки и названия ископаемых, учит оные познавать и приводить в систематический порядок».<sup>3</sup> В примечании автор указывает, почему следует называть его предмет ориктогнозией или ориктологией,

---

<sup>1</sup> Интересный обзор русских учебников минералогии, начиная с самых первых и кончая «Руководством к минералогии» Д. И. Соколова, приведен в кн.: Б. Е. Р а й к о в. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II. Изд. АН СССР, М.—Л., 1951, стр. 280—285.

<sup>2</sup> Г. Ф и ш е р. Ориктогнозия, или Краткое описание всех ископаемых веществ с изъяснением терминов, ч. I. М., 1818.

<sup>3</sup> Там же, стр. 3.

а не минералогией: «Слово „минералогия“ хотя весьма употребительно и понятно, однакож неправильно, будучи составлено из одного слова латинского и другого греческого».<sup>4</sup> Далее дается понятие о содержании книги: «Предуготовительная часть ориктогнозии, по изложению предмета науки, должна содержать библиографию, или исчисление авторов, писавших о сей науке, терминологию, историю науки, а преимущественно систем, и, наконец, пользу, от ориктогнозии получаемую. Все сие должно быть приспособлено к понятию слушателей. Прикладная же часть ориктогнозии есть самая наука, приспособляющая определенные надлежащим образом признаки минералов к самим предметам, дабы они между собой и от других тел могли быть различаемы».<sup>5</sup>

Ясно, что среди внешних признаков минералов должны были найти себе место и кристаллографические формы. Проследим, какую роль отводит Г. И. Фишер науке о кристаллах в своей «Ориктогнозии».

«Предуготовительная часть» открывается обширной библиографией. Среди авторов, писавших об ориктогнозии, выделены «кристаллографы». К последним отнесены Ромэ Делиль, Р. Ж. Гаюи, И. Я. Бернгарди и др. Далее следует глава «О терминологии». «Усовершенствование сей части ориктогнозии, — пишет Г. И. Фишер, — доставило бессмертную славу знаменитому Вернеру, почтенному моему наставнику и другу».<sup>6</sup> В этой главе даны подробнейшие словесные описания «наружных признаков ископаемых» по системе А. Г. Вернера. Один из параграфов, «Наружные виды правильные, или кристаллы», начинается следующими словами: «Виды минералов, более или менее схожие с телами геометрическими и их различиями, называются правильными. Сии виды известны под именем кристаллов и составляют предмет особенной науки, называемой кристаллографией. Сию науку обрабатывали знаменитые мужи: Линней, Валлерий, фон Борн, Скополи, Демест, но более всего Вернер, Крамп, Лешер, Гаюи и Бернгарди».<sup>7</sup> Далее следует перечисление уже знакомых нам главных видов кристаллов, выделенных А. Г. Вернером. Ограничимся лишь указанием их русских названий, предложенных Г. И. Фишером (в скобках приводятся современные термины): 1) двенадцатиугольник (икосаэдр), 2) двадцатиугольник (пентагон-додекаэдр), 3) куб (сюда же отнесен и ромбоидальный куб, т. е. ромбоэдр), 4) призма, или столбик, 5) пирамида, 6) доска, 7) чечевичный кристалл.

По системе А. Г. Вернера описываются и изменения главных видов кристаллов вследствие притупления или заострения ребер и вершин. Г. И. Фишер различает два способа описания кристал-

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Там же, стр. 8—9.

<sup>6</sup> Там же, стр. 42.

<sup>7</sup> Там же, стр. 73.

лов: «поверхностное» (кристалл описывается «так, как глазам представляется») и «производное» (при описании «всегда смотрится на первоначальную форму, из которой выводится форма описываемого кристалла»).<sup>8</sup>

Отметив, что последний способ описания был развит Р. Ж. Гаюи, Г. И. Фишер, однако, отказывается от рассмотрения теории французского ученого, так как «предписанная нам цель сея книги исключает сию часть до времени из наших лекций».<sup>9</sup>

В следующем за этим историческом обзоре различных минералогических систем приводится «Система химико-кристаллографическая знаменитого Гаюи 1809 года».<sup>10</sup> Однако в качестве наиболее совершенной системы рекомендуется «Система знаменитого Вернера от 1814 года»; в примечании указывается, что эта система стала известной автору «из писем».<sup>11</sup>

Свой исторический обзор Г. И. Фишер заключает следующими словами: «Мы следуем методу Вернера, но систему его предложили с некоторым изменением, с тем чтобы труды Вернера и Гаюи более между собой были сближены».<sup>12</sup>

Для того чтобы представить, как Г. И. Фишер описывает формы кристаллов конкретных минералов, приведем кристаллографическое описание кварца: «Преимущественные виды кристаллов суть ромб, осьмиугольник, а наиболее шестиугольная призма, оканчивающаяся пирамидою с струистыми поперек плоскостями».<sup>13</sup>

Заканчивая на этом обзор «Ориктогнозии» Г. И. Фишера, отметим, что книга эта является типичной для периода господства словесно-описательной минералогии. Сильное влияние учителя Г. И. Фишера — А. Г. Вернера сказывается на всем ее содержании и лишает ее оригинальности. Однако не следует забывать, что сам А. Г. Вернер не оставил подробного изложения своей системы. Кроме того, как отмечалось выше, Г. И. Фишер пытался приблизить систему А. Г. Вернера к системе Р. Ж. Гаюи. Таким образом, нельзя рассматривать руководство Г. И. Фишера как простую копию с иностранного образца. Следует отметить исключительную добросовестность автора этого труда, сказывающуюся, в частности, в обширных списках использованной литературы. К сожалению, такая добросовестность переходит нередко в педантичность и тяжеловесность изложения. Сейчас трудно даже представить себе, как могли студенты изучать минералогию и кристаллографию по неуклюжей книге Г. И. Фишера.<sup>14</sup>

<sup>8</sup> Там же, стр. 82.

<sup>9</sup> Там же, стр. 83.

<sup>10</sup> Там же, стр. 135.

<sup>11</sup> Там же, стр. 153.

<sup>12</sup> Там же, стр. 166.

<sup>13</sup> Там же, стр. 247.

<sup>14</sup> Б. Е. Райков писал о книге Г. И. Фишера: «Этот трудный учебник, изложенный довольно тяжелым языком, был также составлен в духе верне-

В 1819 г. была опубликована «История минералогии» А. М. Теряева, профессора естественной истории Медико-хирургической академии и Главного педагогического института.<sup>15</sup> В этой небольшой книжке дается систематический обзор истории минералогии, начиная от ее «древнего состояния» и кончая «новым и улучшенным состоянием». Особый интерес представляет глава «Состояние минералогии в нашем отечестве». К сожалению, в ней ничего не сказано о развитии кристаллографии в России.

Вместе с тем в главе «Новое и улучшенное состояние минералогии» приводится краткий разбор кристаллографических воззрений наиболее выдающихся зарубежных ученых. Для того чтобы дать понятие о характере изложения А. М. Теряева, приведем отрывок, касающийся истории кристаллографии. Упомянув систему А. Г. Вернера, А. М. Теряев пишет: «Все сие, вообще взятое, есть собственно так называемая Вернеровой минералогии номенклатура, которая во многом имеет сходство с Линнеевой ботанической терминологией и в систематическом виде расположенная составляет теоретическую, или предуготовительную, часть минералогии. В оной, по мнению многих, важнейший предмет есть определение наружного вида, особливо правильного, т. е. кристаллов, на которые еще в 1735 году Линней, находя некоторое сходство в образовании солей с определенным видом драгоценных камней, обратил особое внимание. Линней многие кристаллы определил с особой математической точностью, как то в изданной им в 1770 году «Минералогии» изображения кристаллов доказывают; и едва ли не первый химику Бергману подал повод к открытию в некоторых известково-шпатовых кристаллах особого основного ромбоидального ядра.

«Ромэ Делиль в рассуждении сего предмета простер исследования свои еще далее; а в новейшие времена Гаюи не только открыл во многих других кристаллах особое основное ядро или коренные кристаллы (noyau), дальнейшему правильному сечению не подлежащие, наименовав оные видами первообразными (formes primitives), но и показал самые законы наращения их и образования через частицы совокупления (molecules integrantes). Первых принимает он шесть видов, а последних три. Все сии законы про-

---

ровской школы. За неимением другого он довольно долго употреблялся в наших высших учебных заведениях». Тяжелый язык книги объяснялся следующим: «Г. И. Фишер не владел достаточно русским литературным языком и писал свое руководство по-немецки. На русский язык его перевел секретарь Московского общества сельского хозяйства С. А. Маслов. Последний не был минералогом и не мог передать удовлетворительно сложных и точных определений и описаний вернеровской школы» (Б. Е. Райков. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 283).

<sup>15</sup> А. Теряев. История минералогии, или Краткое изображение основания, приращения и усовершенствования оной науки, особливо в последнее двадцатилетие. С присовокуплением главного основания новейших систем по всем частям всеобщей минералогии. СПб., 1819.

исхождения первообразных и второобразных кристаллов с дальнейшими их изменениями известны ныне под именем кристаллографии Гаюи, сделавшей почти особой, весьма занимательной, но многотрудной наукой».<sup>16</sup>

С течением времени система Р. Ж. Гаюи заняла первенствующее положение в русских курсах минералогии, отодвинув на задний план минералогию А. Г. Вернера. Развитие науки уже не позволяло ограничиваться одними словесными описаниями, оно требовало более точных сведений, по возможности подкрепленных математическими данными.

Таким требованиям и должна была служить «Минералогия по системе г. Гаюи», изданная в 1824 г. профессором физики Петербургского университета Н. П. Щегловым. По отзывам современников, Н. П. Щеглов был богато одаренной личностью. Он опубликовал ряд учебников по физике, химии, ботанике и минералогии. С 1824 по 1831 г. им издавался «Указатель открытий по физике, химии, естественной истории и технологии». «Лекции по своему предмету он читал превосходно. . . излагал ясно, отчетливо, занимательно, приучал одинаково любить и отвлеченное знание и стремиться к практическому его приложению. Огромные заслуги его в отношении к распространению естествознания в России несомненны», — писал о Н. П. Щеглове известный литератор и ректор университета, друг А. С. Пушкина, П. А. Плетнев.<sup>17</sup>

Предисловие к своей книге «Минералогия по системе г. Гаюи» Н. П. Щеглов начинает следующей фразой: «Целому свету известно, что покойный Гаюи глубокими исследованиями своими поставил минералогию на степень точной науки».<sup>18</sup> Здесь особенно важно обратить внимание на последние слова: минералогия, а вместе с ней и кристаллография стали точными науками. Кристаллографическая теория Р. Ж. Гаюи дала возможность подвести математический фундамент под минералогические описания.

Вот как формулирует Н. П. Щеглов стоящую перед ним задачу: «Желая познакомить соотечественников моих, не знающих иностранных языков, с единственным методом Гаюи, я предпринял издать в сокращенном виде и удобопонятным для всех образом минералогическую систему его. . . Мне весьма приятно думать, что сие сочинение познакомит соотечественников моих вместе и со всеми новейшими открытиями по сей части, а может быть, послужит и руководством к открытию в России многих таких минералов, кои доселе неизвестны по причине недостаточных методов исследования».<sup>19</sup>

<sup>16</sup> Там же, стр. 14—15.

<sup>17</sup> Цит. по: Д. Б. Г о г о б е р и д з е. Замечательный русский физик Э. Х. Ленц. Вестн. Ленингр. гос. унив., 1950, № 2, стр. 13.

<sup>18</sup> Н. Щ е г л о в. Минералогия по системе г. Гаюи. СПб., 1824, стр. 1.

<sup>19</sup> Там же, стр. 1—2.

Книга написана Н. П. Щегловым очень просто и ясно. В качестве примера приведем отрывок, описывающий строение кристаллических минералов и раскалывание их по спайности: «Минералы состоят из одинаковых частиц, связанных между собой сцеплением. Частицы сии столь малы, что избегают глаз наших, даже вооруженных наилучшими оптическими орудиями. Но большое количество минералов подвергается некоторого рода анатомической операции, помощью коей мы можем разделять пластинки, их составляющие, и доходить, таким образом, постепенно до физического разложения их на малые тела постоянной формы и совершенно сходные друг с другом. Ежели сии малые тела и не представляют настоящих последних частиц минералов, то мы можем по крайней мере заключать, что они с ними имеют необходимую связь по форме их; мы можем считать их за равнодействующие, а в этом и заключается все, чего можем мы надеяться от исследований, направляемых к предметам, сокрытым в самых последних изгибах природы».<sup>20</sup>

Таким простым и ясным языком Н. П. Щеглов излагает в первой главе своей книги теорию кристаллического строения Р. Ж. Гаюи.

Вторая глава носит название «О признаках минералов вообще». В ней рассматриваются признаки геометрические (углы на кристаллах, спайность, излом), физические и химические. Далее следует описание отдельных минеральных видов, причем автор усердно отмечает новооткрытые минералы и упоминает о месторождениях их в России. Мы не можем согласиться с Б. Е. Райковым, писавшим, что «„Минералогия“ Щеглова, вышедшая в 1824 году, была не чем иным, как сокращенным переводом известного сочинения французского минералога Гаюи, причем данные о русских месторождениях минералов там отсутствуют. Конечно, такая книга не могла служить руководством для русских студентов».<sup>21</sup> Действительно, книга Н. П. Щеглова не является оригинальной. Она представляет лишь популярный пересказ теории Р. Ж. Гаюи. Однако сокращенное изложение упомянутой теории дается в ней в такой ясной и доступной форме, что после тяжеловесных учебников XVIII столетия и неуклюжего руководства Г. И. Фишера книга Н. П. Щеглова должна была производить самое отрадное впечатление.

Начиная с 30-х годов прошлого столетия, изложение основ кристаллографии по Р. Ж. Гаюи заменяется в учебниках минералогии классификацией форм по Х. С. Вейсу и его последователям — Г. Розе, К. Ф. Науману и др. В связи с этим необходимо вкратце напомнить о роли Х. С. Вейса и его школы в истории кристаллографии.

<sup>20</sup> Там же, стр. 5.

<sup>21</sup> Б. Е. Райков. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 284.

Х. С. Вейс (1780—1856) изучал минералогию во Фрейберге у А. Г. Вернера. Вскоре, оценив превосходство математически точной кристаллографии Р. Ж. Гаюи над словесно-описательной методикой А. Г. Вернера, он занялся переводом «Курса минералогии» французского ученого. Однако этот перевод Х. С. Вейс снабдил статьёй «Динамическое воззрение на кристаллизацию», где он критиковал атомистическую структурную теорию Р. Ж. Гаюи и противопоставлял ей динамическое учение о строении вещества.

Сторонники идеалистического динамического учения считали, что материя образована противоположными силами притяжения и отталкивания. Они отрицали атомы и рассматривали химическое соединение как полное взаимопроникновение его элементов.<sup>22</sup> В течение всей своей жизни Х. С. Вейс поддерживал это направление, выступая противником атомистической теории. Кристаллография, по его мнению, должна базироваться исключительно на изучении внешних форм. В основу учения о кристаллах он положил понятие об осях.

«Ось есть линия, господствующая над всей фигурой кристалла, так как вокруг нее все части расположены подобным образом», — писал Х. С. Вейс в диссертации «О способе определения основного геометрического характера кристаллических форм» (1809 г.).<sup>23</sup> Тщательное изучение внешней формы кристаллов привело Х. С. Вейса к открытию известного закона поясов, носящего его имя, и к установлению кристаллографических систем (сингоний). Последние были описаны им в 1815 г. в статье «Наглядное изложение естественного деления систем кристаллизации».<sup>24</sup>

Х. С. Вейс резко противопоставлял кубическую систему (сингонию) всем остальным. Он называл ее правильной, сфероэдрической или равноосной системой. Для кубических кристаллов характерно наличие взаимно-перпендикулярных осей с равными единицами измерения. Главными формами этой системы являются октаэдр, куб и ромбододекаэдр («гранатоэдр»). Все остальные формы выводятся из них. Например, 48-гранник («пирамидальный гранатоэдр») можно получить из ромбододекаэдра («гранатоэдра»), если каждую ромбическую грань последнего покрыть четырехгранными пирамидами, с гранями в виде одинаковых неравносторонних треугольников. Все простые формы кубической системы делятся, по Х. С. Вейсу, на «полногранные» и «неполно-

<sup>22</sup> Н. А. Фигуровский и В. И. Куринной. Развитие атомистического учения в трудах русских химиков первой половины XIX века. Труды Инст. истории естествозн. и техники, т. 12, 1956, стр. 12.

<sup>23</sup> Цит. по: В. Уэвелль. История индуктивных наук, т. III. СПб., 1869, стр. 287.

<sup>24</sup> Ch. S. Weiss. Uebersichtliche Darstellung d. verschiedenen natürlichen Abtheilungen d. Krystallssysteme. Abhandlungen d. physikalischen Klasse d. Königlich-Preussischen Akademie d. Wissenschaften. Berlin, 1813—1815, стр. 289—336.



гранные». К первым, например, относится октаэдр, ко вторым — тетраэдр, обладающий половиной граней по сравнению с октаэдром. Тетраэдр получается из октаэдра путем удаления одной из каждых двух соседних граней. Подобным же образом получается пентагон-додекаэдр из пирамидального куба (тетрагексаэдра), и т. п.

На основании такого подразделения форм Х. С. Вейс делил правильную (кубическую) систему на две: 1) гомосфероэдрическую систему, характеризующуюся тем, что принадлежащие ей формы имеют полное число граней, и 2) гемисфероэдрическую систему, характеризующуюся формами с половинным числом граней (к ней относятся тетраэдрическое и пентагон-додекаэдрическое подразделения).

Правильной (кубической) системе противопоставлялись, с одной стороны, системы с тремя взаимно-перпендикулярными осями, где, однако, не все три оси равны между собой. Сюда относились четырехчленная (тетрагональная) система, в которой две оси равны, а третья не равна, а также дву- и двучленная (ромбическая), дву- и одночленная (моноклиная), одно- и одночленная (триклиная) системы, где все три оси не равны. В отличие от нынешней установки Х. С. Вейс для моноклиной и триклиной сингонии также принимал прямоугольную систему координат. Разбирая простые формы этих сингоний, Х. С. Вейс всюду подчеркивал их аналогию с формами кубической сингонии, что отразилось и в названиях. Так, например, тетрагональная дипирамида называлась им «квадратным октаэдром», ромбическая дипирамида — «ромбическим октаэдром», и т. п.

С другой стороны, Х. С. Вейс отличал системы, в основании которых положены не три взаимно-перпендикулярные оси. Сюда относились шестичленная (гексагональная) и трех- и трехчленная (тригональная) системы. В них одна неравная ось перпендикулярна трем равным осям, образующим между собой углы в  $120^\circ$ .

В статье Х. С. Вейса поражает полное отсутствие каких бы то ни было четких указаний на симметрию кристаллов, хотя вся его классификация основана на различии осей симметрии, что нашло выражение и в названиях сингоний (систем).

Вскоре после выхода в свет работы Х. С. Вейса начались дебаты по поводу приоритета установления сингоний. Одни приписывали честь этого открытия Х. С. Вейсу, другие указывали на то, что еще до опубликования статьи последнего венский профессор минералогии Ф. Моос в своих лекциях подразделял кристаллы на те же системы.

Ф. Моос (1773—1839) известен главным образом по шкале твердости, носящей его имя и сохранившей до сих пор значение в минералогической практике. Однако в свое время этот ученый славился и как кристаллограф. В «Основах минералогии», появившихся в 1822 г., Ф. Моос описывал свою классификацию

кристаллов. Так же как и Х. С. Вейс, он рассматривал кристаллические формы с помощью кристаллографических осей, а для моноклинных и триклинных кристаллов принимал прямоугольные системы осей. В этом отношении им был сделан шаг вперед по сравнению с Х. С. Вейсом.

Приведем названия сингоний, предложенные Ф. Моосом (в скобках приведены современные названия сингоний): тессулярная (кубическая), пирамидальная (тетрагональная), ромбоэдрическая (гексагональная и тригональная), призматическая (ромбическая), гемипризматическая (моноклинная) и тетартопризматическая (триклинная).

Х. С. Вейс, будучи профессором Берлинского университета, пользовался славой первостепенного педагога в области кристаллографии и минералогии. Среди его многочисленных учеников и последователей были также и русские ученые. В частности, лекции Х. С. Вейса слушали известный метеоролог и кристаллограф А. Я. Купфер и выдающийся минералог, автор 11-томных «Материалов для минералогии России» Н. И. Кокшаров.

В своих воспоминаниях Н. И. Кокшаров оставил красочный портрет Х. С. Вейса, а попутно рассказал и о полученной им самим высокой оценке со стороны немецкого ученого: «Вейс на своих лекциях представлял собой весьма внушительную и типичную фигуру. Он был худощав, имел тонкие черты лица, и когда увлекался преподаваемым предметом, то глаза его блестели. Белоснежные, седые волосы падали почти на плечи, одет он был очень чисто, всегда в белом галстуке с накрахмаленным жабо и в длинном черном сюртуке. Держа в левой руке кристалл или деревянную модель кристалла, правой рукою, вооруженную перочинным ножиком, он указывал на разные части кристалла, слегка касаясь их острым концом ножика. При движении рук постоянно сверкал превосходный крупный бриллиант его перстня с гранью, исполненной по всем правилам шлифовального искусства. Иногда Вейс устраивал для нас практические беседы. Во время таких бесед старик Вейс сидел в своем белом галстуке с перочинным ножом в руке, окруженный множеством ящиков, наполненных минералами. Выбрав один из них, он обращался к каждому из нас с вопросом: как называется минерал. Но в нашей аудитории было мало практиков-минералогов, и в этом отношении я был едва ли не из самых сильных. Однажды я особенно угодил ему: проходя ряды присутствующих, Вейс показал очень редкий минерал из Шотландии — гренокит, с которым слушатели были мало знакомы, но который был мне хорошо известен. Вейс спросил: „С каким минералом сходен наружный вид гренокита? Но, конечно, — добавил он, — с минералом, не имеющим с ним ничего общего“. Видя, что никто не отвечает, я решился сказать: „С корундом“. Старик пришел в восхищение от моего ответа, так как оказалось, что он был того же мнения. С этих пор он начал обращать на меня

особое внимание и чаще прежнего задавал те или другие вопросы». <sup>25</sup>

Учеником и многолетним помощником Х. С. Вейса был известный немецкий минералог Г. Розе (1798—1873). Имя Г. Розе, спутника А. Гумбольдта по уральскому путешествию и автора описания этого путешествия, тесно связано с развитием минералогии в России. Недаром Е. С. Федоров среди «отцов русской минералогии» наряду с Н. И. Кокшаровым и Р. И. Германом называл и Густава Розе.

Направление, развивавшееся Х. С. Вейсом и его последователями в кристаллографии, прочно держалось в науке вплоть до конца XIX столетия. Вот как характеризовал это направление Е. С. Федоров: «Вейс отбросил представление о каких-либо примитивных формах, а вместе с тем и о правильности расположения частиц в пространстве, а изложение кристаллографии основал на понятии о кристаллографических осях. Он долгое время искал в этих осях того, что весьма упрощало бы изложение кристаллографии, — прямоугольности; упрощая, это представление привело бы, однако, так сказать, и к обнищанию нашей науки, утомительному однообразию, против которого всегда в истории наук энергично протестовала сама природа вещей.

«В общем Вейс по сравнению с Гаюи был явным шагом назад, так как вместо систематического развития идеи, положенной Гаюи как надежное основание будущего здания, Вейс, уступая духу эмпиризма, в значительной мере стал делать шаги ощупью, пытаясь без всякой руководящей идеи установить законности, противоречащие природе вещей, например пытаясь найти для каждого кристалла три взаимно-перпендикулярные оси (что при дальнейшем развитии наук оказалось прямо нелепостью), пытаясь найти простые числовые соотношения в величинах отрезков осей. А так как такие попытки противоречили истинной природе вещей, то явилась натяжка. Особенно это сказалось в желании выразить отрезки осей хотя бы квадратными корнями небольших целых чисел, так как выражать в самих целых числах было решительно невозможно. Конечно, такие неудачные попытки двигаться ощупью еще более дискредитировали всякие теоретические попытки. И вот наступил столь долго тянувшийся и столь упрочившийся наумановский период кристаллографии с почти полной научной бесплодностью». <sup>26</sup>

Последняя фраза целиком относится к школе последователя Х. С. Вейса — К. Ф. Наумана (1797—1873), долгое время считавшегося общепризнанным авторитетом в кристаллографии.

---

<sup>25</sup> Н. И. Кокшаров. Воспоминания. Русская старина, т. 66, 1890, стр. 520.

<sup>26</sup> Е. С. Федоров. Из итогов тридцатилетия. М., 1904, стр. 11.

Однако относительно самого Х. С. Вейса Е. С. Федоров делает далее следующую оговорку: «Вейс еще подарил нас новой формой основного закона кристаллографии, так называемым законом поясов, значение которого особенно резко выделялось в самое последнее время».<sup>27</sup>

Значительно более высокая оценка трудов Х. С. Вейса со справедливыми поправками на их исторически неизбежные недочеты дается другим отечественным корифеем в области минералогических наук — В. И. Вернадским: «Он (Вейс, — *II. III.*) положил начало точному геометрическому исследованию кристаллов и собрал огромный материал наблюдений. Натурфилософ по направлению, противник атомистики и оригинальный представитель своеобразных динамических воззрений на строение вещества, Вейс первый положил начало учению о векторах в кристалле, введя в кристаллографию учение об осях (1804—1809). Вейс подверг критике теорию Гаюи и указал на полную независимость открытого Гаюи закона параметров от того или иного представления о строении кристалла. В те же годы он начал развивать идею о расположении плоскостей в кристалле по известным поясам, идею зон; открытые им при этом законности были позже связаны Нейманном (1823) с законом параметров и являются особым, своеобразным его выражением. В 1814 году он впервые вводит понятие о гемиедри и кладет начало учению о симметрии кристаллических многогранников. В 1815 году, развивая идеи Бернгарди (1807), он точно устанавливает те 6 кристаллических систем, которые и теперь являются основой описательной кристаллографии. В ряде блестящих работ, в той же первой четверти XIX века, Вейс положил начало геометрическому изучению законов двойников в связи с идеей о симметрии кристаллических тел.

«Эта идея симметрии была им выражена очень туманно, хотя она вытекала из его философских воззрений. Вейс не понял значения его широкого и блестящего математического развития, которое лежит в основе современных нам учений о кристаллах; он не дошел до ее окончательного выражения».<sup>28</sup>

В русской учебной литературе изложение основ кристаллографии по Х. С. Вейсу и его последователям — Г. Розе и К. Ф. Науману сохранялось до самого конца XIX столетия. Оно нашло свое отражение и в известных «Лекциях минералогии» Н. И. Кокшарова (1863 г.). Коренной перелом наступил лишь после появления «Краткого руководства по кристаллографии» Е. С. Федорова (1891 г.), в основу которого была положена новая теория строения кристаллов.

---

<sup>27</sup> Там же, стр. 10.

<sup>28</sup> В. И. Вернадский. Основы кристаллографии. М., 1904, стр. 16—17.

Первым русским учебником, в котором давалось описание кристаллографических систем, явились «Начальные основания минералогии» А. Ловецкого.

Алексей Леонтьевич Ловецкий (1787—1840) был профессором натуральной истории в Московском университете, где им читались курсы зоологии, минералогии, физиологии, патологии и сельского хозяйства. Как зоолог он занимался изучением рыб. Однако сохранились данные, свидетельствующие об его особом интересе и к вопросам кристаллографии. Так, например, А. И. Герцен, бывший слушателем А. Л. Ловецкого, выступил по его совету со студенческим докладом на тему «О кристаллизации, ее условиях, законах, формах». В «Былом и думах» в юмористическом тоне описывается торжественное заседание, на котором выступал студент Герцен: «Итак, во имя Гаюи, Вернера и Митчерлиха, я прочел свою лекцию».<sup>29</sup>

Повышенный интерес А. Л. Ловецкого к кристаллографии нашел свое отражение и в его «Начальных основаниях минералогии», в предисловии к которым он писал: «Предваряю почтенных читателей, что они в сей книжке не сыщут надлежащей полноты и совершенства. Недостатков много, но важнейший тот, что статья о кристаллизации изложена в весьма сокращенном виде». В примечании добавлено: «Этот недостаток в скором времени пополнится изданием особой книжки, содержащей в себе рассуждение о кристаллизации минералов».<sup>30</sup>

Первый раздел книги целиком посвящен кристаллографии. Открывается он параграфом «О строении минералов», в котором приводятся взгляды Р. Ж. Гаюи на строение кристаллов и на сложение их из частиц «цельных» (*molecules integrantes*) и «составных» или «основных» (*molecules élémentaires*).

Подробно рассматриваются условия, способствующие правильной кристаллизации. К ним относятся: удобоподвижность частиц, охлаждение и испарение жидкости, содержащей минеральные частицы, и покой («отсутствие условий, которые могли бы нарушить и возмутить тихое и постепенное сближение и сцепление цельных минеральных частиц между собой»<sup>31</sup>). Далее следует исторический

<sup>29</sup> А. И. Герцен. Былое и думы. Госиздат, М., 1937, стр. 222. А. И. Герцен дает также карикатурный портрет самого А. Л. Ловецкого и забавное описание его лекций по минералогии: «Он, еще не входя в аудиторию, начинал ровным и бесстрастным (что очень хорошо шло к каменному предмету его) голосом: „Мы заключили прошедшую лекцию, сказав все, что следует, о кремнеземии“, потом он садился и продолжал „о глиноземии“. . . У него были созданы неизменные рубрики для формулярных списков каждого минерала, от которых он никогда не отступал: случалось, что характеристика иных определялась отрицательно: „Кристаллизация — не кристаллизуется, употребление — никуда не употребляется, польза — вред, приносимый организму“» (там же, стр. 221).

<sup>30</sup> А. Л о в е ц к и й. Начальные основания минералогии, ч. I. М., 1832, стр. 1.

<sup>31</sup> Там же, стр. 11.

обзор развития кристаллографии. К «минералогам, совершенствовавшим науку о кристаллизации», А. Л. Ловецкий причисляет Линнея, Каппелера, Ромэ Делиля, Вернера, Гаюи, Бедана, Мооса и Вейса. Изложение взглядов ученых на кристаллы сопровождается критическими замечаниями самого А. Л. Ловецкого. Так, например, рассмотрев классификацию кристаллических форм А. Г. Вернера, А. Л. Ловецкий пишет: «Метода сия неосновательна: ибо 1) ограничивается одними внешними признаками, без всякого отношения к внутреннему строению кристаллов; 2) потому, что в воле наблюдателя состоит принять ту или другую основную форму, когда он описывает разности одного и того же вида, имеющего многочисленные изменения в кристаллических формах; например, известковый шпат по сей методе может иметь до пяти основных форм, как-то: параллелепипед, призму, пирамиду, таблицу, чечевицу; 3) что большая часть основных форм сей методы суть производные от других простейших форм. Метод Ромэ Делиля хотя гораздо выше и ближе к совершенству, нежели Вернеров, однако же и он неудовлетворителен, ибо ограничивается одними внешними наблюдениями, глазомером и некоторыми механическими измерениями».<sup>32</sup>

В противоположность А. Г. Вернеру и Ромэ Делилю А. Л. Ловецкий особенно высоко оценивал заслуги Р. Ж. Гаюи, связавшего изучение внешних форм с внутренним строением кристаллов: «Гаюи — основатель нынешней кристаллографии, как науки точной».<sup>33</sup> После разбора классификации кристаллов по Р. Ж. Гаюи («Второобразные формы кристаллов») А. Л. Ловецкий переходит к описанию шести систем кристаллизации по Ф. С. Бедану.<sup>34</sup> Перечень этих систем (сингоний) в том виде, как их перевел на русский язык А. Л. Ловецкий, приведен в конце настоящего очерка. После изложения классификации кристаллов по Ф. С. Бедану А. Л. Ловецкий переходит к описанию систематики Х. С. Вейса, который выделял две главные системы кристаллизации: «правильную, сферическую, и гексагональную».

В параграфе «О неправильном строении минералов, или возмущенной кристаллизации» А. Л. Ловецким описываются искаженные формы кристаллов, двойники и неправильные сростки. В конце этого параграфа упоминается об открытии полиморфизма и изоморфизма, нанеших столь сильный удар по теории Р. Ж. Гаюи. А. Л. Ловецкий пишет об этом так: «Строение минералов долгое время почиталось одним из важнейших признаков, служащих для различения минеральных родов и видов одних от других; но оно много потеряло своей цены с тех пор, как Бедан и Митчерлих опытом доказали, что нередко один и тот же минерал попадает в различных формах и что два минерала, состоящих

<sup>32</sup> Там же, стр. 13.

<sup>33</sup> Там же, стр. 14.

<sup>34</sup> F. S. Beudant. *Traité élémentaire de mineralogie*. Paris, 1824.

из разнородных начал, могут иметь одинаковую форму».<sup>35</sup> В согласии с Ф. С. Беданом А. Л. Ловецкий принимает три главные причины, изменяющие форму кристаллов одного и того же вещества: 1) механические примеси; 2) свойства жидкости, в которой кристаллизуется данное вещество; 3) посторонние вещества, соединяющиеся с кристаллизующимся телом химически.

Дальнейший текст книги А. Л. Ловецкого относится к собственно минералогии и поэтому нами не рассматривается. Приведем лишь его высказывание о систематике минералов, в которой, по его мнению, должны приниматься во внимание и химический состав, и физические свойства: «По моему суждению, та минералогическая метода должна быть лучшей, в которой признаки химические соединены вместе с признаками, взимаемыми от строения минералов, цвета, блеска, удельного веса и проч. Ибо минералогия, взятая в тесном смысле, есть наука о формах, в которых минеральные тела являются в природе, о их ближайших к чувствам свойствах, которыми они отличаются одни от других, а не о свойствах простых начал, из которых минералы составлены. Словом, химия для минералогии должна быть только средством, а не целью».<sup>36</sup> Далее А. Л. Ловецкий приводит собственную систематику минералов, в которой он пытался практически осуществить свои требования.

В свое время «Начальные основания минералогии» имели успех. По свидетельству знаменитого московского профессора-зоолога К. Ф. Рулье (1814—1858), эта книга так быстро разошлась, что он при всех стараниях не мог разыскать ее ни в одной книжной лавке. Сам К. Ф. Рулье изучал минералогию по учебнику А. Л. Ловецкого и, по его собственным словам, более чем через двадцать лет был «готов прочесть наизусть несколько страниц».<sup>37</sup>

Вообще книга А. Л. Ловецкого имела ряд достоинств. В ней, в частности, подчеркивалось значение геологических идей М. В. Ломоносова (генезис каменного угля, нефти, янтаря, торфа, роль внутреннего жара земли в геологических процессах).<sup>38</sup>

С точки зрения истории кристаллографии в России этот учебник интересен тем, что в нем достаточно полно нашли отражение успехи науки о кристаллах того времени и что А. Л. Ловецкий стремился их широко применить в деле изучения минералов.

В 1832 г. вышло в свет двухтомное «Руководство к минералогии» Д. И. Соколова.

---

<sup>35</sup> А. Л о в е ц к и й. Начальные основания минералогии, ч. I, стр. 23.

<sup>36</sup> Там же, стр. 83—84.

<sup>37</sup> К. Ф. Р у л ь е. Ловецкий Алексей Леонтьевич. В кн.: Словарь профессоров и преподавателей Московского университета, т. I. М., 1855, стр. 467.

<sup>38</sup> С. Р. М и к у л и н с к и й. Из истории биологии в России в 20—30-е годы XIX века. В кн.: Вопросы истории естествознания и техники. вып. 1. Изд. АН СССР. М.—Л., 1956, стр. 105.

Труды Дмитрия Ивановича Соколова (1788—1852), популярного профессора минералогии и геологии в Петербургском университете и Горном институте, за последнее время привлекли к себе внимание ряда авторов.<sup>39</sup> Имя его должно занять свое место и в истории кристаллографии в нашей стране. По-видимому, первый цикл лекций, посвященный собственно кристаллографии, был прочитан в России именно Д. И. Соколовым (в своих лекциях он придерживался курса Г. Розе).<sup>40</sup> «Руководство к минералогии» в отличие от других учебников того времени вовсе не имеет кристаллографической части. Объясняется это тем, что в Горном институте (тогда Горном кадетском корпусе) основы кристаллографии читались отдельно от минералогии, в качестве подготовительного курса к последней. Несмотря на это в «Руководстве» Д. И. Соколова содержится ряд интересных высказываний, имеющих прямое отношение к кристаллографии. В них автор выступает как ярко выраженный поборник химического направления в минералогии.

Приведем отрывок, в котором Д. И. Соколов объясняет, почему он отказывается систематизировать минералы на основании их кристаллографических свойств: «Что касается, наконец, до кристаллического образования минералов, то сие обстоятельство может, кажется, только в частных случаях иметь влияние на свойства помянутых тел, а потому и не должно включать оное в общие условия единства минеральных пород. Не говоря об изменении углов первообразной формы одного и того же главного вида (прямой или косвенной ромбоидальной призмы, ромбоэдра и др.), которое может зависеть от посторонних примесей, температуры и других побочных причин, самая даже главная перемена сих форм, когда они делаются несовместимыми (куб и прямоугольный параллелепипед), не всегда влечет за собой существенную перемену в свойствах минерала, и тела одинакового состава, к разным кристаллическим системам принадлежащие, не всегда должны быть причисляемы к различным породам. Атомы минерала могут принять другое соединение в самых интегральных частях и первообразной форме, и в таком случае изменившаяся плотность минерала влечет за собой изменение уравнительного веса и твердости, а иногда также блеска и прозрачности. В другом случае интегральные части минерала, без всякой перемены в собственном сложении своем, сгучиваясь около одной и той же первообразной формы и только отступая от закона симметрии, не будут на всех

<sup>39</sup> Б. Е. Р а й к о в. Д. И. Соколов. В кн.: Б. Е. Р а й к о в. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 240—320; А. С. П о в а р е н н ы х. Д. И. Соколов. Бюлл. Моск. общ. испытателей природы, отд. геолог., т. 27, вып. 5—6, 1952, стр. 79—85.

<sup>40</sup> В. Н. А г а ф о н о в. Исторический очерк развития минералогии и кристаллографии в России. В кн.: Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, полутом 55. СПб., 1899, стр. 746.



соответственных частях сей формы соблюдать одинаковый закон уменьшения. Тогда минерал выйдет только из обыкновенной кристаллической системы своей, но существенные свойства остаются его неизменными». <sup>41</sup>

В приведенном отрывке чувствуется то большое впечатление, которое произвели на Д. И. Соколова открытия явлений изоморфизма и морфотропизма. Одновременно мы видим здесь и реакцию на слишком упрощенное использование кристаллографии в целях классификации минералов. Колебания углов на кристаллах и появление новых форм, связанных с изменением состава, привели Д. И. Соколова к заключению о ненадежности кристаллической формы вообще в деле определения минерала. К сожалению, сам Д. И. Соколов практически не изучал кристаллические формы и потому не мог убедиться в преждевременности своего заключения. Как известно, угловые величины являются характерными константами минералов и колеблются параллельно с изменением химического состава. С химизмом как самого кристалла, так и окружающей его среды тесно связано и возникновение тех или иных граней. Вместе с тем Д. И. Соколов правильно отмечал возможные отклонения кристаллов от идеальных форм, вследствие того что частицы неправильно «скачиваются» вокруг исходной кристаллической формы. В этом пункте он выступал как предшественник «теории скачивания» М. В. Ерофеева.

Несомненный интерес представляет и следующий отрывок из работы Д. И. Соколова: «Наконец, в суждении о единстве минералов не должно опускать из вида еще одного обстоятельства, которое укрывалось до сего времени от внимания минералогов-систематиков. Не только однообразные вещества, как составные части минералов, могут взаимно замещаться без ощутительной перемены в свойствах минерала, но также и самобытные соединения или различные минералы, имея одинаковую или только подобную первообразную форму, при некоторых условиях могут сцепляться между собой по законам механическим. И сия механическая однообразность играет, кажется, в составе минералов еще гораздо важнейшую роль, нежели однообразность химическая». <sup>42</sup> По справедливому замечанию А. С. Поваренных, здесь имелось в виду закономерное срастание различных минералов, т. е. то, что мы сейчас подразумеваем под названием эпитаксии. <sup>43</sup> Как подчеркнул сам Д. И. Соколов, он один из первых указал на широкое распространение данного явления в мире минералов.

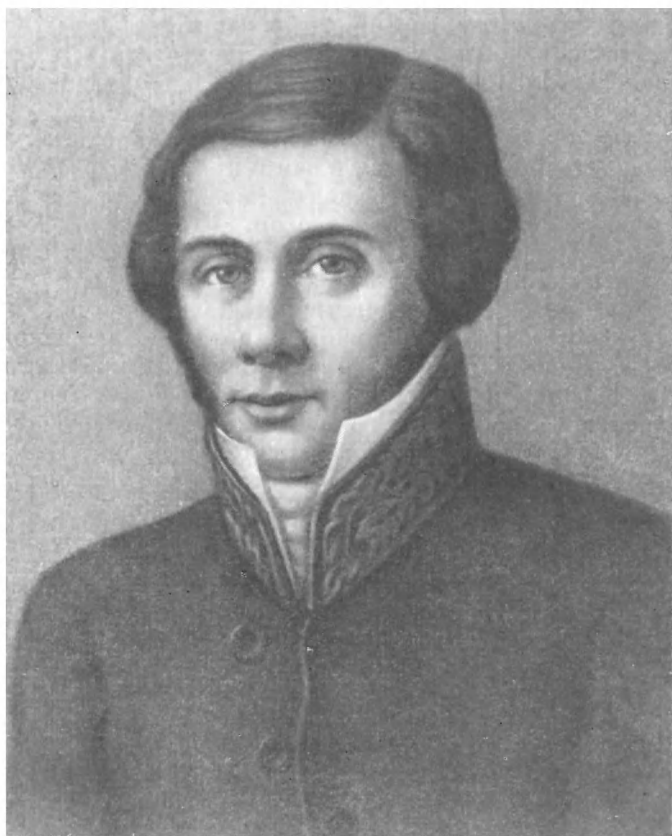
А. С. Поваренных отметил еще ряд интересных высказываний Д. И. Соколова, имеющих ярко выраженный кристаллохимиче-

<sup>41</sup> Д. И. Соколов. Руководство к минералогии, ч. I. СПб., 1832, стр. 875.

<sup>42</sup> Там же, стр. XVI.

<sup>43</sup> А. С. Поваренных. Д. И. Соколов. Труды Минералог. музея АН СССР, вып. 5, 1953, стр. 43.

ский характер. Таково, например, соображение о двойственной роли алюминия в слюдах и хлоритах, предвосхищающее знаменитую теорию В. И. Вернадского.<sup>44</sup> От всех остальных учебников по минералогии того времени «Руководство» Д. И. Соколова отличалось широтой охвата материала, глубиной и оригинальностью



Д. И. Соколов (1788—1852).

его трактовки. Это было отмечено и рецензентами книги академиками А. Я. Купфером и Г. И. Гессом. На основании их отзыва Академия наук присудила Д. И. Соколову Демидовскую премию, оценив его книгу как оригинальный научный труд.<sup>45</sup>

---

<sup>44</sup> Там же, стр. 45.

<sup>45</sup> Б. Е. Райков. Д. И. Соколов, стр. 285.

В 1835 г. Петербургское минералогическое общество выпустило солидный труд — «Главные основания минералогии» действительного члена общества, инженера-подпоручика А. Штурма. Из предисловия, подписанного дирекцией Минералогического общества, видно, что А. Штурма консультировали видные ученые — А. Я. Купфер, Г. И. Гесс и Э. Х. Ленц.

По замыслу автора, книга его должна была заключать «объяснение всех признаков, донныне открытых и введенных в область минералогии, равно как и всех способов постигать и открывать их». В ней давалось «изложение сведений о геометрических, физических и химических свойствах [минералов]». <sup>46</sup>

Сочинение А. Штурма отличается чрезвычайно детальным изложением. Подробно излагается в нем и кристаллография. В историческом обзоре автор книги подчеркивает роль кристаллографии в современной ему минералогии: «Последний период, от Гаюи до настоящего времени, отличается преимущественно кристаллографическим обработыванием ориктогнозии». <sup>47</sup>

Приведем несколько исторических характеристик из этого обзора: «Французская, или кристаллографическая, школа приняла за основание характеристики ископаемых кристаллический их вид и в особенности кристаллическое их строение. Теория Гаюи, при дальнейшем последовании оной, привела к совершенно новым понятиям и открытиям в области кристаллографии. Вейс в Берлине, как другой Гаюи, с большим остроумием упрочил систематические начала сей отрасли минералогии, проник в тончайшие и сокровеннейшие отношения кристаллических видов и первый распределил все кристаллические формы по известным системам». <sup>48</sup> Среди учеников Вейса А. Штурм упоминает и петербургского академика А. Я. Купфера, труды которого относятся к «математической кристаллографии».

В главе, трактующей о виде ископаемых (ориктоморфологии), А. Штурм подробно останавливается на кристаллографии: «Кристаллические виды тел вообще и ископаемых в особенности составляют предмет кристаллографии. Под сим названием разумеется в пространнейшем смысле наука о кристаллизации вообще, т. е. о явлениях, кои показывают тела кристаллические относительно наружного и внутреннего правильного их вида; в тесном смысле — одно токмо описание наружных кристаллических видов или кристаллов. Мы здесь принимаем сие название в пространнейшем его значении. Когда кристаллография ограничивается измерением и вычислением кристаллических углов, то именуется она к р и с т а л л о м е т р и е й; когда она исследует происхождение кристаллов — к р и с т а л л о г е н и е й; когда она соеди-

<sup>46</sup> А. Штурм. Главные основания минералогии. СПб., 1835, стр. 6.

<sup>47</sup> Там же, стр. 21.

<sup>48</sup> Там же, стр. 22.

няет с сим систематическую теорию всей кристаллизации, объясняя все явления сей последней и подводя оные под известные законы, то называется кристаллогией.<sup>49</sup> Часть оной составляет кристаллономию, или наука о законах, коим следует природа в формах кристаллических, и взаимных их отношениях. Наконец, когда она занимается исследованием токмо строения кристаллов или внутренних спайных плоскостей, то получает название кристаллотомии.

«Кристаллография может быть излагаема чисто математическим и минералогическим способом. В первом случае она рассматривает кристаллы токмо как тела геометрические, следует за геометрическими их отношениями так далеко, как сие позволяют начала математики, и выходит таким образом из пределов действительного в область математической возможности; в последнем случае исследует она кристаллы так, как они находятся в природе со всеми их физическими свойствами, и ограничивается рассмотрением тех токмо кристаллических форм, кои действительно встречаются в ископаемом царстве. Посему последний образ изложения совершенно соответствует цели ориктогнозии, которая должна сообщать эмпирические сведения о кристаллах, встречающихся в природе, и не выходить из пределов минералогии. Но как минералогическая кристаллография занимает многие объяснения из чисто математической, то последняя весьма поучительна для минералога, и вообще глубокое вникание в математические отношения кристаллических форм может ему оказать большую услугу независимо от цели ориктогнозии».<sup>50</sup>

В приведенном параграфе многое сохранило свое значение и до сих пор. Принятое А. Штурмом подразделение кристаллографии отчасти выдержало испытание временем, только с заменой старомодных названий современными («генетическая кристаллография» вместо «кристаллогении», «структурная кристаллография» вместо «кристаллотомии» и т. д.). Очень любопытны его высказывания о математическом и минералогическом способах изучения кристаллов. Под последним способом следует понимать учение о реальных природных кристаллах со всеми их осложнениями и несовершенствами. По строгости и точности подхода заслуживает внимания и само определение кристалла, данное А. Штурмом: «Тела, показывающие правильное строение внутри всей массы, называются кристаллическими; но те, в коих оно видно в наружном ограничении, именуются о кристаллованными или кристаллами».<sup>51</sup>

---

<sup>49</sup> Слово кристаллогия можно употреблять и в значении иностраннейшем, именно как название науки о кристаллизации, принимая кристаллографию (кристаллоописание) за часть сей последней. (Примеч. А. Штурма).

<sup>50</sup> А. Штурм. Главные основания минералогии, стр. 73—75.

<sup>51</sup> Там же, стр. 75.

В этом определении, как мы видим, приняты во внимание и внутреннее строение кристаллов и их внешняя форма. Этим оно значительно превосходит приводящиеся далее определения других авторов, исходивших только из внешней формы. А. Штурм разъясняет свое определение следующими двумя положениями: 1) «Всякое ископаемое окристаллованное есть вместе и кристаллическое, так что наружное ограничение плоскостями и углами указывает на соответственное внутреннее строение»; 2) «Многие ископаемые суть кристаллические, не будучи окристаллованными, т. е. они имеют внутри правильное образование плоскостей, но не показывают оного в наружном ограничении». После этих вводных положений следует подробнейшее описание «наружной кристаллизации», т. е. внешней формы кристаллов. Здесь, в частности, затрагивается и симметрия кристаллов, хотя и в очень приближенном виде: «В наружном ограничении кристалла вообще замечается, что некоторые его грани, ребра и углы соответствуют одни другим и сходятся между собой по некоторым отношениям, как-то: по положению, виду, величине, наклонению и по физическим явлениям. Сие свойство кристаллических форм называется симметрией, а общий закон, на котором оно основывается, — законом симметрии».<sup>52</sup> Несмотря на недостаточность этого определения, следует указать, что наряду с чисто внешней симметрией форм А. Штурм отмечает и симметрию физических явлений. Попутно он касается «полногранности» (голоэдри) и «полугранности» (гемиедри) форм, т. е. отмечает, в сущности, подразделения кристаллов по симметрии, хотя и в весьма несовершенной форме, предложенной Х. С. Вейсом.

В специальном параграфе «Углы кристаллов и измерение оных» детально описываются существовавшие в то время гониометры (прикасабельные и однокружные отражательные) и способы работы с ними.

Далее следует ряд параграфов, показывающих, как необычайно широко охватывал А. Штурм кристаллографические проблемы.

В параграфе «Изменяемость кристаллических углов» описывается (по Митчерлиху и Бедану) изменение углов на кристаллах в зависимости от температуры и химических примесей. Параграф «Величина кристаллов» содержит семибалльную шкалу А. Г. Вернера для характеристики кристаллов по их величине. В параграфе «Область кристаллов» описывается их образование: 1) в воде, 2) в области ископаемого мира, 3) при химических процессах (мокрым и сухим путем). Попутно отмечается сходство искусственно полученных кристаллов с кристаллами природных минералов. В специальном параграфе перечисляются кристаллические образования, найденные в органических телах, главным

---

<sup>52</sup> Там же, стр. 83—84.

образом в растениях. Очень любопытен параграф под названием «Время кристаллообразования». В нем проводится мысль, что те кристаллы, которые воспроизводятся искусственно (например, кристаллы солей), могут происходить на земле в любое время, тогда как бо́льшая часть глубинных кристаллических образований, «не воспроизводимых искусством», относится к давно минувшей эпохе формирования земного шара и, очевидно, не может возникать ныне. Параграф этот А. Штурм заканчивает следующими словами: «Подобно тому, как встречаются органические тела вымерших пород древнего мира, коих остатки, как памятники того времени, хранятся в горных логовищах, так, вероятно, находятся и окристаллованные тела, кои принадлежат только древнейшим периодам существования земного шара и которых образование не повторялось в последующее время. Напротив, вероятно, что и в новейшее время произошло то, чего в древности не было известно. И действительно, природа никогда не останавливается на одной и той же ступени, но развивается непрерывно, и как формы многих органических тел, по-видимому, изменились в течение тысячелетий, а может быть и новые породы оных произошли в позднейшее время, то, кажется, тем более в ископаемом царстве, где действует разнообразнейшей игрой сродство химическое, отличные от прежних химические соединения, принимая оную им свойственную кристаллизацию, образовали новые тела. В вулканических горах, на островах, вздымающихся со дна морей, справедливо можно предполагать образование новых кристаллов».<sup>53</sup>

Здесь А. Штурм выступает как убежденный эволюционист, затрагивающий вопросы геохимического порядка. Приведенный отрывок в какой-то мере, разумеется с существенными оговорками и поправками, предвещает будущие геохимические обобщения В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. Мы не можем, конечно, всецело приписывать А. Штурму сформулированные им идеи. Очевидно, сходные мысли высказывались и другими авторами той эпохи. Однако уже и то, что А. Штурм включил их в свою сводку, надо расценивать как несомненную его заслугу.

В дальнейшем автором рассматривается «обзор происхождения кристаллов», или «теория кристаллообразования». В первую очередь приводится «атомистическое объяснение кристаллообразования» по Р. Ж. Гаюи, с которым, однако, А. Штурм не был согласен. Он отмечает, что спайность наблюдается не во всех кристаллах, что предельно малые спайные осколки принимаются за первоначальные формы кристалла без всяких доказательств и что остается необъясненным, почему эти частицы притягиваются друг к другу.

В книге А. Штурма рассматривается и «динамическое объяснение кристаллообразований» по Х. С. Вейсу. Сторонники этой

<sup>53</sup> Там же, стр. 115—116.

теории сравнивали кристаллообразовательную силу с электричеством и магнетизмом, приписывая ей полярное действие. Это А. Штурм считает «малоудовлетворительным для объяснения сущности кристаллообразования». В заключение он пишет: «Надочно признаться, что кристаллообразование доселе столь же неудовлетворительно объяснено, как и жизненные явления, а по-сему, чтобы постепенно приближаться к объяснению, необходимо внимательное наблюдение явлений, замеченных во время и после кристаллообразовательного процесса».<sup>54</sup> А. Штурм рекомендует особенно внимательно присматриваться к росту кристаллов. Ссылаясь на наблюдение Глоккера, он отмечает, что кристаллы квасцов иногда начинают образовываться с ребер и вершин, давая скелетный кристалл. Возникновение граней на таком кристалле наблюдается уже впоследствии.

Специальный параграф посвящен рассмотрению «дальнейшего образования уже существующих кристаллов и явлений при оном». В нем описываются факты, наблюдающиеся во время роста кристаллов: «Образовавшийся кристалл, находясь в жидкости, которая еще содержит в себе растворенную массу собственной его породы, может и далее образоваться и увеличиваться через постепенное присоединение частиц сей массы».<sup>55</sup> А. Штурм отмечает, что такой рост происходит не в результате простого наложения растворенных веществ по закону притяжения, а вызывается особенным полярным притяжением самого кристалла. Усиленное внимание обращает он и на рост скелетных кристаллов: «Если в растворе недостает массы, то при дальнейшем увеличении известного кристалла углы и ребра образуются прежде, чем грани кристалла, отчего кристаллы нередко показывают углубление на местах граней. Часто грани довершаются впоследствии, например, когда жидкость постепенно сгущается через испарение или когда присоединяется новая масса; причем хотя форма и выходит правильной, но показываются некоторые изменения, например мутность кристалла и проч. Сим явлением можно объяснить заключенные во внутренности некоторых кристаллов (например, горного хрусталя) водяные капли, если предположить, что вода скоплялась в углублениях и что впоследствии новая масса сверху быстро образовалась».<sup>56</sup>

Мы нарочно выписали эти фразы, чтобы показать, в какие детали кристаллообразования вникает А. Штурм. Совсем недавно проф. О. М. Аншелес по сути дела повторил высказывания А. Штурма, указав, что «перекрытия маточного раствора нарастающими на грани слоями чаще всего и являются главным источником муты в кристаллах, их внутренней неоднород-

---

<sup>54</sup> Там же, стр. 119.

<sup>55</sup> Там же, стр. 122.

<sup>56</sup> Там же, стр. 122—123.

ности».<sup>57</sup> Так же как и современные нам авторы, А. Штурм тщательно описывает жидкие включения в кристаллах (кремнистую влагу и нефть в кварце, соленую воду в поваренной соли и т. д.).

В отдельном параграфе описываются «обстоятельства условия кристаллообразования». В нем, в частности, отмечается, что форма кристаллов зависит от степени насыщенности раствора. В качестве примера приводятся опыты Леблана с квасцами, образующимися то в виде октаэдров, то в виде кубов. Здесь же упоминается и о влиянии на кристаллизацию температуры, наличия воды в растворе, света, электричества, магнетизма, формы сосудов и т. д.

Особый раздел книги посвящен «кристаллическим системам вообще и кристаллическим формам в частности». В нем рассматриваются классификации кристаллов по Вернеру, Гаюи, Вейсу, Моосу, Науману, Гаусману, Грасману, Гесселю и Розе. Названия кристаллических систем, заимствованные А. Штурмом у Глокера,<sup>58</sup> приведены в конце настоящего очерка. После характеристики отдельных систем следуют детальные описания соответствующих простых форм.

Очень подробно останавливается А. Штурм на физических свойствах кристаллов вообще и на их оптике в частности. На приложенных к книге таблицах с иллюстрациями находится ряд изображений характерных фигур в сходящемся свете для одноосных и двуосных кристаллов.

Проведенный нами подробный разбор обширного сочинения А. Штурма показывает, что оно представляет собой весьма широко задуманную и интересно выполненную обобщающую сводку по кристаллографической и минералогической литературе того времени. По этой книге можно судить о высокой кристаллографо-минералогической культуре в нашей стране.

А. Штурм не только пересказал достижения зарубежных ученых, но и дал критический разбор их. В его книге содержится немало интересных обобщений и глубоких суждений, относящихся к кристаллографии. Однако руководством для студентов эта книга, конечно, не могла служить. По этому поводу Э. Гофман справедливо писал: «Прекрасное обширное сочинение Штурма „Главные основания минералогии“ едва ли может назваться удобным руководством, именно потому, что оно слишком пространно».<sup>59</sup>

В 1835 г. вышло в свет «Руководство к преподаванию минералогии» профессора Медико-хирургической академии Павла Федоро-

<sup>57</sup> О. М. Аншелес. Начала кристаллографии. Изд. Ленингр. гос. унив., Л., 1952, стр. 51.

<sup>58</sup> G l o c k e r. Uebersicht der Krystallisationsysteme in tabellarischer Form. Breslau, 1829.

<sup>59</sup> Э. Гофман. Общая ориктогнозия, или Учение о признаках минералов. Киев, 1840, стр. II.



вича Горянинова (1796—1865). Биографию этого ученого, одного из забытых предшественников Ч. Дарвина, с подробным разбором его трудов недавно опубликовал Б. Е. Райков в книге «Русские биологи-эволюционисты до Дарвина». Небольшой учебник П. Ф. Горянинова отличается от других руководств того времени своей философской направленностью. Все минеральное царство П. Ф. Горянинов, так же как и А. Н. Радищев, представляет в виде непрерывной цепи, первыми звеньями которой являются металлы и их руды, а последними — ископаемые тела органического происхождения. Мало того, как показал Б. Е. Райков, основной идеей автора является мысль о том, что между различными царствами природы нет резких границ и что вся природа от камня до человека представляет единое развивающееся целое. Сам П. Ф. Горянинов формулирует эти идеи следующим образом: «В таковых различиях нет точных пределов. Ибо некоторые кристаллы растут. Так, например, серебряное деревцо (*arbor Dianae*) образуется в растворе не мгновенно, но увеличивается постепенно наподобие низших тайнобрачных растений. Растениям свойственна низшая степень раздражительности, а в животных бессловесных обнаруживаются низшие степени разума: воображение, память, смысл. Из чего следует, что между телами нашей планеты нет совершенной или абсолютной противоположности — и малейшая песчинка возникает так же, как и первый пузырек человека, а все видимое нами представляет как бы лучезобразные ряды веществ, одушевленных всеобщей жизнью, различествующей лишь по степени проявления оной в разных телах: от льда и металлического кристалла до углистых минералов, от погруженных в органические тела растений (*Huroxyla*) до раздражительных мимоз и совершеннейших прозябаемых (*Magnoliaceae*), от лучиц, плесеней и трюфелей до акалеф, от инфузорий до обезьяны, от дитяти и слабоумного человека до взрослого и гениального».<sup>60</sup>

Собственно кристаллографии П. Ф. Горянинов отводит не очень много места в своей книге. В занимательно написанной истории минералогии он дает краткие сведения о главных минералогических школах: «школе наружных признаков» (Вернер), «школе химических признаков» (Кронштедт и др.), «математико-химической школе» (Гаюи) и «новейшей кристаллономической школе» (Вейс). Попутно им описываются основы систематики кристаллографических форм по А. Г. Вернеру и теории кристаллической структуры Р. Ж. Гаюи. Среди ученых, развивавших кристаллономическое направление, упоминается петербургский академик А. Я. Купфер. Отдельный параграф отведен «системам кристаллизации». Названия систем даются по К. Ф. Науману (см. стр. 144—145).

---

<sup>60</sup> П. Гор я н и н о в. Руководство к преподаванию минералогии. СПб., 1835, стр. 7—8.

В свое время «Руководство» П. Ф. Горянинова встретило хороший прием. «Это не методическое сухое исчисление и описание ископаемых тел, но весьма занимательный, полный систематический обзор всей неорганической природы, обогащенный новыми взглядами на таинства натуры», — писал о книге П. Ф. Горянинова К. И. Грум-Гржимайло.<sup>61</sup> Хороший отзыв о книге дал Д. И. Соколов в «Горном журнале». Однако от рассмотрения философской стороны работы он уклонился, так как такие вопросы, по его словам, «не входят в пределы Горного журнала».<sup>62</sup>

В настоящее время, оценивая «Руководство» П. Ф. Горянинова, нельзя не отметить его оригинальности и философской целеустремленности. К сожалению, автор не был специалистом-кристаллографом, в связи с чем кристаллографии в книге уделено сравнительно мало места.

В 1840 г. в Киеве была опубликована «Общая ориктогнозия, или учение о признаках минералов» Э. К. Гофмана (1801—1871).

Воспитанник Дерптского университета, Эрнст Карлович Гофман еще молодым человеком, в 1823—1826 гг., принял участие в кругосветном плавании на шлюпе «Предприятие» под командой капитана О. Е. Коцебу. Наблюдения над геологическим строением берегов Камчатки и Калифорнии доставили ему известность среди геологов. Позднее Э. К. Гофман проводил геологические исследования в Эстонии, Финляндии, на Украине, в Крыму. В 1837 г. он был избран профессором кафедры минералогии Киевского университета, а в 1845 г. возглавил кафедру минералогии Петербургского университета. Его экспедиции на Урал и Сибирь дали много нового для познания наших горных богатств.

«Общая ориктогнозия» Э. К. Гофмана содержит весьма обширную кристаллографическую часть, изложенную по Г. Розе. Сам автор пишет об этом так: «Что при обработке кристаллографической части следовал я способу изложения, которому следует Густав Розе, это должно составить сторону сочинения моего, для меня весьма выгодную, и если я строго придерживался способа, предложенного Густавом Розе, то это отнюдь не по пристрастию моему к этому отличному минералогу, слушателем которого имел я счастье быть целый год; но единственно только по убеждению моему, что способ этот есть самый естественный и удобопонятный, который без подробностей математических выкладок дает ясное, живое изображение переходов форм из одной в другие».<sup>63</sup> Важно отметить, что Э. К. Гофман сознает значение кристаллографии как самостоятельной науки, независимой от минералогии. «Кристаллография, сделавшись с некоторого времени отраслью математики, составляет уже сама по себе отдельную

<sup>61</sup> Б. Е. Р а й к о в. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 447.

<sup>62</sup> Там же.

<sup>63</sup> Э. Г о ф м а н. Общая ориктогнозия, стр. 3.

науку»,<sup>64</sup> — подчеркивает он. Уже отмечалось, что кристаллографическая часть его книги написана чрезвычайно детально. В ней подробно разбираются как отдельные системы (сингонии), так и характерные для них простые формы. Названия систем (сингоний), принятые Э. К. Гофманом и представляющие перевод терминов Г. Розе, приведены в конце настоящего очерка.

«Ориктогнозия» Э. К. Гофмана написана довольно тяжелым языком. Об этом предупреждает и сам автор в предисловии: «Относительно языка сочинение мое, наверное, имеет некоторые недостатки, и потому я почитаю нужным предупредить читателя, что язык, на котором это сочинение напечатано, не есть для меня язык родной».<sup>65</sup>

К. А. Тимирязев в известной статье «Развитие естествознания в России в эпоху 60-х годов» иронически вспоминает лекции Э. К. Гофмана, «на невозможном русском наречии сообщавшего скучнейшие педантические описания минералов и горных пород (под названием ориктогнозии)».<sup>66</sup>

Вообще этот весьма подробный учебник считался в свое время очень трудным для изучения. Недаром в 1845 г. Н. И. Кокшаров счел необходимым напечатать в «Горном журнале» новый перевод руководства Г. Розе «О начальных основаниях кристаллографии».

В 1844 г. вышла в свет еще одна «Ориктогнозия», составленная Эдуардом Ивановичем Эйхвальдом (1795—1876).<sup>67</sup>

Подробная биография и обзор научных трудов этого талантливого ученого, оставившего значительный след в истории отечественной палеонтологии, помещены в книге Б. Е. Райкова «Русские биологи-эволюционисты до Дарвина».<sup>68</sup> Для нас важно заметить, что молодым студентом Э. И. Эйхвальд слушал лекции Х. С. Вейса в Берлине и Р. Ж. Гаюи в Париже. Однако его интересы были направлены в сторону зоологии и палеонтологии. «Ориктогнозия» была написана в качестве руководства к читавшемуся им курсу минералогии в Медико-хирургической академии. Собственно кристаллографическая часть занимает сравнительно небольшой объем книги (48 страниц). Во введении Э. И. Эйхвальд особенно высоко расценивает заслуги Х. С. Вейса и его школы: «После Гаюи кристаллография самостоятельным образом усовершенствовалась в Германии, и преимущественно Вейс в Берлине заслужил признательность минералогов открытием новой и весьма отличной кристаллографической методы. Собствен-

<sup>64</sup> Там же.

<sup>65</sup> Там же, стр. 4.

<sup>66</sup> К. А. Тимирязев. Развитие естествознания в России в эпоху 60-х годов. М., 1920, стр. 28.

<sup>67</sup> Э. Эйхвальд. Ориктогнозия преимущественно в отношении России и с присовокуплением употребления минералов. СПб., 1844.

<sup>68</sup> Б. Е. Райков. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 321—389.

ные его важные розыскания и дополнительные труды его ученика Г. Розе и кристаллографа Ф. Неймана в Кенигсберге доказывают превосходство динамической системы Вейса, относящейся к самой сущности минералов, не только к их наружным признакам, но и к химическому составу; посему она вполне заслуживает быть названа естественной». <sup>69</sup>

Кристаллографические свойства минералов Э. И. Эйхвальд называет «математическими признаками»: «Правильный вид минералов называется кристаллическим, или кристаллом, и учение о точном математическом описании их составляет особенную науку кристаллографию, принадлежащую более к прикладной математике, нежели к ориктогнозии, в которой она только наравне с химией составляет вспомогательную часть ее». <sup>70</sup> Далее следует описание «кристаллических систем Вейса» и перечисление простых форм. Термины Э. И. Эйхвальда для систем-сингоний приведены в конце настоящего очерка.

В параграфе о «несовершенстве кристаллов» упоминаются кристаллы с искривленными гранями, с недоразвившимися формами и т. д. Любопытно, что при этом Э. Эйхвальд замечает: «Такое неправильное образование кристалла, впрочем, не должно быть описываемо, в частности потому, что в „Ориктогнозии“ не описывают уродливые формы, но только правильные». <sup>71</sup>

Кристаллографическая часть книги заканчивается кратким описанием кристаллических сростаний.

По выходе в свет учебник Э. И. Эйхвальда был жестоко раскритикован профессором С. С. Куторгой, ставившим в вину ее автору тяжелый язык и неточность изложения. <sup>72</sup>

Заканчивая на этом обзор кристаллографических глав руководств по минералогии первой половины прошлого столетия, следует сделать несколько общих замечаний.

Мы видели, что многие руководства не представляли оригинальных трудов, а являлись более или менее удачными пересказами сочинений иностранных авторов. Таковы «Ориктогнозия» Г. Фишера, пропагандировавшая учение А. Г. Вернера, «Минералогия по системе г. Гаюи» Н. П. Щеглова, руководства Э. К. Гофмана и Э. И. Эйхвальда, написанные по образцам Г. Розе и Х. С. Вейса. Авторы их, за исключением Н. П. Щеглова, были слушателями выдающихся зарубежных кристаллографов и старались по мере возможности передать русскому юношеству ранее приобретенные ими знания. В некоторых учебниках делались попытки дать самостоятельные классификации минералов (Д. И. Соколов, А. Л. Ловецкий) или философски осмыслить этот материал

<sup>69</sup> Э. Эйхвальд. Ориктогнозия. . . , стр. 9—10.

<sup>70</sup> Там же, стр. 15.

<sup>71</sup> Там же, стр. 44.

<sup>72</sup> Б. Е. Райков. Русские биологи-эволюционисты до Дарвина, т. II, стр. 380—381.

(П. Ф. Горянинов). К сожалению, большинство авторов не работало самостоятельно в области минералогии, а тем более кристаллографии. Поэтому и следует особо выделить «Руководство к минералогии» Д. И. Соколова и «Главные основания минералогии» А. Штурма, написанные с глубоким знанием предмета и содержащие ряд чрезвычайно интересных высказываний, относящихся к кристаллографии.

Обзор учебных руководств по минералогии за первую половину прошлого столетия дает понятие об общем уровне кристаллографических знаний в России того времени. Не следует забывать также и того, что на основе этих руководств были созданы те оригинальные труды по кристаллографии, которые будут нами рассмотрены в следующих главах.

### *НАЗВАНИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ (СИНГОНИЙ) В РУССКИХ УЧЕБНЫХ РУКОВОДСТВАХ ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЫ XIX в.*

#### *1. Кубическая сингония*

Тетраэдрическая, кубическая, октаэдрическая (Ловецкий).

Правильная (Штурм).

Тессеральная, изометрическая (Горянинов).

Правильная (Гофман).

Правильная, тессеральная (Эйхвальд).

#### *2. Гексагональная и тригональная сингонии*

Ромбоэдрическая (Ловецкий).

Дизэдрическая и ромбоэдрическая (Штурм).

Гексагональная, монотриметрическая (Горянинов).

Трех- и одноосная (Гофман).

Трех- и одноосная, ромбоэдрическая, эксагональная (Эйхвальд).

#### *3. Тетрагональная сингония*

Призматическая прямая, с квадратными основаниями (Ловецкий).

Квадратная, одноосная квадратная (Штурм).

Тетрагональная, монометрическая (Горянинов).

Двух- и одноосная (Гофман).

Двух- и одноосная, пирамидальная, тетрагональная (Эйхвальд).

#### *4. Ромбическая сингония*

Призматическая прямоугольная прямая (Ловецкий).

Ромбическая (Штурм).

Ромбическая или анизометрическая (Горянинов).

Одно- и одноосная (Гофман).

Одно- и одноосная, ортотипная, ромбическая (Эйхвальд).

#### *5. Моноклиная сингония*

Призматическая прямоугольная косвенная (Ловецкий).

Дизэдрическая или клиноромбическая (Штурм).

Клиноромбическая или моноклинометрическая (Горянинов).

Дву- и одночленная (Гофман).

Дву- и одночленная, эвморфотипная, моноклиноэдрическая (Эйхвальд).

## 6. Т р и к л и н н а я с и н г о н и я

Призматическая косвенная, с основаниями в виде косоугольного параллелограмма (Ловецкий).

Эвдиноэдрическая (Штурм).

Клиноромбоидическая или триклинометрическая (Горянинов).

Одно- и одночленная (Гофман).

Одно- и одночленная, аноморфотипная, триклиноэдрическая (Эйхвальд).

---

## VIII. А. Я. КУПФЕР. РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ГОНИОМЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ

Деятельность академика Адольфа Яковлевича Купфера (1799—1865), основателя и первого директора Главной физической обсерватории в Петербурге, была связана преимущественно с развитием метеорологии в нашей стране. Вместе с тем ему принадлежит видная роль и в истории кристаллографии.

Приведем несколько высказываний, характеризующих заслуги А. Я. Купфера в интересующей нас области знания.

Н. И. Кокшаров в статье «Предмет минералогии, краткая ее история, кристаллы как настоящие индивидуумы неорганической природы» (1876 г.) писал: «Незабвенный академик наш Купфер выступил первый со строгими измерениями кристаллов, результаты которых, с вычислением вероятных погрешностей, собраны в изданной им книге, увенчанной премией Берлинской Академии наук. Замечательна также его кристаллография и вообще все кристаллографические работы, им опубликованные».<sup>1</sup>

В «Историческом очерке развития минералогии и кристаллографии в России» минералога и почвоведом В. К. Агафонова читаем: «Купфер первый в России начал заниматься точными гониометрическими измерениями; но его работы, имевшие значение на Западе, прошли как-то стороной в русском ученом мире».<sup>2</sup>

Наконец, Е. С. Федоров, говоря о кропотливых вычислительных работах, связанных с гониометрическими измерениями триклинных и моноклинных кристаллов, отмечал: «С грустью приходится признаться, что именно в России решительно никто не производил такие работы (если не считать Купфера, который работал еще в начале прошлого столетия. . .)».<sup>3</sup>

Из приведенных цитат ясна роль А. Я. Купфера в истории кристаллографии первой половины прошлого столетия. Им была разработана математическая сторона методики гониометрических

---

<sup>1</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 10, 1876, стр. 145.

<sup>2</sup> Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, полутом 55. СПб., 1899, стр. 746.

<sup>3</sup> Е. С. Федоров. Кристаллография за сорок лет. Зап. Горн. инст., т. 2, вып. 5, 1910, стр. 366.



А Я. Купфер (1799—1865).



измерений на однокружных приборах того времени. Ему же принадлежат и первые точные измерения кристаллов в России.

Ценные сведения о жизни ученого и его интересах содержатся в автобиографическом письме, относящемся к 1825 г.<sup>4</sup> Из этого письма мы узнаем, что А. Я. Купфер родился в Митаве, где и получил гимназическое образование. Сперва он хотел стать медиком и проходил специальные курсы в Дерпте, а затем (с 1816 г.) в Берлине. Однако вскоре «естественные науки настолько увлекли его, что он порешил посвятить им как свою раннюю юность, так и всю жизнь».<sup>5</sup> В указанном письме А. Я. Купфер сообщает о своем увлечении кристаллографией и минералогией (о себе он пишет в третьем лице): «В Берлине он занимался преимущественно минералогией под руководством Х. С. Вейса. Путешествия в Карпаты и Тирольские Альпы склонили его к этой отрасли естествознания. В 1819 году он опять покидает Берлин и отправляется в Гарц, который исколесил вдоль и поперек. Наконец он водворяется в Геттингене, где под руководством Штромейера занимался прикладной химией. Здесь же написал он свою диссертацию „De calculo crystallonomico“, отпечатанную в Геттингене в 1821 году и доставившую ему степень доктора философии. Не оставлены были без внимания и математические науки; он слушал privately лекции по астрономии у Гаусса. В 1821 году он поселился в Париже. Проникнутый глубоким уважением к высокодаровитому и отечески доброму Гаюи (на похоронах которого он с другими нес его гроб), полный восторженного удивления к другим выдающимся людям, украшавшим эту столицу, он покинул ее, прожив в ней полтора года, и отправился в Петербург. Здесь благодаря доктору Либопицу, имевшему хорошую коллекцию минералов, Купферу удалось закончить свою работу об измерении углов в кристаллах, написанную на премию Берлинской Академии наук. В это же время он был приглашен занять в Казанском университете кафедру физики и химии».<sup>6</sup>

Из приведенного отрывка видно, какую замечательную школу прошел А. Я. Купфер. Прежде всего он был учеником двух наиболее выдающихся кристаллографов того времени — Р. Ж. Гаюи и Х. С. Вейса. Математическую подготовку он получил у знаменитого К. Ф. Гаусса, а химическую у крупного ученого Ф. Штромейера (1778—1835), прославившегося открытием кадмия.

В 1820 г. Берлинская Академия наук объявила конкурс на тему о способе точнейшего измерения углов на кристаллах. А. Я. Купфер, уже написавший диссертацию о кристаллографических измерениях, с жаром взялся за разработку столь близкой

---

<sup>4</sup> М. А. Рыкачев. Исторический очерк Главной физической обсерватории за 50 лет ее деятельности (1849—1899), ч. I. СПб., 1899, стр. 31—33.

<sup>5</sup> Там же, стр. 32.

<sup>6</sup> Там же.

ему задачи. Работу эту, начатую во время первой поездки в Париж, он закончил в Петербурге и в 1822 г. представил в Берлинскую Академию. Последняя, признав достоинства труда А. Я. Купфера, выразила, однако, пожелание, чтобы исследования были расширены, и, в связи с тем что лучших сочинений на конкурс представлено не было, постановила отложить премию еще на один год, удвоив ее. Дополнив свою работу новыми материалами, А. Я. Купфер в 1823 г. снова представил ее на конкурс и получил удвоенную премию. Труд его был издан в 1825 г. в Берлине на немецком языке под заглавием «Сочинение на премию о точном измерении углов на кристаллах».<sup>7</sup>

Как уже отмечалось, в Петербург А. Я. Купфер приехал в 1821 г. Его труды и публичные лекции по минералогии обратили на себя внимание, и в июне 1823 г., в возрасте 23 лет, он был избран профессором Казанского университета по кафедре химии и физики (курс физики до этого читался Н. И. Лобачевским).

Прежде чем ехать в Казань, А. Я. Купфер отправился в командировку за границу для закупки физических инструментов. Об этом путешествии сохранились любопытные записи самого ученого, опубликованные в журнале «Казанский вестник». Приведем отрывок из них, повествующий о его встрече в Берлине со старым учителем — Х. С. Вейсом: «Берлин, 20-го августа. . . Увидел я Вейса, профессора минералогии, дававшего мне в течение двух лет уроки. . . Вейс — великий кристаллограф и много любопытствовал о моем сочинении измерения углов на кристаллах, которое в непродолжительном времени покажется в свете. Имея на своих руках минеральный кабинет, он позволил мне делать наблюдения над кристаллами, в оном находящимися, и это занимало меня очень много в продолжение первых десяти дней. Я условился с сим знаменитым ученым в рассуждении корреспонденции нашей: он обещал присылать в Казань все сочинения по своей части по мере их появления в свет; я буду также в состоянии обогащать наш кабинет через мену».<sup>8</sup>

В тех же записях имеются интересные данные о знакомстве А. Я. Купфера с известным кристаллохимиком Э. Митчерлихом (1794—1863), уже открывшим в то время явления изоморфизма и полиморфизма. В 1824 г. А. Я. Купфер отправился в Париж, где занимался измерениями кристаллов. Здесь он подружился со знаменитым А. Гумбольдтом и французским астрономом и физиком Д. Ф. Араго. С этого времени в центре его внимания оказываются вопросы земного магнетизма, а также методика магнитных наблюдений.

---

<sup>7</sup> A. K u p f f e r. Preisschrift über genaue Messung der Winkel an Krystallen. Berlin, 1825.

<sup>8</sup> Журнал путешествия ординарного профессора Казанского университета Купфера. Казанск. вестник, кн. 10, 1823, стр. 81.

В феврале 1824 г. А. Я. Купфер находился в Казани и читал лекции по физике, химии, кристаллографии, минералогии и даже ботанике в Казанском университете.

В 1828 г. по поручению ректора университета он путешествовал по Уралу. Результаты этой поездки были им подробно описаны в специальном труде. В том же году А. Я. Купфер был избран ординарным академиком минералогии на место скончавшегося В. М. Севергина. В связи с этим он переехал в Петербург и стал заведующим минералогическим кабинетом Академии.

В 1829 г. А. Я. Купфер вместе с Э. Ленцем предпринял поездку на Кавказ с целью изучения земного магнетизма в окрестностях Эльбруса и на самом Эльбрусе, исследования температуры источников на разных высотах, определения горных пород и минералов и проч. Попутно А. Я. Купфером были организованы многочисленные станции для магнитных наблюдений.

В 1831 г. вышла в свет на немецком языке обобщающая капитальная монография А. Я. Купфера «Руководство по вычислительной кристаллономии».<sup>9</sup> Эта книга была последним его печатным выступлением по кристаллографической тематике. Все последующие его труды посвящены физике, вопросам земного магнетизма и метеорологии. Кроме того, много работал он и по установлению в России единообразной системы мер и весов. В 1841 г., после смерти акад. Паррота, А. Я. Купфер был переведен на кафедру физики в Академии.

В 1849 г. по его проекту в Петербурге была открыта Главная физическая обсерватория, проводившая метеорологические наблюдения по всей России. А. Я. Купфер был назначен ее первым директором. Здесь он и работал до конца своих дней. Весной 1865 г. ученый, несмотря на сильный холод, в легкой одежде устанавливал на крыше здания обсерватории новый прибор. Схваченная им при этом жестокая простуда явилась причиной его смерти. По словам биографа, «Купфер умер как воин на поле чести».<sup>10</sup>

Среди кристаллографических трудов А. Я. Купфера нет ни одного, написанного на русском языке. Однако две его основные работы — «*Preisschrift über genaue Messung der Winkel an Krystallen*» (1825 г.) и «*Handbuch der rechnenden Krystallonomie*» (1831 г.) — имеют прямое отношение к развитию кристаллографии в России. В первой из них находятся данные точных гониометрических измерений ряда русских минералов; вторая, посвященная методике кристаллографических вычислений, писалась А. Я. Купфером в Казани и Петербурге и была издана Петербургской Академией наук.

<sup>9</sup> А. К у п ф е р. *Handbuch der rechnenden Krystallonomie*. Petersburg, 1831.

<sup>10</sup> М. А. Рыкачев. Исторический очерк Главной физической обсерватории, ч. I, стр. 284.

Рассмотрим сперва первый из этих двух капитальных трудов. Само его название — «Сочинение на премию о точном измерении углов на кристаллах» — дает ясное представление об основном содержании работы. Как уже отмечалось выше, работа была написана на конкурсную тему, предложенную Физическим классом Берлинской Академии. Основная задача, стоявшая перед автором сочинения, была сформулирована в академической программе следующим образом: «Точное измерение углов на кристаллах, принадлежащих к одной или нескольким кристаллографическим системам, с помощью либо одного из новейших инструментов, употребляемых в качестве гониометров, либо какого-нибудь другого сходного прибора, точность измерения которого достигает минут».<sup>11</sup> Далее высказывалась желательность исследования кристаллических систем кварца, полевого шпата, кальцита, барита, топаза, гипса, роговой обманки, авгита и т. д. Кубические («правильные, или тессеральные») кристаллы считались менее интересным объектом для исследования.

Сочинение А. Я. Купфера состоит из двух больших разделов. Первый из них носит название «Об ошибках, которых следует остерегаться при измерении кристаллов, и о методах, позволяющих по возможности их уничтожить». Первый параграф этого раздела трактует «об ошибках, зависящих от несовершенства наших органов чувств и других, неопределенных причин». В нем А. Я. Купфер подробно излагает математические способы обработки наблюдений, предложенные К. Ф. Гауссом и А. М. Лежандром для решения астрономических задач. Широко используется им теория вероятностей П. С. Лапласа. Второй параграф касается «ошибок, зависящих от инструмента и работы с ним». Здесь подробно разбираются методы измерения кристаллов прикладным гониометром Гаюи (несколько измененный прикасательный гониометр Каранжо), однокружным отражательным гониометром Волластона (с вертикальным лимбом без зрительной трубы) и однокружным отражательным гониометром Малюса (со зрительной трубой и с нитяным крестом в поле зрения для точного улавливания отраженного от кристаллической грани светового луча). В свое время приемы, разработанные А. Я. Купфером для получения точнейших результатов измерения на старейших гониометрах, представляли большой интерес. Сейчас они любопытны лишь с исторической точки зрения.

Второй раздел монографии содержит результаты точных угловых измерений ряда кристаллов.

Список минералов, гониометрические характеристики которых даны А. Я. Купфером, отличается большим разнообразием. Он содержит следующие минералы: кварц, кальцит, циркон, барит,

---

<sup>11</sup> A. K u p f f e r. Preisschrift über genaue Messung der Winkel an Krystallen, стр. I.

топаз из Сибири, берилл из Сибири, эпидот из Норвегии и Сибири, везувиан из Сибири, гематит, целестин, аррагонит, касситерит, турмалин из Сибири, эвклаз, апатит, англезит, церуссит. Нельзя не отметить того, что целый ряд образцов относится к Сибири (вернее, к Уралу): Данные А. Я. Купфера явились первыми точными гониометрическими характеристиками минералов из России и оставались чуть ли не единственными до появления работ Н. И. Кокшарова.

В конце сочинения в виде приложения была опубликована небольшая заметка под заглавием «Дополнение к теории образования кристаллов», которая произвела в свое время большое впечатление. Д. Ф. Араго поместил извлечение из нее в издававшемся им и Ж. Гэй-Люссаком журнале «*Annales de chimie et de physique*».<sup>12</sup> Русский профессор минералогии Д. И. Соколов опубликовал сообщение об открытии А. Я. Купфера в «Горном журнале» под заглавием «О достопримечательном отношении, существующем между правильным видом, весом атома и уравнительным весом многих ископаемых» (1826 г.).

Заметка А. Я. Купфера представляет интерес и сейчас как одна из наиболее ранних, а потому и преждевременных попыток вывода кристаллохимических закономерностей. По мнению самого автора, ему удалось обнаружить принцип, позволяющий теоретически вывести не только форму, но и углы между гранями кристалла: «Я нашел определенную зависимость между внешней формой, химическим эквивалентом и удельным весом кристалла», — утверждал он.<sup>13</sup>

Исходя из предположения, что образующая сила кристалла отвечает произведению некоторой определенной силы, элементарного веса и кристаллического объема, он нашел, что для любой кристаллографической системы (сингонии) имеет место следующее уравнение:

$$\frac{mS}{y} = \frac{m'S'}{y'},$$

где  $m$  и  $m'$  отвечают атомным весам,  $y$  и  $y'$  — основным объемам,  $S$  и  $S'$  — удельным весам двух химически различных тел. За основные объемы А. Я. Купфер принимал объемы главных форм кристаллов — октаэдров, ромбододекаэдров, тетрагональных дипирамид (квадратных октаэдров) и ромбоэдров, приравнивая их оси к единицам. В современном понимании эти объемы должны, очевидно, представлять нечто вроде элементарных ячеек.

<sup>12</sup> A. K u p f f e r. Sur la relation remarquable qui existe entre la forme cristalline, le poids d'un atome et la pesanteur spécifique de plusieurs substances. *Annales de Chimie et de Physique*, t. 25, 1824, стр. 337.

<sup>13</sup> Там же.

Для вычисления удельного веса некоторого соединения А. Я. Купфер использовал следующую формулу:

$$S' = \frac{mS}{y} \cdot \frac{y'}{m'}.$$

В таблице, приложенной к сочинению, он привел атомные веса (по Берцелиусу), основные объемы, вычисленные удельные веса и экспериментально полученные удельные веса. Доказательство правильности своих взглядов А. Я. Купфер видел в совпадении вычисленных и экспериментально полученных удельных весов. Однако для достижения таких результатов ему приходилось умножать или делить атомные веса на целые числа— 1, 2, 3 и т. д., вплоть до 16. Упомянутые совпадения привели его к заключению, что «при кристаллизации действует некая определенная сила; однако на вопрос, какая это именно сила, полученные результаты не дают ясного ответа».<sup>14</sup>

Интересную оценку смелого обобщения А. Я. Купфера мы находим в известной работе Д. И. Менделеева «Удельные объемы» (1856 г.): «Купфер в 1824 году сделал попытку согласить удельный вес с паем и объемом главной кристаллической формы. Если  $y$  обозначить объем главной кристаллической формы... то все тела одной кристаллической системы по правилу Купфера подчиняются уравнению

$$\frac{\Pi\Delta}{y} = Q \frac{\Pi'\Delta'}{y'},$$

где  $Q$ —целому числу или простой дроби (иногда  $3/8$  и др.).  
«Например:

Известковый шпат:	$y = 3.1643,$	выч. $\Delta = 2.696,$	наблюд. $\Delta = 2.696.$
Железный блеск:	$y = 4.6452,$	» $= 5.1084,$	» $= 5.012.$
Корунд:	$y = 1.245,$	» $= 4.177,$	» $= 4.07.$
Горный хрусталь:	$y = 1.4318,$	» $= 2.58$	» $= 2.03.$
Апатит:	$y = 4.230,$	» $= 3.132,$	» $= 3.130.$

«Попытка Купфера имеет большое достоинство, как первая в большом ряду последующих работ о согласовании кристаллической формы пая и удельного веса. Впрочем, она основана на чистой случайности и не имеет ни теоретического, ни практического твердого основания, а потому, по справедливости, не обратила на себя внимания. Вывод Дюма и Лероие прямо противоречит основному правилу Купфера, потому что для тел, имеющих сходную кристаллическую форму,  $y = y'$ , т. е. по Купферу  $\Pi\Delta = \Pi'\Delta'$ , а по Дюма для них  $\frac{\Pi}{\Delta} = \frac{\Pi'}{\Delta'}$ . Мы увидим вскоре, что мнение Дюма подтверждается последующими исследованиями, из чего

<sup>14</sup> Там же, стр. 340.

должно заключить о несправедливости предположения Купфера. Притом у него много неправильных данных как в показаниях удельного веса, так и в кристаллических формах; оттого объем главной формы железного блеска, по вычислению Купфера, вышел неравным объему главной формы корунда». <sup>15</sup>

В настоящее время, зная структуру кристалла, можно найти соотношения между величиной элементарной ячейки, числом и весом входящих в нее атомов и плотностью данного вещества. Так, например, для веса вещества в кубической элементарной ячейке, в состав которой входят атомы одного элемента, мы имеем следующее уравнение:

$$nMt = a^3\rho,$$

где  $n$  — число атомов в элементарном кубе,  $M$  — атомный вес данного элемента,  $m$  — абсолютный вес одного атома водорода ( $1.64 \cdot 10^{-24}$  г),  $\rho$  — плотность. Для всех элементов, кристаллизующихся в виде решеток одного и того же типа,  $n$  будет одинаковым (для простой кубической решетки — 1, для центрированной — 2, для центрогранной — 4). Следовательно, для данного типа решетки  $nm = \text{const.}$  Тогда и  $\frac{a^3\rho}{M}$  или обратная ей величина  $\frac{M}{a^3\rho}$  будут постоянными. В какой-то мере, конечно с известными оговорками, соответствующие уравнения

$\left( \frac{M}{a^3\rho}, \frac{M''}{a''^3\rho''} \right)$  приближаются к уравнениям А. Я. Купфера. Однако они будут справедливы лишь по отношению к структурам со строго одинаковым типом решетки и с аналогичным типом химической формулы.

В попытке А. Я. Купфера весьма интересна и смела сама мысль — найти соответствие между удельным и атомным весами вещества и его кристаллографической формой. Разрешение таких чисто кристаллохимических задач оказалось посильным лишь в наше время, после расшифровки реальных кристаллических структур.

Как уже отмечалось, в 1831 г. в Петербурге вышла в свет большая монография А. Я. Купфера — «Handbuch der rechnenden Krystallonomie» («Руководство по вычислительной кристаллономии»).

В предисловии к своему труду А. Я. Купфер писал: «Эта работа была подготовлена четыре года тому назад в Казани, когда я еще был профессором минералогии. Вначале она предназначалась для моих слушателей и представляла лишь собрание формул, необходимых для вычисления кристаллографических углов, с дополнением соответственных объяснений. Далее к этому

<sup>15</sup> Д. И. Менделеев. Удельные объемы. СПб., 1856, стр. 107—109.

прибавились общие рассуждения, вызванные продолжительными занятиями с замечательными кристаллографическими системами. Наконец, я почувствовал необходимость предварительного изложения системы Гауи и в особенности системы Вейса, так как последняя своим знаменитым основателем была обработана слишком фрагментарно.

«Так постепенно настоящий труд приобрел свой нынешний вид. Он является прежде всего вспомогательной книгой для кристаллографов-вычислителей. В ней вы найдете не новые взгляды, а только новые и более удобные формулы. Она не заменяет ни одного из предшествующих учебников, а становится в их ряд».<sup>16</sup>

Вводная часть книги содержит три параграфа. В первом приводятся формулы прямолинейной и сферической тригонометрии, во втором — формулы аналитической геометрии на плоскости. Третий параграф содержит «некоторые разъяснения из области стереометрии». В нем даются описания ряда геометрических многогранников: четырехгранных призм, октаэдров, ромбоэдров, дигексаэдров (шестигранных дипирамид), гексагональных призм и др. Следует иметь в виду, что большая часть этих понятий охватывает весьма различные в современном смысле простые формы. Так, например, к октаэдрам А. Я. Купфер относит, помимо правильного октаэдра, и тетрагональную дипирамиду («квадратный октаэдр»), и ромбическую дипирамиду («ромбический октаэдр») и даже моноклинные и триклинные комбинации («косые и несимметричные ромбические октаэдры»). Все это говорит, конечно, об очень приближенном подходе к формам кристаллических многогранников.

В обширной первой главе книги излагается учение о кристаллах. Приведем отрывок из вводного параграфа к этой главе, где описывается содержание науки о кристаллах и ее подразделений: «Кристаллономия в узком смысле слова изучает математические соотношения в строении кристаллов. Таким образом, она представляет применение плоскостной геометрии к частным случаям. Число последних весьма ограничивается, в связи с тем, что для данных образований требуется определенная симметрия. Кристаллономия в широком смысле охватывает также физические и химические свойства этих неорганических веществ. Таким образом, она является минералогией, из которой исключены некристаллические вещества. Развитие всех относящихся сюда явлений из одного единого природного закона в конце концов дало бы начало третьему подразделению кристаллономии — механике кристаллов. Последняя была бы возможной, если бы мы больше знали о соотношениях между внешним и внутренним строением (конституцией) кристаллов, сущность которых нам еще неизвестна».<sup>17</sup>

<sup>16</sup> А. Купфер. Handbuch der rechnenden Krystallonomie, стр. III—IV.

<sup>17</sup> Там же, стр. 59.



В том же параграфе формулируется и понятие о том, что такое кристалл: «Кристалл с математической точки зрения есть тело, ограниченное плоскостями. Эти плоскости расположены симметрично вокруг некоторой линии, называемой осью (*Axe*). В большинстве случаев многие такие плоскости (так называемые столбчатые грани) идут параллельно оси. Каждой плоскости, за очень немногими исключениями, соответствует параллельная плоскость, находящаяся на противоположном конце кристалла. Поэтому говорят только об одном конце кристалла, потому что другой его конец образован совершенно так же, как и первый».<sup>18</sup> Из последних фраз видно, что А. Я. Купфер базировался главным образом на полногранных формах (представителях планаксиальных видов симметрии), считая остальные формы «весьма немногочисленными исключениями». Такой подход объясняется, конечно, недостаточной изученностью в те времена реального мира кристаллов.

Параграф «Подразделение кристаллических форм» содержит описание кристаллографических систем (сингоний) по Х. С. Вейсу и Ф. Моосу. Для обозначения систем А. Я. Купфер использует названия «главных форм». Ниже дается сопоставление названий сингоний, принятых А. Я. Купфером, с современной терминологией:

Названия систем по А. Я. Купферу	Современные названия сингоний
1. Правильная система.	Кубическая.
2. Система ромбоэдра.	Тригональная.
3. Система дигексаэдра.	Гексагональная.
4. Система квадратного октаэдра.	Тетрагональная.
5. Система ромбического октаэдра с полной симметрией конечных граней.	Ромбическая.
6. Система ромбического октаэдра с половинной симметрией конечных граней.	Моноклиная.
7. Система несимметричного октаэдра.	Триклиная.

Вслед за разбором сингоний А. Я. Купфер подробно рассматривает известные ему кристаллографические формы. Так, например, для правильной (кубической) системы им упоминаются куб, октаэдр, гранатоэдр (ромбододекаэдр), пиритоэдр (пентагон-дододекаэдр), пирамидальный куб (тетрагексаэдр), лейцитоздр (тетрагон-триоктаэдр), пирамидальный октаэдр (тригон-триоктаэдр), пирамидальный гранатоэдр (гексоктаэдр), пирамидальный гранатоэдр с половинным числом граней (гексатетраэдр).

Как мы видим, из пятнадцати форм кубической сингонии А. Я. Купферу было известно лишь девять. Он выводил их математически, путем притупления вершин и ребер на формах, принятых за основные, — куба, октаэдра, ромбододекаэдра, тетра-

<sup>18</sup> Там же, стр. 60.

гон-триоктаэдра, пентагон-додекаэдра. Так, например, из куба им выводятся следующие формы:

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 1. Прямое притупление вершин       | — октаэдр.                                    |
| 2. Прямое притупление ребер        | — ромбододекаэдр.                             |
| 3. Косое притупление ребер         | — пентагон-додекаэдр.                         |
| 4. Приострение ребер               | — тетрагексаэдр.                              |
| 5. Троекратное приострение вершин  | — тригон-триоктаэдр<br>и тетрагон-триоктаэдр. |
| 6. Шестикратное приострение вершин | — гексоктаэдр.                                |

Далее А. Я. Купфер подробно излагает теорию строения кристаллов Р. Ж. Гаюи, причем особое внимание он обращает на способы точного обозначения граней, принятые французским ученым (кристаллографические символы Гаюи). Вслед за этим им излагается методика обозначения граней по Вейсу (символы Вейса) и, наконец, дается описание «собственного, удобного для вычислений способа обозначения граней».<sup>19</sup>

Вкратце дадим понятие о символике, предложенной А. Я. Купфером.

Пусть дан некоторый ромбоэдр. Обозначим его грань буквой  $P$ . Ребро ромбоэдра, пересекающееся с тройной осью симметрии, обозначим через  $x$ , а ребро, пересекающееся с двойной осью, — через  $z$  (порядки осей симметрии указаны для ясности нами). Обозначение  $Px$ , по А. Я. Купферу, отвечает тангенсу половинного угла по ребру  $x$ . Любая другая грань, образующая по этому же ребру половинный угол с тангенсом в  $t$  раз больше, обозначится через  $tPx$ . Грань  $nPx$  имеет тангенс, превышающий в  $n$  раз тангенс половинного угла грани  $P$  в ребре  $x$ . Символ  $\infty P$  в данном случае будет отвечать прямому притуплению ребра  $x$ , т. е. грани гексагональной призмы. Символы А. Я. Купфера в свое время не получили распространения и употреблялись только самим автором.

Вторая глава книги целиком посвящена вычислительным формулам, что видно из названий самих параграфов: «Вычисление углов, объема и поверхности кристаллов», «О ромбоэдре, дигексаэдре и квадратном октаэдре», «О формах, получающихся прямым притуплением ребер ромбоэдра, дигексаэдра и квадратного октаэдра», «О ромбоэдре», «О дигексаэдре», «О формах правильной системы» и т. д.

Третья глава содержит формулы аналитической геометрии в применении к кристаллографическим осям.

Наконец, в последней, четвертой главе описывается техника гониометрического измерения кристаллов. Сюда относятся три параграфа: «Об измерении углов на кристаллах», «Об ошибках измерения», «Об инструментах, служащих для измерения углов наклона между кристаллическими гранями». К числу описанных

<sup>19</sup> Там же, стр. 190—216.

здесь инструментов принадлежат прикасательный гониометр Каранжо, отражательный однокружный гониометр Волластона и отражательный однокружный гониометр со зрительной трубой. Глава эта в основном содержит выводы из разобранного выше «Сочинения на премию о точном измерении углов на кристаллах».

Обзор капитальной монографии А. Я. Купфера показывает, что эта книга представляла для своего времени исчерпывающее руководство по теории и методике гониометрии кристаллов. Долгое время она являлась во всем мире единственным и незаменимым пособием для работающих в данной области. Теоретическая, а отчасти и методическая ее части сохранили свое значение вплоть до самого конца XIX столетия, т. е. до появления двукружных гониометров Е. С. Федорова, С. Чапского и В. Гольдшмидта, совершивших полный переворот в гониометрии.

Выше мы приводили высказывания В. К. Агафонова и Е. С. Федорова, указывавших, что труды А. Я. Купфера «прошли стороной в русском ученом мире». Думается, что эти высказывания требуют существенных оговорок.

Прямыми последователями А. Я. Купфера в России явились выдающиеся гониометристы Н. И. Кокшаров и П. В. Еремеев. О том, что труды А. Я. Купфера служили для них настольными пособиями, свидетельствуют прежде всего «Лекции минералогии» Н. И. Кокшарова, в которых изложение гониометрической методики дается по А. Я. Купферу. Очень характерен и следующий восторженный отзыв Н. И. Кокшарова, относящийся к 1865 г.: «Первоначальные работы Купфера были преимущественно кристаллографические. Уже в 1825 году издал он сочинение „*Preis-schrift über genaue Messungen der Winkel an Krystallen*“, увенчанное Берлинской Академией наук премией и напечатанное в Берлине. Книга эта до сих пор не утратила своего достоинства и считается классическим и капитальнейшим сочинением по части практической кристаллографии. Купфер является здесь как тонкий наблюдатель и как творец точнейших методов для измерения углов кристаллов. С замечательным остроумием исследует он в помянутом сочинении источники ошибок наблюдений и средства к исправлению этих последних и развивает в первый раз основательнейшим образом теорию лучеотражательности гониометра Волластона. В 1831 году появилось его знаменитое сочинение „*Handbuch der rechnenden Krystallonomie*“. Сочинение это по своим существенным качествам и оригинальности заняло видное место в кристаллографической литературе и до сих пор остается книгой, не выходящей из рук первоклассных кристаллографов. Сочинением этим Купфер встал во главе отдельной самостоятельной кристаллографической школы, наравне с Гаюи, Моосом, Вейсом, Нейманом, Науманом и Миллером. Ф. Коббель в своей недавно вышедшей истории минералогии (*Geschichte der Mineralogie*, 1864, München, S. 222), разбирая достоинства помянутого сочине-

ния, говорит между прочим: «Было бы весьма желательно, чтобы метод Купфера получил большее распространение, чем он имеет в действительности. Преимущество его перед всеми остальными, имевшимися до сего времени методами состоит в возможности непосредственно разузнать и определить плоскость кристалла, а следовательно и его форму. Так как, однако, сыздавна привыкли к методам Вейса и Мооса и, сверх того, Науман за несколько лет до появления «Кристаллономии» Купфера указал на определение и наименование кристаллов на основании осей, отличающееся тоже своей ясностью, краткостью и простотой, то германские минералоги придерживались преимущественно этих трех методов».

«Итак, Купфер не только был гениальным изобретателем метода для наблюдений и одним из самых точнейших наблюдателей, но и одним из самых замечательнейших теоретических кристаллографов».<sup>20</sup>

Мы не можем, конечно, всецело присоединиться к оценке Н. И. Кокшарова. Труды А. Я. Купфера представляют для нас лишь исторический интерес. Они были тесно связаны с методикой и аппаратурой того времени и в настоящее время не могут представлять практической ценности. Однако в свое время они сыграли выдающуюся роль. История кристаллографии в России не может обойти молчанием имени А. Я. Купфера, хотя бы и по одному тому обстоятельству, что его труды были необходимым этапом для дальнейшего развития гониометрии в нашей стране. С гониометрическим же направлением в области кристаллографии были связаны впоследствии достижения таких крупных русских кристаллографов, как Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев, М. В. Ерофеев и, наконец, Е. С. Федоров.

---

<sup>20</sup> Цит. по: М. А. Рыкачев. Исторический очерк Главной физической обсерватории, ч. I, стр. 53—54.

---

## IX. Р. ГЕРМАН. ТЕОРИЯ ГЕТЕРОМЕРНОГО ИЗОМОРФИЗМА

В истории науки имя Рудольфа Германа (1805—1879) стоит совершенно особняком. Это объясняется и обстоятельствами, сложившимися при его жизни, и тем, что его главные труды, помещенные в редких старинных изданиях, не получили достаточного распространения и не были оценены по достоинству. Следует, однако, отметить, что крупнейшие научные авторитеты неоднократно указывали на выдающиеся достижения этого ученого. Так, например, Е. С. Федоров считал Р. Германа одним из основателей русской минералогии: «Отцы нашей минералогии, Густав Розе, Герман, Кокшаров, положили основание зданию этой науки».<sup>1</sup> С особенным вниманием останавливался на трудах Р. Германа, развивавшего теорию изоморфизма, В. И. Вернадский: «Идеи Митчерлиха встретили множество возражений, касавшихся тех или иных высказываемых обобщений. Среди них наибольшее значение имеют возражения против мысли Митчерлиха, будто только соединения аналогичного состава могут образовывать изоморфные смеси. Впервые, в 1830 г., начались многолетние работы с целью опровергнуть эту идею Митчерлиха. Они производились здесь в Москве, в частной лаборатории аптеки, в свободное от тяжелого заработка время, неутомимым и замечательным тружеником Р. Германом, заслуги которого далеко не оценены по достоинству до сих пор и ждут признания. Герман пытался заменить изоморфизм Митчерлиха не вполне удобной теорией гетеромерии, но основная мысль его — об образовании изоморфных смесей химически различными по формуле соединениями — совершенно правильной и в настоящее время все более приобретает научную почву».<sup>2</sup>

Д. И. Менделеев в своей юношеской диссертации «Изоморфизм» (1855 г.) высоко оценил теорию Р. Германа и отметил ее большую широту по сравнению с теорией Шерера.

В последнее время научные заслуги Р. Германа начинают привлекать внимание советских авторов. Так, в 1948 г. проф. И. И. Искольдский опубликовал специальную статью, в которой были рас-

---

<sup>1</sup> Е. С. Федоров. П. В. Еремеев как минералог. Ежегодн. по геолог. и минералог. России, т. III, вып. 9, 1899, стр. 141.

<sup>2</sup> В. И. Вернадский. Основы кристаллографии, ч. I. М., 1904, стр. 27—28.

смотрены забытые работы ученого,<sup>3</sup> а в 1956 г. Э. П. Липман дал подробный обзор трудов Р. Германа в области химии и минералогии редких металлов.<sup>4</sup>

Идеи, лежащие в основе теории гетеромерного изоморфизма, и классификация силикатов по Р. Герману затронуты в моногра-



Р. Герман (1805—1879).

фии В. П. Барзаковского и Р. Б. Добротина, посвященной Д. И. Менделееву.<sup>5</sup> Однако до сих пор нет подробного анализа

---

<sup>3</sup> И. И. Искольдский. Московский химик Р. Герман. Природа, 1948, № 10, стр. 85—92.

<sup>4</sup> Э. П. Липман. О работах Р. Германа в области химии и минералогии редких металлов. Труды Инст. истории естествозн. и техники, т. 12, 1956, стр. 40—54.

<sup>5</sup> В. П. Барзаковский и Р. Б. Добротин. Труды Д. И. Менделеева в области химии силикатов и стеклообразного состояния. Изд. АН СССР, М.—Л., 1960, стр. 34—35, 70—74.

теоретических взглядов ученого в области кристаллохимии, заслуживающих самого пристального внимания. Это сказалось, в частности, и в том, что в обширной литературе по изоморфизму и даже в специальных сводках по этому вопросу имя Р. Германа, как правило, отсутствует.<sup>6</sup>

Цель настоящего очерка, посвященного кристаллохимическим идеям Р. Германа, хотя бы отчасти восполнить этот досадный пробел.

Прежде всего мы вкратце остановимся на биографии ученого.<sup>7</sup>

Уроженец Дрездена, Рудольф Герман с молодых лет работал в лаборатории фабриканта минеральных вод Струве. В 1828 г., в возрасте 23 лет, он был направлен в Москву для организации первого московского завода минеральных вод, которым он управлял в течение 51 года. В 1833 г. подобный же завод Р. Герман организовал и в Петербурге, передав его управление известному химику Ю. Ф. Фрицше. В начале существования этих заведений коммерческие дела шли успешно. Их продукция продавалась в общественных садах Москвы и Петербурга. Однако это не удовлетворяло молодого Р. Германа: «Его основной целью была наука, а сельтерская вода являлась только средством к существованию».<sup>8</sup>

В 1830 г. во время страшной эпидемии холеры в Москве Р. Герман самоотверженно работал в госпитале для холерных больных, производя попутно опыты и анализы, доказавшие носительную заразительность болезни.

С целью исследования кавказских минеральных источников он предпринял путешествие на Кавказ. Глубокий интерес к минералогии заставил его впоследствии совершить вместе с геологом И. Б. Ауэрбахом поездку на Урал для ознакомления с местными минеральными богатствами. В свободное время он неустанно работал в самых различных областях науки. Им оставлены многочисленные исследования (свыше 180) по неорганической, органической, физической, аналитической, физиологической и собственно минеральной химии. Кроме того, имеются работы и по физике, и по геологии, и по медицине. По словам его биографа, это был «исследователь необычайной работоспособности, искусный экспериментатор, хороший математик, человек, мозг которого представлял какой-то неисчерпаемый источник идей».<sup>9</sup>

Большинство исследований Р. Германа относится к химической минералогии. Недаром современники называли его «замечательнейшим минеральным химиком России». Ему мы обязаны открытием целого ряда минералов и минералогических разновид-

<sup>6</sup> См., например: Б. А. Н и к и т и н. Изоморфизм и твердые растворы. Успехи химии, т. 13, вып. 6, 1944, стр. 417—436.

<sup>7</sup> Г. Т р а у т ш о л ь д. Рудольф Герман. Зап. Минералог. общ., ч. 16, 1881, стр. 1—20.

<sup>8</sup> И. И. И с к о л ь д с к и й. Московский химик Р. Герман, стр. 85.

<sup>9</sup> Там же.

ностей. С именем Р. Германа связаны открытия хиолита, пирофиллита, тагилита, дигидрита, ильменорутита и пирохлора. К найденным им минералогическим разновидностям относятся ратовкит, строгановит, фелькнерит, ауэрбахит и др. С замечательной энергией Р. Герман разрабатывал исключительно трудную и слабо изученную в то время область — минералогию и химию редких элементов. «Ему принадлежит множество исследований соединений ниобия, тантала, дидима, лантана, тория и церия, а также ряд работ по химии урана, циркония и других редких элементов. Некоторые из соединений упомянутых элементов Р. Герман открыл впервые».<sup>10</sup>

Обобщая результаты своих исследований, ученый разработал теорию гетеромерного изоморфизма, подробный анализ которой дается ниже. Кроме того, к блестящим достижениям Р. Германа принадлежит открытие им в 1834 г. закона аддитивности теплотемкостей, заново сформулированного Коппом в 1864 г.<sup>11</sup> Р. Германом до Дюма и Любиха была высказана и идея типов органических соединений и радикалов. Значение этих открытий сознавали уже некоторые современники ученого. Так, например, Г. Траутшольд в 1881 г. по этому поводу писал: «Классификация органических соединений с углеводородами в основе. . . и определение удельной теплоты при применении изменения объема тающего льда приравнивают Германа к величайшим и гениальнейшим мыслителям нашего столетия, ибо у него в голове явились те же плодотворные мысли, как и в головах Либиха, Дюма, Гершеля, Бунзена, и, что еще важнее, они явились ранее, чем у них».<sup>12</sup>

Однако сам Р. Герман относился равнодушно в научной славе и не добивался приоритета в своих открытиях. Он считал, что «результаты работ, подобно семенам, должны были рассеяны. Если они высококачественны, то они найдут плодотворную почву и принесут плоды».<sup>13</sup> Подобные взгляды ученого, а также то обстоятельство, что Р. Герман находился вдалеке от научных кругов и не имел своих учеников, привели к быстрому забвению его открытий.

Единственным научным учреждением, с которым он был тесно связан с 1829 г., являлось Московское общество испытателей природы, в «Трудах» которого и увидело свет большинство его работ. В конце жизни Р. Герман испытывал серьезные материальные затруднения. Не обладая достаточными коммерческими способностями, он не умел конкурировать с московскими купцами, организовавшими новые заводы минеральных вод. Однако и в эти тяжелые годы, борясь с нуждой, ученый с увлечением продолжал

<sup>10</sup> Э. П. Л и п м а н. О работах Р. Германа в области химии и минералогии редких металлов, стр. 42.

<sup>11</sup> И. И. И с к о л ь д с к и й. Московский химик Р. Герман, стр. 87.

<sup>12</sup> Г. Т р а у т ш о л ь д. Рудольф Герман, стр. 7.

<sup>13</sup> И. И. И с к о л ь д с к и й. Московский химик Р. Герман, стр. 90.



свои научные изыскания. «Как в лучшие дни наука была для него истинным наслаждением, — писал Г. Траутшольд, — так в дни горя и забот она служила ему убежищем и утешением».<sup>14</sup> Скончался Р. Герман в 1879 г.

Для истории кристаллографии наибольший интерес представляет монография Р. Германа «Гетеромерная минералогическая система», опубликованная в 1855 г. на немецком языке в «Трудах Московского общества естествоиспытателей».<sup>15</sup> Интенсивная разработка химии минералов привела к тому, что уже в 1860 г. Р. Герман опубликовал существенно переработанное издание того же сочинения.<sup>16</sup> Остановимся подробнее на этом выдающемся труде.

В кратком введении ученый излагает содержание своей работы. «Очень часто, — пишет он, — минералы при одинаковой форме обладают колеблющимся составом смесей. Этому явлению до сих пор уделялось слишком мало внимания, частично думали его объяснять ошибочными анализами, частично связывали с недостаточной чистотой исследованного материала, частично — с наличием псевдоморфных образований. Нельзя оспаривать того, что отмеченные обстоятельства должны быть учтены. Однако случаи, для которых подобные объяснения недостаточны, слишком многочисленны, чтобы их можно было оставить без рассмотрения. На нижеследующих страницах автор задался целью подробно рассмотреть колебания смесей в составе окристаллизованных минералов, для того чтобы найти законы, которым подчиняется данное явление. Это явление можно назвать гетеромерным и зоморфизмом, или, короче, гетеромерией».<sup>17</sup>

Итак, под гетеромерным изоморфизмом Р. Герман подразумевает колебания в составе минералов, связанные с тем, что минеральный тип по своему химическому составу представляет как бы смесь из нескольких соединений, находящихся в различных соотношениях. Далее рассматривается вопрос о различии между «нормальными», «изоморфными» и «гетеромерными» кристаллами.

Вкратце рассуждения Р. Германа сводятся к следующему. Кристаллизация, по его мнению, заключается в стремлении молекул одинаковой формы присоединяться друг к другу по строго определенным направлениям и по законам симметрии. Однако молекулы одинаковой формы могут быть построены различно в качественном и количественном отношениях. Если молекулы одинаковой формы сложены одинаково как в количественном, так и в качественном отношениях, то в результате получаются нор-

---

<sup>14</sup> Г. Траутшольд. Рудольф Герман, стр. 2.

<sup>15</sup> R. Hermann. Heteromeres Mineral-System. Nouveaux mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou, t. 10, 1855, стр. 1—213.

<sup>16</sup> R. Hermann. Heteromeres Mineral-System. Nouveaux mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou. t. 13, 1860, стр. 1—214.

<sup>17</sup> Там же, стр. 1.

мальные кристаллы. Если молекулы одинаковой формы сложены стехиометрически одинаково, но качественно различно, то возникают изоморфные кристаллы. Наконец, если молекулы одинаковой формы сложены различно в стехиометрическом отношении, то из них образуются гетеромерные кристаллы.

На основе изложенного выясняются и различия в физико-химических особенностях нормальных, изоморфных и гетеромерных кристаллов. Нормальные кристаллы состоят из молекул с одинаковыми химическими свойствами. Следовательно, они должны быть однородными. Все части нормального кристалла должны быть одинаковыми между собой как в химическом, так и в физическом отношении. Изоморфные кристаллы во всех своих частях одинаковы лишь в отношении стехиометрического состава; в качественном отношении их составные части могут быть различными. Так, например, кристалл алюмо-калиевых квасцов, помещенный в раствор хромовых квасцов, обрастает слоем последней соли. Зерно такого кристалла имеет один состав  $[\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ , а наружная оболочка — другой  $[\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ , хотя и стехиометрически одинаковый с первым.<sup>18</sup>

В гетеромерных кристаллах молекулы, имеющие различный количественный состав, могут быть также и качественно различными в отношении их составных частей. Если в кристалле такие молекулы распределены неравномерно, группируясь в каких-либо точках кристалла, то последний в различных своих участках будет обладать различными физико-химическими свойствами. Примером этого могут служить кристаллы полихромного турмалина. Неодинаковая окраска отдельных слоев и секторов одного и того же кристалла, по мнению Р. Германа, служит наглядным доказательством их различного состава. Другим характерным примером являются кристаллы кордиерита, часто имеющие твердое внутреннее зерно и мягкую наружную оболочку. Последнее объясняется тем, что внутри находится безводный кордиерит, а снаружи — водный аспазиолит (продукт изменения кордиерита). Приведем еще и третий интересный пример, почерпнутый Р. Германом из его богатейшего минералогического опыта, — это впервые открытые на Урале им самим закономерные сращения самарскита и колумбита, в которых «кристаллы самарскита соответствуют форме колумбита».<sup>19</sup> Такие сростки состоят частично из колумбита и частично из самарскита, причем «направления всех трех кристаллографических осей обоих минералов вполне совпадают».<sup>20</sup> Р. Герман относит подобные сростки к гетеромерным кристаллам и обращает внимание на разницу в изломе. У самарскита излом гладкий и блестящий, а у колумбита неровный.

<sup>18</sup> Старые химические формулы Р. Германа заменены современными.

<sup>19</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 74, 1945, № 1, стр. 57.

<sup>20</sup> Там же, стр. 58.

Изучение химических и физических свойств многочисленных представителей минерального мира приводит Р. Германа к весьма широкому обобщению. Так, он допускает, что совместно могут кристаллизироваться не только молекулы одной и той же кристаллографической системы, но и молекулы, принадлежащие к различным системам (сингониям), при условии, если они имеют внешне одинаковую форму. Именно такой случай, по его мнению, наблюдается у пластин слюды, в которых имеются и оптически одноосные и оптически двуосные участки. Р. Герман считает, что образование таких участков зависит от преобладания то «гексагональных» (одноосных), то «ромбических» (моноклинных, двуосных) слюдяных молекул. Особенно интересны его рассуждения, касающиеся химизма гетерогенных кристаллов. Прежде всего он напоминает, что характерные индивидуальные свойства веществ, вступающих в химическое соединение, заменяются в последнем новыми свойствами. При этом форма химического соединения обычно отличается от формы первичных образующих его веществ.

В гетерогенных агрегатах дело обстоит иначе. «Первичные гетерогенные молекулы сохраняют свойственные им физические и химические особенности. Свойства гетерогенных агрегатов являются промежуточными по отношению к свойствам слагающих их первичных молекул. В этом и заключается существенная разница между химическими соединениями и гетерогенными агрегатами. В химических соединениях составные части как бы взаимно проникают друг друга и при этом теряют свои первичные свойства; в гетерогенных агрегатах молекулы располагаются симметрично одна возле другой, сохраняя свои первоначальные особенности. Следовательно, гетеромерные кристаллы являются симметрично сгруппированными агрегатами молекул, а не истинными химическими соединениями».<sup>21</sup> Р. Герман предлагает и химические формулы гетерогенных соединений писать так, чтобы был виден стехиометрический состав слагающих их первичных молекул. В качестве примера он приводит формулы плагиоклаза. Пусть  $A$  условно обозначает состав анортита, а  $B$  — альбита. Тогда состав лабрадора должен изображаться в виде составной формулы:  $3A+B$ . По заключению ученого, мы здесь имеем гетеромерное соединение из трех молекул  $A$ -шпата и одной молекулы  $B$ -шпата, которое должно иметь форму, общую для членов полевошпатовой группы. Из приведенного примера видно, что Р. Герман рассматривает плагиоклазы как смеси молекул альбита и анортита. Это высказывание предвосхищает знаменитую теорию строения полевых шпатов Г. Чермака, опубликованную в 1864 г. Однако еще до Р. Германа, в 1826 г., подобные же идеи развивались И. Ф. Гесселем, автором первого вывода всех сово-

---

<sup>21</sup> R. Hermann. Heteromeres Mineral-System. Nouveaux mémoires de la Société impériale des naturalistes de Moscou, t. 10, 1855, стр. 4.

купностей элементов симметрии для конечных фигур (как известно, и замечательный вывод И. Ф. Гесселя, и его идеи о конституции полевых шпатов остались совершенно незамеченными и были заново открыты значительно позднее, много лет спустя после его смерти).

Разбирая вопрос о том, какими путями можно выявить первичные молекулы в гетеромерных кристаллах, Р. Герман перечисляет ряд возможных разновидностей гетеромерных соединений: соединения с гетеромерными основаниями, соединения с гетеромерными кислотами, двойные гетеромерные соединения и проч. Заслуживают внимания выделенные им «минералы с акцессорными молекулами». Приведем цитату, дающую представление о том, какие именно кристаллы относит Р. Герман к этой категории: «Кристаллы слагаются основными молекулами определенной формы, которые симметрично располагаются друг возле друга. Однако форма основной молекулы, определяемая направлениями спайности, или способ ее наложения часто бывают такими, что пространство не заполняется всецело. При этом между основными молекулами остаются промежуточные пустоты, в которые могут внедриться другие тела, не дающие смесей с основными молекулами. Хотя такие тела могут иметь совсем другой состав и даже совсем другую форму, они не влияют на форму кристалла, обусловленную основными молекулами».<sup>22</sup> Эти-то внедренные тела, обладающие меньшими размерами по сравнению с основными молекулами, Р. Герман и называет «акцессорными молекулами». К числу «акцессорных молекул» он относит и цеолитную воду, и множество других веществ. Им неоднократно подчеркивается и то обстоятельство, что такие молекулы не влияют на архитектуру кристалла, а являются лишь чем-то вроде цемента между «строительными камнями» — основными молекулами. Учитывает он также и возможность того, что промежутки между кристаллическими молекулами остаются частично незаполненными. Именно этим объясняются, по его мнению, колебания в содержании «акцессорных молекул».

Свои теоретические взгляды Р. Герман положил в основу кристаллохимической классификации минералов, интересной в том отношении, что в ней учитываются и химический состав, и кристаллографическая характеристика минерала. Обзор этой систематики, всецело относящейся к области минералогии, нами здесь не приводится.

Рассматривая теорию Р. Германа с точки зрения современных достижений кристаллохимии, нельзя не признать того, что многие из высказанных им положений, несмотря на устарелые формулировки, согласуются с современными взглядами. По справедливому замечанию В. П. Барзаковского и Б. Р. Добротина, ми-

---

<sup>22</sup> Там же, стр. 29.

нералогическая систематика Р. Германа внешне очень походит на современную систематику, базирующуюся на понятии «миналов». Понятие минала было введено в литературу Г. Л. Оллигом в 1921 г. Ему же принадлежат следующие строки, содержащее определение минала и дающие понятие о его значении в минералогии: «Критическое исследование ряда порообразующих минералов показало, что большая их часть состоит из нескольких определенных соединений, которые либо объединяются для образования более сложных добавочных комплексных соединений, либо растворяются одни в других частично или полностью. Единая формула не может изобразить действительного состава ряда минералов, встречаемых в природе. Лучше поэтому сохранять единые формулы для конечных членов или компонентов систем минералов. . . Минал можно определить как твердое тело, входящее в состав природных минералов, способное принять определенные геометрические очертания, имеющее определенный химический состав и обладающее определенными физическими свойствами. Большую часть миналов в чистом виде обнаружить не удастся: они присутствуют обычно в ассоциации с другими миналами, образуя минералы. Следовательно, минералы состоят из миналов».<sup>23</sup> Можно не сомневаться в том, что Р. Герман с полным удовлетворением подписался бы под этими строками, признав в теории миналов позднейшее развитие своих взглядов о гетеромерных молекулах.

Современная кристаллохимия допускает для смешанных кристаллов целый ряд усложненных случаев, близко напоминающих построение гетерогенных кристаллов по Р. Герману.

В качестве примера приведем перечень различных способов сложного комбинированного замещения, а также внедрения частиц в смешанных кристаллах:

1) одновременное замещение двух или нескольких ионов равным числом соответственно сходных по размерам, но отличных по заряду ионов при сохранении суммы зарядов;

2) замещение нескольких ионов разного знака комплексным ионом при сохранении суммы зарядов;

3) замещение целых участков кристаллических структур при наличии определенной структурной аналогии;

4) внедрение посторонних частиц в межузловые промежутки структуры;

5) одновременное замещение частиц, имеющих одинаковые размеры, но разный заряд, и внедрение в межузловые промежутки лишних частиц для компенсации заряда.<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Г. Л. Оллиг. Петрология. Госгеолиздат, М., 1941, стр. 38—39. См. также: В. П. Барзакровский и Р. Б. Добротин. Труды Д. И. Менделеева в области химии силикатов и стеклообразного состояния, стр. 34—35.

<sup>24</sup> Б. А. Никитин. Изоморфизм и твердые растворы, стр. 431—432. Следует иметь в виду, что не все перечисленные Б. А. Никитиным слу-

В этом перечне очень многое перекликается со взглядами Р. Германа. В частности, два последних случая воскрешают приведенные выше высказывания о роли «акцессорных молекул», располагающихся в промежутках между основными молекулами кристалла. Нельзя не отметить исключительной прозорливости ученого, сумевшего предугадать сто с лишним лет тому назад особенности расположения микрочастиц в кристаллах.

Итак, теория Р. Германа во многом сохранила свою жизнеспособность до сих пор. Рассматривая развитие учения о смешанных кристаллах, мы должны помнить о гетеромерном изоморфизме, незаслуженно забытом и обычно не упоминаемом современными кристаллохимиками.

К сожалению, учение Р. Германа в свое время не было оценено по достоинству. Американский минералог Д. Дана (1813—1895) в 4-м издании известной «Системы минералогии» («System of mineralogy») утверждал, что теоретические взгляды Р. Германа «односторонни в своей основе и приводят к большому усложнению предмета, умножая вопросы, требующие разъяснения».<sup>25</sup> Резко отрицательно отнесся к ним и А. Е. Арцруни в своей «Физической химии кристаллов» («Physikalische Chemie der Krystalle»), вышедшей в 1893 г. Он считал, что «длинные статьи Германа о гетеромерии не представляют никакого интереса в науке и в вопросе о связи кристаллической формы с составом».<sup>26</sup> Лишь один молодой Д. И. Менделеев с его глубоким проникновением в сущность дела сумел понять широту обобщений Р. Германа и оценить безграничные возможности его теории при разрешении вопроса о природе смешанных кристаллов.

В настоящее время мы целиком присоединяемся к этой оценке, ставя Р. Германа в один ряд с наиболее выдающимися предшественниками современной кристаллохимии.

---

чаи относятся к собственно изоморфным образованиям в современном значении этого понятия. См., например, работы: В. С. Соболев. Физико-химическая трактовка изоморфизма. Научн. записки Львовск. гос. унив., сер. химическ. наук, т. 9, вып. 1, 1948; т. 13, вып. 2, 1949; Н. А. Горюнова и В. А. Франк-Каменецкий. О содержании понятия изоморфизма. Сб. «Кристаллография», вып. 5, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1956.

<sup>25</sup> Цит. по: В. П. Барзаковский и Р. Б. Добротин. Труды Д. И. Менделеева в области химии силикатов и стеклообразного состояния, стр. 70.

<sup>26</sup> Там же.

---

## Х. Н. И. КОКШАРОВ И П. В. ЕРЕМЕЕВ. СОЗДАНИЕ ОПИСАТЕЛЬНОЙ КРИСТАЛЛОГРАФО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ В РОССИИ

Развитие русской горной промышленности в середине XIX в. привело к открытию множества новых месторождений на Урале, Алтае, в Забайкалье и целом ряде других областей. Каменный материал, пересылавшийся в Петербург горными инженерами и скапливавшийся главным образом в знаменитом музее Горного института, требовал длительного и углубленного изучения.

Первые подробные кристаллографические исследования этих минералогических сокровищ были осуществлены профессорами института Н. И. Кокшаровым и П. В. Еремеевым, заложившими основы математически точного кристаллографического направления в отечественной минералогии.

Николай Иванович Кокшаров родился в 1818 г. в Семипалатинской области в семье горного инженера. Детство он провел на Березовских золотых приисках. Урал пристрастил мальчика к коллекционированию красивых самоцветов. Проходя курс учения в Горном институте, Н. И. Кокшаров увлекся кристаллографическими сочинениями Р. Ж. Гаюи. Однако начальник корпуса горных инженеров В. К. Чевкин упорно стремился сделать из него геолога с палеонтологическим уклоном. По окончании Горного института в 1840 г. Н. И. Кокшаров участвовал в экспедиции, возглавлявшейся знаменитым английским геологом Мурчисоном. Задачей этой экспедиции являлось составление геологической карты России. Несмотря на всю увлекательность такой работы, Н. И. Кокшаров настаивал на своем желании всецело посвятить себя минералогии и кристаллографии. Поездка за границу и прохождение курса у знаменитых немецких минералогов с кристаллографическим уклоном — Х. С. Вейса и Г. Розе еще сильнее укрепили в нем это желание. По возвращении в Россию Н. И. Кокшаров, несмотря на тяжелое материальное положение, связанное с избранной им специальностью, долго не находившей практического применения, начал работать над исследованием русских минералов. В 1847 г. он опубликовал работы о богратионите (разновидности ортита) и магнетите с Урала. Эти статьи, содержавшие первые после А. Я. Купфера результаты точных кристал-

лографических измерений, произведенных в России над русскими минералами, обратили на него внимание заграничных ученых.

Регулярные публикации все новых и новых гониометрических исследований, открытие новых минеральных видов и новых форм



Н. И. Кокшаров (1818—1892).

на ранее известных минералах ставят Н. И. Кокшарова в один ряд с наиболее выдающимися минералогами того времени. Успех его работ за границей заставил и наших ученых обратить на них внимание. В 1851 г. Н. И. Кокшаров начал читать лекции по минералогии в Горном институте. В 1855 г. он был избран адъюнктом Академии наук, в 1858 г. — экстраординарным, а в 1865 г. — ординарным академиком по «кристаллографической геогнозии». С 1872 по 1881 г. Н. И. Кокшаров являлся директором Горного



института. Помимо этого, с 1865 по 1892 г. он был сперва директором, а затем почетным директором Минералогического общества. В 1888 г. с большой торжественностью праздновался 50-летний юбилей его научной деятельности. В честь этого юбилея по заказу Минералогического общества была изготовлена медаль.

Всю свою жизнь Н. И. Кокшаров занимался кристаллографией русских минералов и их описанием (главным образом морфологическим). Свои труды в области минералогической кристаллографии он обобщил и собрал воедино: почти все его работы перепечатывались в периодически выходящих выпусках «Материалов для минералогии России». На русском языке вышло шесть томов этого фундаментального издания (1852—1878 гг.), тогда как на немецком языке в России же было опубликовано одиннадцать томов (1853—1892 гг.).

Для того чтобы составить понятие о характере описаний минералов, публикуемых Н. И. Кокшаровым в «Материалах», разберем главу, относящуюся к эвклазу. Как увидим далее, этот минерал был впервые открыт в России самим Н. И. Кокшаровым. Глава открывается общей характеристикой минерала. В ней указывается сингония (кристаллическая система), единичная (главная) форма, отношение отрезков кристаллографических осей, значение косого угла между первой и третьей осями, спайность трех родов, излом, твердость, удельный вес, блеск, цвет, прозрачность, цвет порошка, оптические свойства (трихроизм, величины показателей преломления). Далее приводится химическая формула, отмечаются поведение минерала перед паяльной трубкой, его отношение к кислотам. Все эти сведения основываются на уже известных литературных данных. Затем Н. И. Кокшаров останавливается на истории открытия эвклаза и его изучения. Особенно подробно описывается нахождение эвклаза на Урале. Приведем относящийся к этому отрывок, интересный для нас тем, что уральский эвклаз был открыт самим Н. И. Кокшаровым по кристаллографическим формам минерала: «В России открыл я эвклаз совершенно случайно, а именно, чтобы приобрести свежий материал для моих работ, я вошел в сношения с одним из первых екатеринбургских купцов, торгующих ошлифованными каменными вещами и минералами, и, таким образом, получил в 1858 году целый ящик с русскими минералами. Посылка заключала в себе преимущественно много кристаллов из золотоносных россыпей купца Бакакина, между которыми (именно между кианитовыми кристаллами посылки) я нашел три превосходных кристалла эвклаза. Означенные три кристалла эвклаза представлены на фиг. 4, 5 и 6 (рис. 23, — *И. III.*) со всеми их натуральными подробностями, но значительно увеличенными».<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Н. И. Кокшаров. Материалы для минералогии России, ч. 3. СПб., 1858, стр. 117.

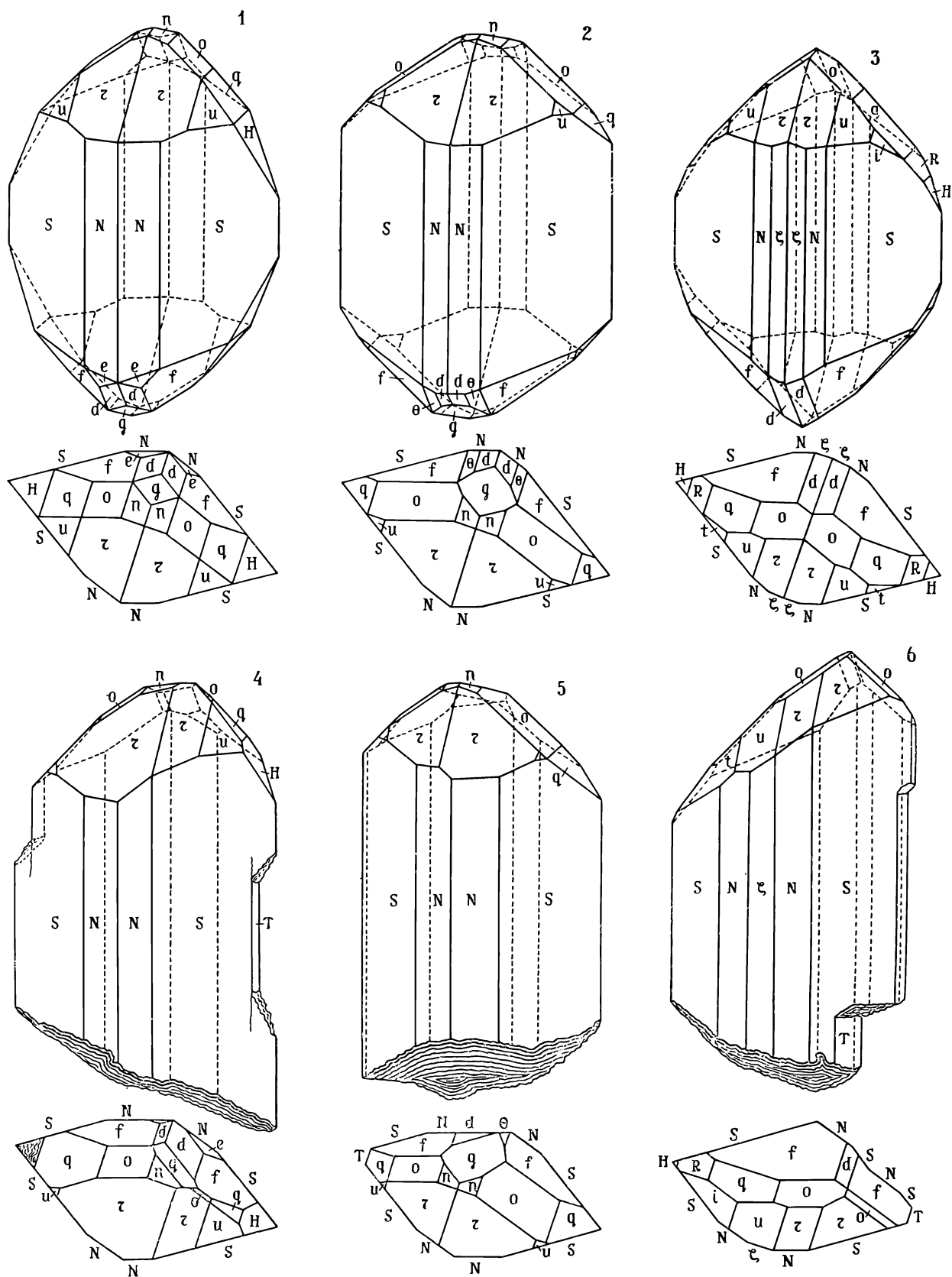


Рис. 23. Кристаллы эвклаза, по Н. И. Кокшарову.



До Н. И. Кокшарова зеленые экземпляры уральского эвклаза смешивали обычно с кианитом. Однако большое число граней и заострение концов кристаллов эвклаза дают возможность сразу же отличить их от кианита. В этом отношении весьма характерен отрывок, повествующий о случаях заочного определения Н. И. Кокшаровым редких кристаллов эвклаза: «В бытность свою в Петербурге зимой 1857 года покойный генерал-майор И. И. Вейц сообщил мне между прочим, что весной означенного года в россыпях Г. Бакакина стали попадаться очень красивые кристаллы прозрачного кианита. На мое замечание, что кристаллы кианита на концах своих обыкновенно бывают бедны плоскостями, И. И. Вейц отвечал, что, напротив, кианитовые кристаллы, им виденные, на концах своих заострены многими плоскостями. Почти излишне прибавлять, что кианитовые кристаллы, о которых шла речь, были не что иное, как кристаллы эвклаза. Также один из нижних чиновников Екатеринбургской гранильной фабрики рассказывал одному из моих друзей, что он был послан И. И. Вейцем на россыпи Г. Бакакина для перемывки отвалов и для извлечения из них всех окристаллованных минералов и что он по окончании возложенного на него поручения привез И. И. Вейцу много розовых топазов и несколько так называемых заостренных кристаллов кианита».<sup>2</sup>

Местность, где был обнаружен уральский эвклаз, особенно привлекала внимание Н. И. Кокшарова, называвшего ее «русской Бразилией». Здесь были найдены кристаллы горного хрусталя, аметиста, розового топаза, синего и красного корундов, кианита, рутила и др. По мнению ученого, эта минеральная группа, ничем не отличавшаяся от бразильских минералов, сопровождающих алмаз, позволяла надеяться на нахождение последнего в России.

Далее Н. И. Кокшаров приводит список шестнадцати кристаллических форм, определенных им на русском эвклазе. Среди них он различает гемипирамиды (ромбические призмы  $\{hkl\}$ ), клинодомы (ромбические призмы  $\{ohl\}$ ), призмы (ромбические призмы  $\{hko\}$ ) и одну гемидому (пинакоид типа  $\{hol\}$ ). Символы форм даются в двух обозначениях — по Х. С. Вейсу и К. Ф. Науману. Кроме уже известных форм, Н. И. Кокшаров открыл три формы «новые и до сих пор свойственные только кристаллам русского эвклаза»:  $\{255\}$  (по Кокшарову  $\theta = + (252)$ ),  $\{041\}$  ( $R = (4P\infty)$ ) и  $\{061\}$  ( $H = (6P\infty)$ ).<sup>3</sup> Комбинации найденных форм представлены в наклонной и горизонтальных проекциях (рис. 23). Рассматривая рисунок Н. И. Кокшарова, мы видим, что кристаллы сперва изображены в идеализированном виде, так что все грани одной простой формы представлены равными (рис. 23, 1—3). Далее следуют изображения трех кри-

<sup>2</sup> Там же, стр. 123—124.

<sup>3</sup> Там же, стр. 117—118.

сталлов «со всеми их натуральными подробностями», т. е. с различным развитием граней, относящихся к одинаковым формам (рис. 23, 4—6).<sup>4</sup> Считая, что приведенные фигуры «достаточны для того, чтобы дать полное понятие о наружном виде кристаллов», Н. И. Кокшаров в дальнейшем тексте останавливается лишь на особенностях отдельных кристаллических граней (или, по его словам, дает «исчисление свойств кристаллических плоскостей».<sup>5</sup>

Приведем отрывок, дающий понятие о подходе ученого к реальным поверхностям кристаллов: «Призматические плоскости  $S = (\infty P 2)$  (т. е.  $\{210\}$ , —И. Ш.) и  $N = \infty P$  (т. е.  $\{110\}$ , —И. Ш.) на трех находящихся у меня кристаллах блестящи, но на одном из них (фиг. 4) (здесь и далее см. рис. 23, —И. Ш.) покрыты штрихами слабо, а на двух прочих (фиг. 5 и 6) — весьма сильно. На двух цветных кристаллах (фиг. 4 и 5) плоскости клинодом  $o = (2P \infty)$  (т. е.  $\{021\}$ , —И. Ш.) и  $g = (3P \infty)$  (т. е.  $\{031\}$ , —И. Ш.) ровны и блестящи, как зеркало. Это, впрочем, можно сказать только в рассуждении широких плоскостей, которые на первом кристалле находятся на левой, а на втором на правой стороне, ибо узенькие плоскости, лежащие на противоположных сторонах кристаллов, менее ровны и менее блестящи. На бесцветном кристалле (фиг. 6) те же плоскости довольно ровны и блестящи, но в меньшей степени, нежели на предыдущих кристаллах. Плоскости клинодом  $n = (P \infty)$  (т. е.  $\{011\}$ , —И. Ш.) и  $H = (6P \infty)$  (т. е.  $\{061\}$ , —И. Ш.) на всех трех кристаллах довольно гладки и блестящи. Плоскость гемидомы  $g = + \frac{1}{2} P \infty$  (т. е.  $\{102\}$ , —И. Ш.)

на одном из цветных кристаллов (фиг. 4) блестяща, а на другом (фиг. 5) совершенно тускла. Прочие плоскости кристаллов, за исключением некоторых слабых неровностей, происходящих часто при образовании кристаллов, довольно ровны и блестящи».<sup>6</sup>

Приведенный отрывок показывает, что внимание Н. И. Кокшарова больше всего привлекала степень совершенства плоскостей кристаллов. Это и понятно, так как от этого зависели качество световых сигналов на гониометре и, следовательно, точность получаемых измерений. Гониометрическое же исследование кристаллов составляло основную цель научного творчества ученого.

Один из параграфов содержит сводку угловых величин для кристаллов эвклаза. В нем приводится сопоставление углов между нормальными к двум граням, вычисленных по отношению осей и измеренных предшествующими исследователями и самим Н. И. Кокшаровым (для таких углов приводятся средние из многих замеров с точностью до секунд!). Сводка эта в виде длинных столбцов с цифрами занимает 12 страниц книги.

<sup>4</sup> Там же, стр. 121.

<sup>5</sup> Там же, стр. 122.

<sup>6</sup> Там же, стр. 122—123.

Далее следуют результаты измерений кристаллов эвклаза, выполненных самим Н. И. Кокшаровым. Даются величины углов для трех уральских кристаллов и трех кристаллов из Бразилии, измерения которых производились на однокружном отражательном гониометре Митчерлиха, имеющем одну трубу. Помимо углов, измеренных на отдельных кристаллах, Н. И. Кокшаров приводит средние углы как для уральских, так и для бразильских кристаллов. При использовании полученных им величин следует это иметь в виду, так как в настоящее время принято учитывать колебания угловых величин для кристаллов из различных месторождений. Средние величины углов даются им с точностью до секунд, что превышает возможную точность гониометрических измерений (сейчас приводятся угловые величины с точностью до минут). Вместе с тем Н. И. Кокшаров всегда тщательно отмечает подмеченные им отклонения от идеального кристаллообразования. Так, например, он пишет о гранях *S*: «Сюда относятся самые трудные и наименее удовлетворительные измерения, частью по причине штрихов, покрывающих плоскости *S*, частью по причине самого положения этих плоскостей, которые бывают, кажется, чаще сдвинуты с места, нежели все прочие плоскости эвклаза».<sup>7</sup>

Отдельно приведенными и очень точно измеренными Н. И. Кокшаровым углами для различных кристаллов можно пользоваться и сейчас как вполне благонадежными данными, однако с учетом вышеприведенных замечаний.

Результаты измерений кристаллов составляют центральную и самую значительную часть главы об эвклазе, занимающую 15 страниц книги. Далее следуют результаты определения относительного веса русского эвклаза.

В конце главы об эвклазе находятся «Особенные замечания», в которых Н. И. Кокшаров рассматривает вопрос о возможности применения прямоугольной системы координатных осей к моноклинным кристаллам эвклаза. Напомним, что учитель Н. И. Кокшарова Х. С. Вейс пытался сперва свести все открытые им кристаллографические системы (сингонии) к прямоугольным системам координат. Эту попытку Е. С. Федоров охарактеризовал следующим образом: «Вейс отбросил представления о каких-либо примитивных формах, а вместе с тем и о правильности расположения частиц в пространстве, а изложение кристаллографии основал на понятии о кристаллографических осях. Он долгое время искал в этих осях того, что весьма упрощало бы изложение кристаллографии, — прямоугольности. Упрощая, это представление привело, однако, так сказать, и к обнищанию нашей науки, утомительному однообразию, против которого всегда в истории наук энергично протестовала сама природа вещей».<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Там же, стр. 147.

<sup>8</sup> Е. С. Федоров. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904, стр. 10—11.

В своих замечаниях Н. И. Кокшаров поставил целью показать неприемлемость прямоугольной системы координат для эвклаза. Основываясь на данных собственных измерений, ученый приходит к следующему выводу: «Из всего вышеприведенного очевидно, что прямоугольную систему осей для кристаллов эвклаза применить неудобно. При прямоугольной системе осей получаются слишком сложные кристаллографические знаки и вычисляются углы, отличающиеся от непосредственно измеренных гораздо более, нежели при косоугольной системе координат».<sup>9</sup>

Приведенный выше подробный обзор главы об эвклазе дает ясное представление о плане описания минералов, применявшемся Н. И. Кокшаровым. Центральной частью таких описаний являлись сведения об угловых величинах кристаллов, измеренных на гониометре с большой точностью. Перечень форм иллюстрировался ортогональными проекциями кристаллов, собранными в специальном атласе. В своих описаниях ученый особенно подробно останавливался на характере поверхности граней. Остальные физические, а также и химические свойства в большинстве случаев приводились по литературным данным.

Таким образом, «Материалы для минералогии России» с современной точки зрения содержат прежде всего кристалломорфологию минералов России.

Просматривая названное сочинение в целом, прежде всего поражаешься грандиозному количеству минералов, описанных Н. И. Кокшаровым. Достаточно отметить, что в общем указателе, приложенном к 11-му тому, содержится более 400 названий. Ученый несколько облегчил себе работу тем, что сознательно отверг единый план для своего труда: «Что касается до порядка, в котором должны появляться описания, то я нашел более удобным предоставить себе в этом отношении полную свободу».<sup>10</sup> Такой подход давал возможность автору останавливаться в первую очередь на тех минералах, которые его интересовали, по несколько раз возвращаться к одним и тем же веществам, дополнять прежние сведения данными новых исследований и т. п. В результате он сумел так широко охватить русские минералы, как это не удалось сделать ни одному из ученых ни до, ни после него.

«Материалы» являются и до сих пор незаменимым пособием при изучении кристаллографии русских минералов. В них мы находим не только описания минералов с огромными списками угловых величин, измеренных самим автором, но и обширный атлас с изображениями кристаллов, спроектированных опять-таки самим же ученым. По мысли Н. И. Кокшарова, этот атлас должен

---

<sup>9</sup> Н. И. Кокшаров. Материалы для минералогии России, ч. 3, стр. 158. Впоследствии Н. И. Кокшаров опубликовал ряд дополнений с описаниями новых кристаллов эвклаза.

<sup>10</sup> Там же, ч. 1, стр. 1.

был давать «полную картину кристаллизации отечественных минералов». Не следует забывать, что целый ряд минералов был им впервые обнаружен в России. К их числу принадлежат эвклаз, брукит, желтый канкринит, волластанит, халькофиллит и хальколит. Мало того, Н. И. Кокшаров открыл несколько новых минеральных видов и разновидностей, часть которых утвердилась в минералогической литературе. Сюда относятся ильменорутит, клинохлор, кочубейт, валуевит, багратионит и др.

Все эти открытия не могли не поразить современников. «Ни одно государство в мире не может похвалиться подобным собранием монографий по отечественным минералам», — справедливо отмечал в свое время по поводу «Материалов для минералогии России» проф. Р. А. Прендель.<sup>11</sup>

Однако главную ценность труда Н. И. Кокшарова составляют результаты гониометрических измерений, являющиеся и до сих пор наиболее точными и совершенными в области минералогической кристаллографии.

«Можно сказать, — писал акад. В. И. Вернадский, — что только благодаря Кокшарову мы имеем точное познание геометрической формы главных групп минералов и только после его работ явились возможными правильные обобщения и сравнения тех явлений, для познания которых форма является главной и решающей. Для всей группы галоидо-фосфорнокислых соединений апатита и т. п., для группы авгитов и роговых обманок, для природных сернокислых солей и проч. и проч. самые точные знания, нами достигнутые, суть числа Кокшарова.

«Своих результатов он сумел достигнуть строгим и умным выбором материала для исследования. Путем точных исследований образцовых кристаллов Кокшаров положил прочный фундамент навсегда для всех обобщений в данной области».<sup>12</sup>

В другой статье тот же автор писал: «Кокшаров работал всю жизнь с помощью старинных приборов (однокружных гониометров), которые господствовали в науке в первой половине XIX столетия, но с помощью их он достигал поразительных результатов. Его числа стоят так же прочно, как они стояли при его жизни, и не превзойдены новыми исследованиями. Кокшаров достигал этого результата не только исключительной опытностью в работе с малосовершенными аппаратами, но и выбором для измерения хорошо образованных кристаллов, которые он выбирал нередко из многих сотен неделимых данного минерала».<sup>13</sup>

---

<sup>11</sup> Р. Прендель. Памяти Н. И. Кокшарова. Одесса, 1893, стр. II.

<sup>12</sup> В. И. Вернадский. Памяти Н. И. Кокшарова и А. В. Гадюлина. Bull. Soc. Nat. Moscou, vol. 6, 1892, № 4, стр. 506—510.

<sup>13</sup> В. И. Вернадский. Кокшаров Николай Иванович. В кн.: Материалы для биографического словаря действительных членов Академии наук, ч. 1. Изд. Акад. наук, Пгр., 1915, стр. 332—338.



Числа Н. И. Кокшарова вошли как незыблемый вклад в фонд мировой науки. С гордостью за нашего ученого читаем мы следующие, обращенные к нему слова составителя капитальной «Системы минералов» («The system of mineralogy»), известного американского минералога Дж. Д. Дана: «Сын мой Эдуард, много трудившийся над новым изданием минералогии, перевычислил углы кристаллов всех минеральных видов по причине ошибок, вкравшихся в издания почти всех лучших деятелей науки. Он сказал мне, однако же, несколько недель тому назад, что вычисления Кокшарова все сплошь одинаково верны».<sup>14</sup>

В связи с частыми ссылками на Н. И. Кокшарова Дж. Д. Дана в своей «Системе минералов» должен был принять особый знак для обозначения его имени, чтобы сэкономить буквы в строках (то же самое им сделано и в отношении П. В. Еремеева). В последнем переиздании работы Дж. Д. Дана, увидевшем свет в 1944 г., в списке главнейшей использованной литературы «Материалы» Н. И. Кокшарова по-прежнему стоят на почетном месте наряду с «Царством кристаллов» Е. С. Федорова, «Опытом описательной минералогии» В. И. Вернадского, «Курсом описательной минералогии» А. К. Болдырева.

Любопытно отметить отношение самого Н. И. Кокшарова к своим измерениям. Свою цель он видел в том, чтобы дать науке точнейшие величины, на основании которых возможно будет вывести в будущем обобщающие законы кристаллографии. В письме к акад. А. Я. Купферу он писал: «Я пытаюсь не только получить удовлетворительные результаты, определяющие форму кристаллическую одного минерала (т. е. я не только измеряю угол или углы, принадлежащие примитивной форме), но я при помощи точных измерений учитываю колебания этих углов, имеющие место для различных индивидов одного и того же минералогического вида. Причины этих колебаний объясняются тем, что в одном кристалле соединено несколько индивидов, или тем, что изоморфные между собой соединения в различных количествах входят в один и тот же минерал. Мне кажется, что с помощью большого числа (множества) наблюдений и точных измерений можно выяснить много вещей, еще не выясненных до сих пор, а также получить ключ к пониманию некоторых законов, которым подчиняются взаимоотношения кристаллической формы, химического состава и удельного веса. Так, например, мне удалось показать, что угол, образованный гранью гексагональной пирамиды апатита с вертикальной осью, равен  $49^{\circ}42'$  в апатите, содержащем лишь фтор (и не содержащем хлора), тогда как в апатитах, не содержащих фтора, но содержащих лишь хлор, этот угол равен  $49^{\circ}51'$ ».<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 24, 1888, стр. 356.

<sup>15</sup> Письмо от 15 мая 1858 г. См.: Архив Акад. наук, разр. 5, оп. К, № 74, лл. 36—43.

Увлекаясь точнейшими измерениями углов на кристаллах минералов, Н. И. Кокшаров оставлял в стороне вопросы их парагенезиса и образования в природе. Для исследования он пользовался отдельными образцами кристаллов, присылавшимися ему со всей России его многочисленными учениками и почитателями.

Значительный исторический интерес представляет курс кристаллографии Н. И. Кокшарова, изданный под названием «Лекции минералогии» (1863 г.). Этот курс является по сути дела первым оригинальным русским учебником кристаллографии.<sup>16</sup> Четкость и ясность изложения обеспечили ему в свое время большой успех среди учащихся. В течение долгого времени он считался образцовым руководством. В 1865 г. учебник был издан на немецком языке. В качестве курьеза можно отметить, что в 1908 г., уже после многочисленных изданий курсов Е. С. Федорова, Г. В. Вульфа и других, вышло новое литографированное издание книги Н. И. Кокшарова.

Выше указывалось, что в области теоретической кристаллографии Н. И. Кокшаров примкнул к направлению, возглавлявшемуся немецкими кристаллографами Х. С. Вейсом и К. Ф. Науманом. В своих любопытнейших воспоминаниях, опубликованных в «Русской старине», Н. И. Кокшаров писал о том, что его подробные заметки «по кристаллографической методе Вейса» составили четыре толстых тома, которыми он пользовался в течение всей своей дальнейшей жизни. В «Лекциях минералогии» читаем: «Когда я был слушателем Вейса в Берлинском университете, мне приходилось не только пользоваться одними лекциями гениального кристаллографа, но и внимательно изучать сочинения других ученых. В это-то время я узнал всю цену учебным руководствам Наумана, который вскоре сделался любимым моим автором. С тех пор прошло уже более двадцати лет, а я все еще остаюсь при том же убеждении, что кристаллографическая метода Наумана есть одна из тех, которые приводят к цели кратчайшим и легчайшим путем... Кристаллографическую часть нашего курса я намерен изложить в духе метода этого кристаллографа. Конечно, я постараюсь не упустить также из вида и взгляды некоторых других кристаллографов, но все-таки общая канва будет принадлежать Науману».<sup>17</sup>

Следует, однако, иметь в виду, что, несмотря на это высказывание самого Н. И. Кокшарова, его лекции отнюдь нельзя рас-

---

<sup>16</sup> Годом раньше было издано «Введение в изучение кристаллографии» профессора химии Киевского университета И. А. Тютчева (1834—1893), высоко оцененное Н. И. Кокшаровым и удостоенное почетного отзыва Академии наук. Ему же принадлежит обзор теоретических работ О. Браве, опубликованный в «Записках Минералогического общества», и конструкция гониометра с диоптрами.

<sup>17</sup> Н. И. К о к ш а р о в. Лекции минералогии. СПб., 1863, стр. 3.

смаатривать как простой пересказ руководств К. Ф. Наумана. Недаром вскоре после выхода русского издания «Лекций» потребовался их немецкий перевод.

Перейдем к обзору содержания «Лекций минералогии», подчеркнув еще раз то, что, вопреки своему названию, вся эта книга в целом представляет собой основы геометрической кристаллографии.

Последнее становится понятным, если обратиться к общим высказываниям Н. И. Кокшарова относительно предмета минералогии. Согласно его определению, «кристаллы суть настоящие неделимые неорганического мира», а минералогия является «наукой о неорганических телах природы». Н. И. Кокшаров полагал, что в будущем все без исключения неорганические тела станут предметом минералогии, которая при этом превратится в «анорганографию», т. е. науку о всех вообще неорганических телах. Таким образом, кристаллография рассматривалась им как часть «предуготовительной минералогии».<sup>18</sup>

«Сегодня предстоит мне начать одну из самых интереснейших частей нашего курса — кристаллографию», — так начинает Н. И. Кокшаров вторую лекцию своего курса. Далее он указывает, что «кристаллография достигла такой степени совершенства, что уже сама по себе может быть рассматриваема как особенная отрасль человеческих знаний, как особенная самостоятельная наука».<sup>19</sup> Затем выясняется, что кристаллография является лишь частью более обширной науки — кристаллологии. Последняя разделяется на кристаллографию — науку о морфологических свойствах кристаллов, кристаллофизику — науку о физических свойствах кристаллов, и кристаллохимию — науку о химических свойствах кристаллов.

В своем курсе ученый ограничился рассмотрением собственно кристаллографии (по его терминологии). «Так как минералы находятся или в виде свободно образованных кристаллов, или в виде кристаллических агрегатов, или в виде аморфных масс, то мы рассмотрим сперва морфологические свойства кристаллов, потом морфологические свойства агрегатов и, наконец, морфологические свойства аморфных тел», — писал он.<sup>20</sup> Однако в книге освещается лишь первая тема — кристалломорфология отдельных кристаллов. Очевидно, свою работу Н. И. Кокшаров представлял себе лишь как введение к дальнейшему изложению минералогии. После вступительных замечаний о простых и сложных формах (простых формах и комбинациях), обозначениях кристаллических форм (т. е. символов по Х. С. Вейсу, К. Ф. Нау-

---

<sup>18</sup> Там же, стр. 1—5.

<sup>19</sup> Там же, стр. 7.

<sup>20</sup> Там же.

ману и В. Миллеру) и кристаллографических поясах Н. И. Кокшаров приступает к описанию форм по отдельным системам (сингониям). По его мнению, существует семь следующих систем (в скобках указаны современные названия): 1) правильная (кубическая), 2) тетрагональная, 3) гексагональная, 4) ромбическая, 5) моноклиноэдрическая (моноклинная), 6) диклиноэдрическая и 7) триклиноэдрическая (триклинная).

Под шестым номером числится ныне не существующая диклиноэдрическая система с одним прямым и двумя косыми углами между координатными осями. По симметрии кристаллы такой системы относятся теперь к триклинной сингонии.

Следует иметь в виду, что Н. И. Кокшаров, так же как и Х. С. Вейс, выделял кристаллографические системы не по элементам симметрии, а по углам между координатными осями и отношениям единичных отрезков. Понятия о симметрии вообще и элементах симметрии в частности полностью отсутствуют в его книге (так же как и в учебниках К. Ф. Наумана). Вывод простых форм, а одновременно и подразделений сингоний производился им путем закономерного удаления граней полногранных (гомоэдрических) форм.

Возьмем в качестве примера наиболее богатую гранями форму кубической сингонии — 48-гранник. Эта форма является представителем полногранного отделения — гомоэдрии кубической системы. Путем удаления попеременных одиночных граней 48-гранника выводится пентагон-триоктаэдр (гироэдр) — представитель гироэдрической гемиздрии кубической системы. При исчезновении в 48-граннике попеременных пар плоскостей получается дидодекаэдр (преломленный пентагональный додекаэдр) — основная форма додекаэдрической гемиздрии кубической системы. Путем удаления в 48-граннике попеременных групп, состоящих из шести граней, выводится гексатетраэдр (преломленный пирамидальный тетраэдр) — представитель тетраэдрической гемиздрии кубической сингонии. Если в 48-граннике из каждой шести граней, лежащих в попеременных октантах, три оставить и три удалить, то получается пентагон-тритетраэдр (тетартоэдр) — основная форма кубической тетартоэдрии.

Как видим, все перечисленные выше подразделения кубической системы выведены путем механического удаления граней основной формы полногранного отделения. В случае кубической сингонии эти подразделения совпадают с пятью видами симметрии. Однако в других сингониях такой подход приводит к многочисленным ошибкам.

Ниже сопоставлены подразделения сингоний, указанные Н. И. Кокшаровым, с современными видами симметрии:

# ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ СИНГОНИЙ ПО Н. И. КОКШАРОВУ

(слева — названия форм по Н. И. Кокшарову, справа — современные термины)

Правильная система  
Гомоэдрия.

Гироэдрическая гемиедрия.  
Додекаэдрическая гемиедрия.  
Тетраэдрическая гемиедрия.  
Тетартоэдрия.

Тетрагональная  
система

Гомоэдрия.

Трапецоэдрическая гемиедрия.  
Скаленоэдрическая гемиедрия.

Пирамидальная гемиедрия.  
Ромботипная гемиедрия.

Сфеноидическая тетартоэдрия.

Ромботипная тетартоэдрия.

Гексагональная  
система

Гомоэдрия.

Трапецоэдрическая гемиедрия.

Скаленоэдрическая гемиедрия.

Пирамидальная гемиедрия.

Тригонотипная гемиедрия.

Ромбоэдрическая тетартоэдрия.

Трапецоэдрическая тетартоэдрия.

Ромбическая система  
Гомоэдрия.

Сфеноидическая гемиедрия.  
Моноэдрия с моноклиноэдрическим  
характером.

Моноклиноэдрическая  
система

Диклиноэдрическая  
система

Триклиноэдрическая  
система

Кубическая сингония  
Планаксиальный вид симметрии  
( $m\bar{3}m$ ).  
Аксиальный вид симметрии (43).  
Центральный вид симметрии ( $m\bar{3}$ ).  
Планальный вид симметрии ( $43m$ ).  
Примитивный вид симметрии (23).

Тетрагональная  
сингония

Планаксиальный вид симметрии  
( $4/mmm$ ).  
Аксиальный вид симметрии (422).  
Гироидо-планальный вид симметрии  
( $42m$ ).  
Центральный вид симметрии ( $4/m$ ).  
Планаксиальный вид симметрии ром-  
бической сингонии ( $mmm$ ).  
Гироидо-примитивный вид симмет-  
рии (4).  
Аксиальный вид симметрии ромби-  
ческой сингонии (222).

Гексагональная и  
тригональная сингонии

Гексагонально-планаксиальный вид  
симметрии ( $6/mmm$ ).  
Гексагонально-аксиальный вид сим-  
метрии (62).  
Тригонально-планаксиальный вид  
симметрии ( $\bar{3}m$ ).  
Гексагонально-центральный вид  
симметрии ( $6/m$ ).  
Гексагонально-гироидо-планальный  
вид симметрии ( $\bar{6}2m$ ).  
Тригонально-центральный вид сим-  
метрии ( $\bar{3}$ ).  
Тригонально-аксиальный вид симмет-  
рии (32).

Ромбическая сингония  
Планаксиальный вид симметрии  
( $mmm$ ).

Аксиальный вид симметрии (222).  
Планаксиальный вид симметрии, мо-  
ноклинная сингония ( $2/m$ ).

Моноклинная сингония

Планаксиальный вид симметрии  
( $2/m$ ).

Частный случай три-  
клинной сингонии

Триклинная сингония

Центральный вид симметрии ( $\bar{1}$ ).

Из этого сопоставления видно, что в тетрагональной, тригональной и гексагональной сингониях отсутствуют все примитивные и планальные (т. е. «пирамидальные») виды симметрии. Объясняется это тем, что Н. И. Кокшаров считал формы пирамид недоразвившимися дипирамидами. Этому вопросу он посвятил специальный параграф под названием «Гемиморфизм некоторых кристаллов». «В некоторых натуральных кристаллах, не принадлежащих к системе правильной, — писал Н. И. Кокшаров, — замечается весьма любопытное явление, а именно: кристаллы эти на противоположных концах вертикальной оси бывают ограничены плоскостями совершенно различных форм, подобно тому как будто бы верхний конец таких кристаллов принадлежал одному неделимому, а нижний — другому».<sup>21</sup> В моноклинной и триклинной сингониях им поэтому опускаются случаи, отвечающие видам симметрии  $L_2$ ,  $P$ .

Кроме пропусков ряда возможных случаев, система Н. И. Кокшарова содержит и повторения одинаковых случаев в различных сингониях. Сюда относятся случаи ромботипной гемиздри и ромботипной тетартотедрии в тетрагональной сингонии, а также случай моноэдри с моноклиноэдрическим характером в ромбической сингонии. Для того чтобы понять происхождение ромботипной гемиздри в тетрагональной сингонии, отвечающей симметрии  $C3L_23P$ , достаточно рассмотреть рисунок, помещенный в книге Н. И. Кокшарова (рис. 24), на котором изображена основная форма тетрагональной гомоэдри — дитетрагональная дипирамида. Восемь заштрихованных плоскостей удаляются, а восемь незаштрихованных растягиваются до взаимного пересечения. В результате из дитетрагональной дипирамиды получается ромбическая дипирамида — представитель «ромботипной гемиздри», якобы существующей в тетрагональной системе. Приведенный пример показывает, к каким ошибочным результатам приводит метод вывода подразделений кристаллографических систем, основанный на видоизменении форм без учета их симметрии. Лишь вывод 32 видов симметрии, осуществленный А. В. Гадолиным в 1867 г., внес ясность в этот вопрос.

Метод, выдвинутый К. Ф. Наумовым и пропагандировавший Н. И. Кокшаровым, не давал также возможности получить пред-

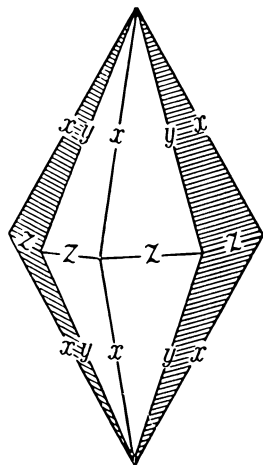


Рис. 24. Вывод ромбической дипирамиды из дитетрагональной дипирамиды («Ромботипная гемиздри» в тетрагональной сингонии), по Н. И. Кокшарову.

<sup>21</sup> Там же, стр. 179.

ставления о всех возможных формах на кристаллах. Попытка найти все существующие формы на основе механического удаления граней не могла не привести к многочисленным пропускам. Так, например, в русском переводе «Минералогии» К. Ф. Наумана (1856 г.) из кубических форм отсутствуют пентагон-триоктаэдр и пентагон-тритетраэдр. Среди форм средних сингоний мы не находим пирамид, трапецоэдров, дитригональных призм и дипирамид. Среди форм низших сингоний отсутствуют ромбические пирамиды, диэдры и моноэдры. Дипирамиды всюду называются пирамидами.

В связи с отсутствием точного понятия простой формы в низших сингониях комбинация из двух ромбических призм принималась за одну форму — «моноклинную пирамиду» (дипирамиду), а комбинация из четырех пинакоидов — за «триклинную пирамиду» (дипирамиду). Интенсивное изучение реальных кристаллических многогранников привело к тому, что с течением времени появлялись все новые и новые формы. В «Лекциях минералогии» Н. И. Кокшарова (1863 г.) имелось уже 15 простых форм кубической сингонии. Появились у Н. И. Кокшарова и трапецоэдры. По-прежнему отсутствовали пирамиды (под названием пирамид подразумевались дипирамиды), диэдры и моноэдры. Вместе с тем продолжали фигурировать моноклинные и триклинные пирамиды. Ниже приводятся полный список форм, упоминавшихся Н. И. Кокшаровым, и употреблявшиеся им термины (терминология Н. И. Кокшарова очень близка к номенклатуре К. Ф. Наумана):

#### НАЗВАНИЯ ПРОСТЫХ ФОРМ ПО Н. И. КОКШАРОВУ

(слева — названия форм по Н. И. Кокшарову, справа — современные термины)

П р а в и л ь н а я   с и с т е м а	К у б и ч е с к а я   с и н г о н и я
Тетраэдр.	Кубический тетраэдр.
Куб (гексаэдр).	Гексаэдр.
Октаэдр (правильный октаэдр).	Октаэдр.
Ромбический додекаэдр (гранатоэдр).	Ромбододекаэдр.
Пентагональный додекаэдр.	Пентагон-додекаэдр.
Пирамидальный тетраэдр (тригон-додекаэдр).	Тригон-тритетраэдр.
Дельтоэдр (дельтоид-додекаэдр).	Тетрагон-тритетраэдр.
Тетартоэдр (тетраэдрический пентагональный додекаэдр).	Пентагон-тритетраэдр.
Преломленный пирамидальный тетраэдр (гексатетраэдр).	Гексатетраэдр.
Пирамидальный куб (тетракисгексаэдр).	Тетрагексаэдр.
Преломленный пентагональный додекаэдр (диакисдодекаэдр).	Дидодекаэдр.
Пирамидальный октаэдр (триаксоктаэдр).	Тригон-триоктаэдр.
Трапецоэдр (икситетраэдр).	Тетрагон-триоктаэдр.

Гироэдр (пентагональный икосите-  
траэдр).  
Сорокавосьмигранник (гексаксикс-  
таэдр).

### Тетрагональная (квадратная) система

Тетрагональная (квадратная) призм-  
ма.  
Дитетрагональная (симметрическая  
восьмиугольная) призма.  
Тетрагональная (квадратная) пи-  
рамида (квадратный октаэдр).  
Дитетрагональная (восьмиугольная)  
пирамида.  
Тетрагональный сфеноид.  
Тетрагональный трапецоэдр.  
Тетрагональный скаленоэдр.  
Основной пинакоид.

### Гексагональная (шести- угольная) система

Тригональная призма.  
Дитригональная призма.  
Тригональная пирамида.  
Гексагональная (правильная шести-  
угольная, шестисторонняя) призма.  
Дигексагональная (симметрическая,  
двенадцатиугольная) призма.  
Гексагональная (шестиугольная,  
двойная, шестисторонняя) пира-  
мида (дигексаэдр).  
Дигексагональная (двенадцатиуголь-  
ная) пирамида.  
Ромбоэдр.  
Гексагональный трапецоэдр.  
Гексагональный скаленоэдр.  
Основной пинакоид.

### Ромбическая (ортором- бическая) система

Ромбическая пирамида (ромбический  
октаэдр).  
Ромбическая призма.  
Макродома.  
Брахидома.  
Ромбический сфеноид.  
Макропинакоид.  
Брахипинакоид.  
Базопинакоид.

### Моноклиноэдрическая система

Моноклиноэдрическая пирамида.  
Моноклиноэдрическая призма.  
Клинодома.

Пентагон-триоктаэдр.

Гексоктаэдр.

### Тетрагональная сингония

Тетрагональная призма.  
Дитетрагональная призма.  
Тетрагональная дипирамида.  
Дитетрагональная дипирамида.  
Тетрагональный тетраэдр.  
Тетрагональный трапецоэдр.  
Тетрагональный скаленоэдр.  
Пинакоид.

### Гексагональная и тригональная сингонии

Тригональная призма.  
Дитригональная призма.  
Тригональная дипирамида.  
Гексагональная призма.  
Дигексагональная призма.  
Гексагональная дипирамида.  
Дигексагональная дипирамида.  
Ромбоэдр.  
Гексагональный трапецоэдр.  
Дитригональный скаленоэдр.  
Пинакоид.

### Ромбическая сингония

Ромбическая дипирамида.  
Ромбическая призма типа  $\{hko\}$ .  
Ромбическая призма типа  $\{hol\}$ .  
Ромбическая призма типа  $\{okl\}$ .  
Ромбический тетраэдр.  
1-й пинакоид  $\{100\}$ .  
2-й пинакоид  $\{010\}$ .  
3-й пинакоид  $\{001\}$ .

### Моноклиная сингония

Комбинация двух ромбических призм.  
Ромбическая призма типа  $\{hko\}$ .  
Ромбическая призма типа  $\{okl\}$ .



Ортодома.

Ортопинакоид.  
Клинопинакоид.  
Базопинакоид.

4-гранная комбинация из двух пинакоидов типа  $\{hol\}$ .

1-й пинакоид  $\{100\}$ .  
2-й пинакоид  $\{010\}$ .  
3-й пинакоид  $\{001\}$ .

### Диклиноэдрическая система<sup>22</sup>

Диклиноэдрическая пирамида.

Диклиноэдрическая призма.

Триклинная комбинация из четырех пинакоидов.

Триклинная комбинация из двух пинакоидов.

### Триклиноэдрическая система

Триклиноэдрическая пирамида.

Триклиноэдрическая призма.

Макродома.

Брахидома.

Макропинакоид.  
Брахипинакоид.  
Базопинакоид.

### Триклинная сингония

Триклинная комбинация из четырех пинакоидов типа  $\{hkl\}$ .

Комбинация из двух пинакоидов типа  $\{hko\}$ .

Комбинация из двух пинакоидов типа  $\{hol\}$ .

Комбинация из двух пинакоидов типа  $\{okl\}$ .

1-й пинакоид  $\{100\}$ .  
2-й пинакоид  $\{010\}$ .  
3-й пинакоид  $\{001\}$ .

До сих пор не утратила своего значения глава из «Лекций минералогии», озаглавленная «О несовершенствах наружного вида натуральных кристаллов», высоко оцененная В. И. Вернадским. В ней нашел отражение колоссальный опыт Н. И. Кокшарова в деле изучения кристалломорфологии минералов.

Несовершенства кристаллов подразделялись им на несовершенства, зависящие от образа происхождения самих неделимых, и на несовершенства, зависящие как от непосредственного соприкосновения кристаллов между собой, так и от соприкосновения их с другими минеральными массами. К несовершенствам первого типа относятся, по Н. И. Кокшарову, неравномерное развитие одноименных граней, неравномерное растяжение самих кристаллов по различным направлениям, отклонения граней от идеальных плоскостей, аномалии угловых величин. Особенно подробно останавливался Н. И. Кокшаров на отклонениях граней от идеальных плоскостей. Он отмечал следующие «главные несовершенства кристаллических граней»: штриховатость (бороздчатость), друзообразность,<sup>23</sup> тусклость, изогнутость, разьеденность и расплывчатость.

<sup>22</sup> Несуществующая сингония с двумя косыми углами и одним прямым углом между координатными осями.

<sup>23</sup> Друзообразными Н. И. Кокшаров называл такие грани, на которых наблюдается множество небольших выступающих и параллельно ориентированных телесных углов («остроконечий»). «От этого, — писал Н. И. Кок-

В этой же главе сделана одна из первых по времени оригинальных попыток объяснения кривогранных форм на кристаллах. В качестве примера Н. И. Кокшаров описал два кристалла топаза. Грани  $f$  этих образцов представляли выпуклую, сфероидальную поверхность, за исключением плоских участков эллипсоидального вида, находящихся в середине граней (рис. 25). «В таком кристалле, — писал он, — мы видим, можно сказать, борьбу, которая произошла между нормальной формой жидкого и нормальной формой твердого тела, — борьбу, которая в самую решительную минуту была остановлена, т. е. тело отвердело в тот самый момент, когда должны были произойти вышеупомянутые притупляющие плоскости. Как в первом, так и во втором кристалле настоящая плоскость  $f$  есть, следовательно, эллипсоидальное поле. Что же касается до выпуклой поверхности, то конечно ее должно рассматривать как результат слияния многих плоскостей вместе».<sup>24</sup> Кристаллы топаза, описанные Н. И. Кокшаровым, судя по приложенным рисункам и точному их описанию, безусловно следует отнести к продуктам частичного растворения. Однако, как видим, во времена Н. И. Кокшарова такие кристаллические формы вовсе не связывались с процессами растворения. Следует отметить, что, несмотря на всю фантастичность борьбы «между нормальной формой жидкого и нормальной формой твердого тела», сходные объяснения в отношении образования кристаллических форм растворения предлагались и значительно позднее (например, в работах В. Гольдшмидта).

Сейчас эти рассуждения следует рассматривать как ранние попытки сформулировать теорию минимума поверхностной энергии кристалла, развитую впоследствии в трудах Дж. В. Гиббса, П. Кюри и Г. В. Вульфа.

шаров («Лекции минералогии», стр. 189), — кристалл кажется составленным из множества маленьких кристалликов».

<sup>24</sup> Н. И. Кокшаров. Лекции минералогии, стр. 193—194.

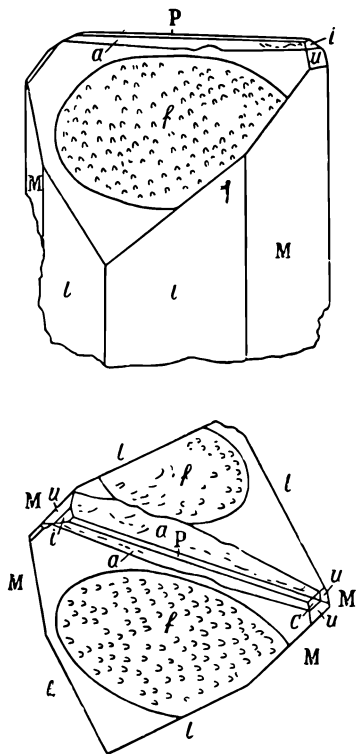


Рис. 25. Округлые поверхности на топазе, по Н. И. Кокшарову.

Руководство Н. И. Кокшарова заканчивается подробным описанием гониометрической методики исследования кристаллов.

Как уже указывалось, В. И. Вернадский дал высокую оценку кокшаровским «Лекциям минералогии». Он писал: «Отличаясь ясностью и стройностью изложения, они в свое время были выдающимся произведением и долгое время, до конца 1880-х годов, сохраняли свое значение в преподавании; в некоторых своих частях они сохранили свое значение и до сих пор (например, в главе о несовершенствах кристаллов)».<sup>25</sup>

Значительно более сурово отнесся к «Лекциям» Н. И. Кокшарова Е. С. Федоров, считавший их «скопированными с лекций Наумана с его диклиноэдрическими системами, ромботипными гемиедриями и тетартоэдриями».<sup>26</sup> Выше отмечалось влияние кристаллографической школы К. Ф. Наумана на Н. И. Кокшарова. Однако говорить о простом копировании здесь, конечно, нельзя. Лучшим опровержением этому служит ссылка самого Е. С. Федорова к приведенной фразе. Желая охарактеризовать примитивность кристаллографических понятий К. Ф. Наумана, Е. С. Федоров разбирает вопрос о несуществующей диклиноэдрической системе, признанной немецким кристаллографом, и пишет: «К этому он (Науман, — *II. III.*) прибавляет ссылку на Кокшарова, как высокого авторитета, которого он противопоставлял Квенштедту, а именно: „Vergl. auch N. v. Kokscharow, Vorlesungen über Mineralogie, S. 151, und dagegen die seltsame und confuse Kritik, welche Quenstedt in seinem Handbuche der Mineralogie, 2 Aufl., S. 31, gegen das dikline System ausübt“»<sup>27</sup> («Сравните также лекции минералогии Н. Кокшарова, стр. 151, со странной и конфузной критикой, с которой выступил против диклиновой системы Квенштедт в своем справочнике по минералогии, 2-е изд., стр. 31»).

Из приведенной цитаты выясняется, что не только Н. И. Кокшаров опирался на данные К. Ф. Наумана, но и последний в свою очередь прибегал к авторитету Н. И. Кокшарова и цитировал его «Лекции минералогии». Ироническая оценка творчеству Н. И. Кокшарова дана Е. С. Федоровым в его неопубликованных воспоминаниях об императорской Академии наук. Упомянув об очерке, посвященном юбилею Н. И. Кокшарова, Е. С. Федоров пишет: «В этом очерке, между прочим, было сказано, что юбилей еще в возрасте 17 лет, охватив умственно область кристаллографии и минералогии, пришел к убеждению о преждевременности каких бы то ни было теоретических построений и что научные работы должны быть сведены к положению материала в виде кристаллоизмерения. Таким образом, кристаллоизмерение если

<sup>25</sup> В. И. В е р н а д с к и й. Кокшаров Николай Иванович, стр. 277—289.

<sup>26</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Кристаллография за сорок лет. Зап. Горн. инст., т. 2, вып. 5, 1910, стр. 364—365.

<sup>27</sup> Там же, стр. 365.

и не было возведено в перл величайших открытий науки, то в предмет великих заслуг, для чествования которых едва достаточным оказался целый том».<sup>28</sup>

Приведенная выдержка объясняет причину критического отношения Е. С. Федорова к творчеству его предшественника в области кристаллографии — Н. И. Кокшарова. Гениальный теоретик, автор широчайших обобщений в области структурной кристаллографии, Е. С. Федоров должен был вести упорную борьбу с представителями старой кристаллографической школы, отвергавшей его идеи и ограничивавшейся главным образом одними гониометрическими измерениями. Эта борьба и наложила свой отпечаток на его суждения о Н. И. Кокшарове. Сейчас нам ясно, что без богатого фактического материала, накопленного его предшественниками, сам Е. С. Федоров не смог бы прийти к глубоким теоретическим выводам. Творчество Н. И. Кокшарова было необходимым историческим этапом в истории науки о кристаллах, без которого не смогла бы развиваться позднейшая кристаллография.

В настоящее время, высоко ценя достижения Е. С. Федорова, мы с благодарностью вспоминаем и труды Н. И. Кокшарова, в первую очередь его «Материалы для минералогии России».

Прямым последователем и продолжателем Н. И. Кокшарова явился профессор минералогии и кристаллографии Петербургского горного института Павел Владимирович Еремеев (1830—1899).

Отец П. В. Еремеева, состоявший преподавателем этого института, заслужил известность как составитель словарей иностранных технических терминов по горному делу, геологии, минералогии и кристаллографии.

П. В. Еремеев закончил курс Горного института в 1851 г. С этого же года он начал работать сотрудником в музее института и помощником инспектора классов. В 1857 г. ему представилась возможность стать профессором кристаллографии и минералогии Горного института, в связи с чем он был отправлен в специальную командировку за границу. Там он работал у К. Ф. Наумана, слушал лекции Брейтгаупта о парагенезисе минералов и минеральных псевдоморфозах и проходил курс у знаменитого французского кристаллооптика Деклуазо.

В 1886 г. П. В. Еремеев получил звание профессора минералогии и кристаллографии Горного института и заместил Н. И. Кокшарова. Как педагог П. В. Еремеев пользовался огромной популярностью. Приведем несколько отрывков из воспоминаний его учеников, характеризующих его преподавательскую деятельность: «Среди студентов всех высших заведений Петербурга было известно, что есть профессор, читающий сухой предмет — кристалло-

---

<sup>28</sup> Архив АН СССР, Л., ф. 831, оп. 1, № 22, лл. 1—11.

графию, но читающий столь увлекательно, что лекции его посещаются всеми очень усердно. В то студенческое время гремела слава Менделеева, Вышнеградского, Сеченова, Золотарева, В. Соловьева, но и их слава не затмевала лекторского таланта П. В. [Еремеева]. В описании П. В. каждая кристаллографическая форма, каждый минерал оживали, и благодаря этому познания в области кристаллографии и минералогии усваивались очень легко»;<sup>29</sup> «Ясное изложение, умение показать кристалл, овладеть вниманием аудитории, блестяще остроумия, рассыпанные в занимательной и всегда поучительной речи Еремеева, положительно увлекали нас».<sup>30</sup>

Вот почему между профессором и студентами возникала прочная связь, не прерывающаяся и после окончания последними института. Питомцы П. В. Еремеева не упускали случая прислать ему из самых глухих уголков России новые находки минералов, нередко служивших ему в качестве объектов для исследования. Вместе с тем П. В. Еремеев не оставил после себя выдающихся последователей. Он не пожелал оставить при своей кафедре молодого Е. С. Федорова, блестяще окончившего институт и уже опубликовавшего первые классические исследования по геометрической кристаллографии. Трудюлюбивый исследователь, всю жизнь кропотливо собиравший фактический материал, но избежавший теоретических обобщений, П. В. Еремеев не оценил всей глубины федоровских работ.

В 1896 г. с введением нового устава в Горном институте, согласно которому устанавливался предельный срок для чтения лекций профессорами, П. В. Еремеев должен был оставить институт, уступив кафедру Е. С. Федорову.

Работа П. В. Еремеева в Горном институте сочеталась с его деятельностью в Минералогическом обществе, где с 1870 г. он был секретарем, а с 1892 г. до последних дней жизни — директором. Под его редакцией вышло 22 тома «Записок Минералогического общества» и 14 томов «Материалов для геологии России». В 1875 г. П. В. Еремеев был избран членом-корреспондентом Академии наук, а в 1894 г. — экстраординарным академиком.

С именем П. В. Еремеева связан период в истории русской кристаллографии и минералогии, характеризующийся систематическим изучением кристаллических форм русских минералов и в меньшей степени их микроскопическим исследованием и определением оптических свойств. Список изученных им с этой точки зрения минералов поистине огромен: он охватывает свыше 100 названий. Интересно отметить, что в этом списке почти нет новых

---

<sup>29</sup> Л. Я. Ячевский. Памяти П. В. Еремеева. Зап. Минералог. общ., ч. 37, 1899, Протоколы, стр. 16.

<sup>30</sup> Ф. И. Бруслицын. Воспоминания о П. В. Еремееве. Зап. Минералог. общ., ч. 37, 1899, Протоколы, стр. 24.

минералов. П. В. Еремеева больше всего интересовали те минеральные образования, которые являлись наиболее обычными для русских месторождений. В этом огромное значение его работ в области отечественной минералогии.

Однако современники П. В. Еремеева считали его в первую очередь не минералогом, а кристаллографом. Последнее объяс-



П. В. Еремеев (1830—1899).

няется тем, что он обращал особое внимание на открытие редких комбинаций, не отмеченных ранее форм и неизвестных до него законов срастания. Любопытно отметить разницу между характером исследований Н. И. Кокшарова и П. В. Еремеева. Если первый тщательно выбирал лишь наиболее совершенные кристаллы, стараясь избегать усложнений и несовершенств, то второй не ос-

танавливался перед исследованием первых попавшихся интересных образцов, в связи с чем работы его несколько уступали по точности работам Н. И. Кокшарова. Гониометрические данные нередко дополнялись в его работах микроскопическими исследованиями, отсутствовавшими в работах Н. И. Кокшарова. Иногда обращал он внимание и на особенности внутреннего сложения кристаллов (рис. 26).

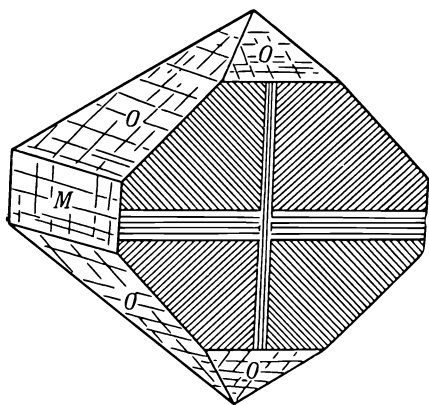


Рис. 26. Внутреннее пластинчатое сложение кристалла циркона, по П. В. Еремееву.

П. В. Еремеев исследовал также кристаллические продукты металлургической промышленности. Особенное значение имеет собранный и описанный им фактический материал по псевдоморфозам русских минеральных месторождений. Внезапная смерть помешала П. В. Еремееву закончить систематическое изложение этой интересной области минералогии и кристаллографии.

Опираясь с фактическим материалом и избегая теоретических обобщений, П. В. Еремеев всю жизнь оставался последователем славившегося в то время К. Ф. Наумана и неизменно пользовался в своих работах номенклатурой и символикой последнего (лишь в позднейших статьях П. В. Еремеева наряду с обозначениями К. Ф. Наумана приводятся в скобках и символы В. Миллера, занявшие впоследствии первенствующее место в кристаллографии). Следует, однако, отметить, что в своих лекциях, касаясь теоретических вопросов кристаллографии, П. В. Еремеев в противоположность Н. И. Кокшарову охотно склонялся к атомистическим воззрениям Р. Ж. Гаюи. Об этом свидетельствует следующий отрывок из «Воспоминаний металлурга» акад. М. А. Павлова: «Хотя кристаллография, т. е. учение о форме, которую имеют кристаллы, казалась весьма сухой наукой, но лекции Еремеева были настолько интересны, что всех студентов положительно захватывали. Единственным недостатком Еремеева было чрезмерное поклонение знаменитому минералогу аббату Гаюи. На каждой лекции Еремеев находил случай сказать: „Гениальный аббат Гаюи показал. . .“».<sup>31</sup>

<sup>31</sup> М. А. Павлов. Воспоминания металлурга. Металлургиздат, М., 1943, стр. 42.

По мнению М. А. Павлова, чрезмерное поклонение П. В. Еремеева Р. Ж. Гаюи помешало ему понять в свое время Е. С. Федорова. «Будучи студентом, Федоров разрабатывал свою теорию кристаллографии и приходил к Еремееву консультироваться, но Еремеев до конца своей жизни, несмотря на ясный ум, словно как загипнотизированный своим «гениальным аббатом», не мог понять новой теории кристаллографии», — читаем мы в «Воспоминаниях» М. А. Павлова.<sup>32</sup>

В заключение отметим, что по сути дела П. В. Еремеев прежде всего являлся минералогом-морфологом, интересовавшимся кристаллографией постольку, поскольку она могла быть приложена к морфологии минералов. Однако его точные кристаллографические измерения, микроскопическое описание кристаллов и их морфологических особенностей сыграли большую роль в развитии русской описательной кристаллографии. Смерть П. В. Еремеева расценивалась его современниками как конец целой эпохи в развитии отечественной науки. «Вместе с Еремеевым похоронили мы и русскую описательную минералогию», — патетически восклицал А. Н. Карножицкий.<sup>33</sup>

Блестящую характеристику творчества П. В. Еремеева дал В. И. Вернадский: «Еремеев не оставил больших работ и не свел работы своей жизни. Просматривая эти работы, помещенные в „Записках“ Минералогического общества и позже в „Известиях“ Академии наук, можно, однако, уловить некоторые общие в них черты, которые частью рисуют его научную личность, частью объясняют, почему наблюдения Еремеева сохранили свое значение и долгие годы спустя после их опубликования. Еремеев вел наблюдения чрезвычайно добросовестно и точно, применяясь к обычным требованиям, давая кристаллографические измерения, микроскопическое описание минералов и морфологию их поверхности. Его наблюдения вполне отвечали требованиям коллективной работы, которая идет уже второе столетие при разработке описательной минералогии. Он являлся типичным исследователем, собиравшим научно-наблюдательный материал, но оставлявший в стороне обобщения и теории. П. В. Еремеев был впереди своего времени лишь тем, что он строго изучал парагенезис минералов и обращал тщательное внимание на псевдоморфозы».<sup>34</sup>

Иначе расценивал деятельность П. В. Еремеева Е. С. Федоров, боровшийся с чисто описательным направлением в науке и требовавший глубокого проникновения в сущность кристаллографи-

---

<sup>32</sup> Там же, стр. 43.

<sup>33</sup> А. Н. Карножицкий. Памяти П. В. Еремеева. Зап. Минералог. общ., ч. 37, 1899, Протоколы, стр. 24.

<sup>34</sup> В. И. Вернадский. Еремеев Павел Владимирович. В кн.: Материалы для биографического словаря действительных членов Академии наук, ч. 1. Изд. Акад. наук, Пгр., 1915, стр. 277.



ческих образований. Вот как характеризовал он П. В. Еремеева в своих воспоминаниях об императорской Академии наук: «В его представлении в области этой специальности (т. е. кристаллографии, — *И. III.*) не было иных занятий, кроме повторения в сотый раз измерения кристаллов минералов, доставленных инженерами из новых месторождений. Так как такое измерение возможно лишь благодаря некоторой зеркальности граней кристаллов, то только этим, по его мнению, и поддерживалась возможность научной работы. По его образному выражению, „если бы не это, то пришлось бы закрыть лавочку“. Если же при этом измерении удавалось найти грани, не наблюдавшиеся другими, то это в его (как и многих других) представлении составляло чуть ли не великое открытие, тогда как на деле это было открытие случайности, т. е. никакого научного значения не имело».<sup>35</sup>

Сейчас мы не можем согласиться с этой оценкой, продиктованной Е. С. Федорову его борьбой с представителями описательной кристаллографической школы. Сведения о новых формах, обнаруженных на кристаллах тех или иных месторождений, представляют существенный интерес с точки зрения современной генетической минералогии. Они нередко дают понятие о различном поведении кристаллической структуры минерала в различных природных условиях, о воздействии на форму кристалла подтоков питающего вещества, об ориентировке кристалла во время роста, концентрации маточного раствора и проч. С этой же точки зрения интересны и колебания угловых величин на кристаллах одного и того же минерала из различных месторождений. Не случайно в 1930 г. известный советский минералог и кристаллограф А. К. Болдырев подчеркнул значение кристаллохимического закона Н. И. Кокшарова, согласно которому в апатите с повышением содержания хлора полярное расстояние грани (10 $\bar{1}$ 1) уменьшается.

Итак, богатое научное наследство, оставленное нам представителями описательной кристаллографо-минералогической школы, не утратило своей ценности и до сих пор. Оно нередко дает фактический материал для современной генетической минералогии и кристаллохимии. А если это так, то никогда не забудется в истории кристаллографии и значение трудов двух основоположников русской описательной кристаллографо-минералогической школы — Н. И. Кокшарова и П. В. Еремеева.

---

<sup>35</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Императорская Академия наук. Архив АН СССР, Л., ф. 831, оп. 1, № 22, лл. 1—11.

## ХІ. А. В. ГАДОЛИН. ИСТОРИЯ ВЫВОДА 32 ВИДОВ СИММЕТРИИ

Имя Акселя Вильгельмовича Гадолина неразрывно связано с выводом 32 кристаллографических видов симметрии. Его знаменитая работа «Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» (1867 г.) пользуется славой классического произведения в области кристаллографии. Не случайно вошло оно в известную серию «Классики точных наук Оствальда».<sup>1</sup> В 1954 г. это сочинение было вновь переиздано Академией наук в серии «Классики науки».<sup>2</sup>

А. В. Гадолин (1828—1892) не был специалистом-кристаллографом. Свое образование он закончил в Михайловском артиллерийском училище. В 1867 г. А. В. Гадолин стал профессором Артиллерийской академии, где вел курс по артиллерийской технологии. Ему принадлежит ряд работ, положивших начало теории слоистых стен орудий, «имеющих первостепенное значение при их проектировании».<sup>3</sup> Им же установлен основной закон теории привода станков.<sup>4</sup> Последние годы своей жизни А. В. Гадолин посвятил метеорологии. Помимо этого, как любитель-минералог, он оставил несколько работ, относящихся к описательной минералогии. Занятия минералогией и натолкнули его на вопросы теоретической кристаллографии. Математическое исследование кристаллов нашло свое выражение в знаменитом «Выводе». Характерно, что разработка вопросов теоретической кристаллографии впоследствии привела А. В. Гадолина к исследованию сил сцепления и других физических явлений, зависящих от этих сил.

---

<sup>1</sup> Axel C a d o l i n. Abhandlung über die Herleitung aller Krystallographischer Systeme mit ihren Unterabteilungen aus einem einzigen Prinzipie. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, № 75, Leipzig, 1897.

<sup>2</sup> А. В. Гадолин. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала. Ред. и примеч. О. М. Аншелеса, И. И. Шафрановского, В. А. Франк-Каменецкого. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М.—Л., 1954.

<sup>3</sup> С. В. Шухардин. А. В. Гадолин. В кн.: Люди русской науки, т. II. М.—Л., 1948, стр. 923.

<sup>4</sup> Н. С. А чер кан. Закон Гадолина — основной закон теории привода станков. Сб. «Исследования в области металлорежущих станков», Машгиз, М., 1952, стр. 3.

Результаты произведенных опытов легли в основу его работ, касающихся сопротивления стен орудий давлению пороховых газов, внутреннего натяжения в орудийных стволах и проч. Таким образом, занятия теоретической кристаллографией дали толчок к решению задач, имевших важное оборонное значение. Научные заслуги А. В. Гадолина были по достоинству оценены Академией наук, избравшей его в 1873 г. членом-корреспондентом, в 1875 г. экстраординарным и в 1890 г. ординарным академиком по кафедре физики.

Для того чтобы правильно оценить роль А. В. Гадолина в области кристаллографии, необходимо вкратце рассмотреть работы его предшественников по выводу видов симметрии.

Установление кристаллографических систем (сингоний) явилось лишь первым шагом в деле классификации кристаллов на основе их симметрии. Уже Х. С. Вейс, как указывалось выше, сознавал необходимость разбивать иногда системы на подразделения. Выделение таких подразделений основывалось на наблюдении, что некоторые кристаллографические формы получаются из других путем закономерного уменьшения числа их граней. Все эти понятия устанавливались без всяких теоретических оснований, чисто опытным путем, как бы на ощупь. В связи с этим учеными признавалось различное число подразделений кристаллографических систем и даже различное число самих этих систем. (вспомним упоминавшуюся выше «диклиноэдрическую» систему).

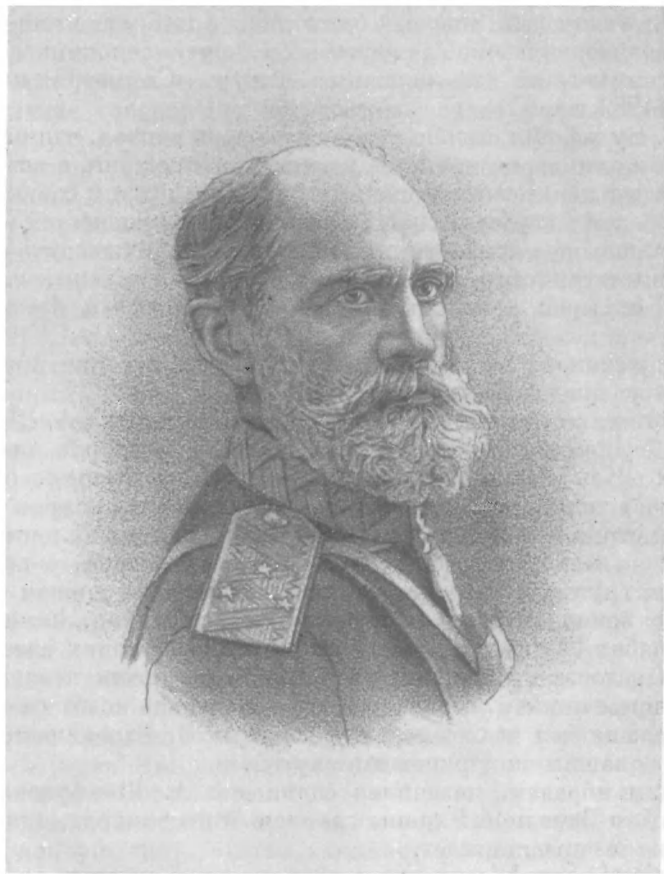
Долгое время выводы К. Ф. Наумана и его последователей официально считались единственно правильными в кристаллографии. Вот как характеризует этот период в нашей науке Е. С. Федоров: «За Вейсом воцарился Науман, ставший как бы законодателем в области кристаллографии для всех стран и для всех школ. И, странно сказать, та, в высшей степени несовершенная кристаллография, которая распространилась по всему миру авторитетом Наумана, признавалась везде как нечто непогрешимое и вечное. О бесплодности же ее мы можем судить по тому факту, что все, что было выработано теоретического и пользовалось более или менее общим признанием за это время (почти три четверти века), оказалось ошибочным и после столь неоспоримого господства как-то сразу рухнуло, почти без всяких следов».<sup>5</sup>

Параллельно с официальной линией К. Ф. Наумана в кристаллографии развивались побочные, как бы подпольные течения, давшие в конце концов основу для современной теоретической науки о кристаллах. С этими направлениями в первую очередь связаны разработка теории строения кристаллов и развитие учения о симметрии. Последнее привело к выводу совокупностей элементов симметрии для конечных фигур вообще и 32 кристаллографических видов симметрии в частности.

---

<sup>5</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904, стр. 10—11.

Необходимо отметить выдающуюся роль русских ученых в развитии этого важнейшего отдела кристаллографии. А. В. Гадолину принадлежит вывод 32 видов симметрии, получивший всемирное распространение и признание. Вывод И. Гесселя, относящийся



А. В. Гадолин (1828—1892).

к первой половине прошлого столетия, в свое время остался совершенно незамеченным и не оказал влияния на развитие мировой кристаллографии. Оригинальный вывод совокупностей элементов симметрии для всех без исключения конечных фигур был дан Е. С. Федоровым, не имевшим в то время понятия о забытом труде И. Гесселя («Начала учения о фигурах», 1885 г.). В этом вопросе Е. С. Федоров опередил знаменитого П. Кюри. Только из-за

задержки с печатанием федоровских «Начал» работа П. Кюри вышла на год раньше (1884 г.). Е. С. Федоров в своих статьях и особенно в письмах к А. Шенфлису неоднократно указывал на это обстоятельство, отстаивая свой приоритет. Впоследствии, узнав о существовании работы И. Гесселя, он написал специальную статью, где воздал должное забытому ученому.

Е. С. Федоровым впервые были даны алгебраические уравнения, характеризующие каждую отдельную совокупность элементов симметрии для конечных фигур («Симметрия конечных фигур», 1889 г.).

Г. В. Вульф при выводе видов симметрии считал, что основным элементом симметрии является плоскость симметрии, а все остальные элементы симметрии конечных фигур сводятся к совокупности двух или трех пересекающихся зеркальных плоскостей. Это положение дало возможность просто и однородно выводить все элементы симметрии для конечных фигур. Впоследствии, в 1907 г., А. К. Болдырев распространил его и на случай бесконечных фигур.

Из сказанного видно, как много внесли русские кристаллографы в учение о 32 видах симметрии.

В 1891 г. в статье о книге немецкого математика А. Шенфлиса «*Krystallsysteme und Krystallstruktur*» Е. С. Федоров писал следующее: «Как показывает заглавие этого сочинения, оно рассматривает только два вопроса кристаллографии: вопрос о системах симметрии и их подразделениях и вопрос о правильных системах фигур, или, употребляя термин самого автора, о пространственных группах, или, выражаясь еще иначе и притом общепонятно, о возможных видах структуры кристаллов. Если не касаться работ Гесселя, до такой степени опередивших свое время, что они оставались непонятными и потому почти неизвестными даже современникам, то первый вопрос прежде всего самым точным образом был исследован в России А. В. Гадолиным, второй вопрос — вашим покорнейшим слугой.

«Таким образом, названное сочинение А. Шенфлиса, знаменующее для Западной Европы громадный шаг вперед, для России такового не представляет.

«Вообще в этой отрасли науки русская ученая литература значительно опередила литературу всех других стран».<sup>6</sup>

Как уже отмечалось выше, первый вывод совокупностей элементов симметрии для всех конечных фигур принадлежит марбургскому профессору И. Ф. Х. Гесселю (1796—1872).

Статья И. Гесселя «Кристалл» была напечатана в 1820 г. в немецком «Физическом словаре». В ней впервые рассматривался воп-

---

<sup>6</sup> Е. С. Федоров. По поводу появившегося сочинения Шенфлиса по теоретической кристаллографии. Зап. Минералог. общ., ч. 28, 1891, стр. 515.

рос о числе и порядке расположения равных частей в симметричных телах. Иначе говоря, работа И. Гесселя содержала вывод законов симметрии, относящихся ко всем конечным фигурам, в частности и к кристаллам. Упомянутые законы соответствуют совокупностям элементов симметрии, известным в математике под названием «точечных групп». Часть таких групп, возможных в кристаллических многогранниках, отвечает 32 видам симметрии.

Своеобразная немецкая номенклатура И. Гесселя, тяжеловесность изложения, громоздкость избранного им метода сделали его сочинение совершенно неизвестным среди ученых того времени. Этому содействовала, по словам Е. С. Федорова, также «поразительная неподготовленность большинства минералогов к восприятию идей, имеющих математическую подкладку».<sup>7</sup>

Профессор минералогии и пробирного искусства в Марбургском университете, «тихий, скромный, несколько старомодный в жизни, но далеко опередивший свое время в научном творчестве», И. Гессель пережил и триумф О. Браве и успехи А. В. Гадолина.<sup>8</sup>

В 1868 г. он еще раз изложил свои взгляды в специальной работе, иллюстрируя их изображениями. Однако и этот труд остался незамеченным. Лишь в 1890 г., через восемнадцать лет после смерти ученого и через шестьдесят лет после появления его первой статьи, Л. Зонке заново открыл забытые работы И. Гесселя. «В это время, — по замечанию Е. С. Федорова, — кости Гесселя давно успели рассыпаться и истлеть в могиле».<sup>9</sup>

Переходя к краткому изложению теории И. Гесселя, следует прежде всего подчеркнуть ее общегеометрическое значение. Вывод его отнюдь не ограничивается одними кристаллическими многогранниками. Последние рассматриваются им лишь как частный случай геометрических фигур. Говоря о расположении и форме граней многогранников, И. Гессель в первую очередь останавливается на понятиях совместимо-равных и зеркально-равных фигур. Этим понятиям он дает особые немецкие термины (*ebenbildlichgleich*, *gegenbildlichgleich*) и характеризует их специальными математическими символами:  $\infty$ ,  $|\infty|$ . В том случае, если фигуры одновременно совместимо- и зеркально-равны, дается символ  $|\infty|$ .

Центральную часть статьи занимает решение основного вопроса о числе и порядке расположения равных частей (граней), могущих образовать пространственную фигуру (многогранник). При этом учитывается, что зеркально-равные части не должны обязательно занимать отраженно-равные положения относительно друг друга.

---

<sup>7</sup> Е. С. Федоров. О сочинениях немецкого минералога Гесселя. Зап. Минералог. общ., ч. 27, 1891, стр. 462.

<sup>8</sup> И. И. Шафрановский. Е. С. Федоров. Великий русский ученый. М., 1945, стр. 63.

<sup>9</sup> Е. С. Федоров. Из итогов тридцатипятилетия, стр. 12.

Основную роль в данном случае играет понятие оси (*Axe*). Приведем определение самого И. Гесселя: «Тело, имеющее  $p$  равноценных положений относительно нормали, проведенной через центр тела к его горизонтальному сечению, называется  $p$ -членным, а сама эта нормаль  $p$ -членной осью».<sup>10</sup> Под равноценными положениями здесь разумеются не отличимые друг от друга положения, в которые данное тело может приводиться поворотами и поворотами, связанными с отражениями вокруг  $p$ -членной оси. Под горизонтальным сечением И. Гессель понимает особенное, не имеющее себе равных, сечение  $p$ -членного тела.

Отметим, что такое определение шире принятого в настоящее время понятия «ось симметрии», так как к нему подходят не только простые, но и зеркально-поворотные или инверсионные оси симметрии, а, как известно, и те и другие полностью исчерпывают возможные элементы симметрии для конечных фигур. Плоскость симметрии есть зеркально-поворотная ось первого порядка, центр инверсии — зеркально-поворотная ось второго порядка. Универсальное определение И. Гесселя ставит его работу выше мемуаров О. Браве, не дающего единого определения для всех элементов симметрии, а лишь перечисляющего их.

Вместе с тем определение И. Гесселя поражает нас своей тягеловесностью. По своей старинной громоздкости  $p$ -членная ось И. Гесселя несколько напоминает искусственные образы, созданные учеными начала прошлого столетия, стремившимися внести единство в других областях науки. Таков, например, известный «архетип» зоолога Р. Оуэна (1804—1892) — вымышленное ископаемое животное, из скелета которого якобы можно было вывести скелеты всех без исключения позвоночных. Сюда же относятся «универсальное растение», сконструированное В. Гете, — своего рода «архетип растений». Все эти попытки родственны между собой, все они связаны с мучительными поисками «единого плана» в природе. Однако вымышленные универсальные животные и растения давно сданы в архив, тогда как геометрическое построение И. Гесселя может быть использовано и сейчас.

Оси, как отрезки прямых, проходящих через центральную точку, рассматриваются И. Гесселем в отношении их обоих концов. С этой точки зрения они разбиваются на две группы: 1) равноконечные (два одинаковых конца) и 2) неравноконечные (два разных конца).

Помимо этого, случаи совпадения или несовпадения осей с плоскостями симметрии (по современной терминологии), а также наличие или отсутствие плоскостей симметрии, перпендикулярных осям, влекут за собой особые названия осей.

Рассмотрим каждый из этих случаев отдельно:

<sup>10</sup> J. F. C. H e s s e l. Krystallometrie oder Krystallonomie und Krystallographie, Bd. I. Ostwald's Klassiker der exakten Wissenschaften, № 88, Leipzig, 1897, стр. 36.

1)  $p$ -членная ось, не лежащая в плоскости симметрии, называется простой  $p$ -членной осью;

2)  $p$ -членная ось, лежащая в плоскости симметрии, называется удвоенной  $p$ -членной осью;

3) ось, имеющая перпендикулярную к ней плоскость симметрии, называется равноконечной осью с прямо поставленными концами;

4)  $p$ -членная ось называется осью с повернутыми вокруг себя концами, если возле одного ее конца расположение граней выводится из расположения граней вокруг другого ее конца путем разделения тела плоскостью, проходящей через центр перпендикулярно к оси, и поворота вокруг оси одной

из полученных половин на угол  $\frac{1}{2} \cdot \frac{2\pi}{p}$ .

В результате тип оси, согласно Гесселю, может отвечать лишь одному из следующих случаев.

Неравноконечная ось	{	1) простая $p$ -членная.	{	3) простая.
		2) удвоенная $p$ -членная.		4) удвоенная.
Равноконечная ось	{	с прямо поставленными концами	{	5) простая.
		с повернутыми вокруг себя концами		6) удвоенная.
		совместимо-равная с двух концов		7) простая.

Восьмой возможный случай, отвечающий равноконечной, совместимо-равной с двух концов, удвоенной  $p$ -членной оси, совпадает с четвертым случаем.

Легко сообразить, как относятся семь характерных разновидностей осей И. Гесселя к порождающим элементам симметрии, на которых базируется современный вывод видов симметрии. Пользуясь номенклатурой Федоровского института, легко согласовать типы осей И. Гесселя с видами симметрии. Так, первый случай И. Гесселя отвечает примитивным видам симметрии, второй — планальным, третий — центральным в случае четного  $p$  и гироидо-примитивным в случае нечетного  $p$ , четвертый — планаксиальным, пятый — гироидо-примитивным, шестой — гироидо-планальным, седьмой — гироидо-аксиальным видам симметрии.

Ясно, что одна и та же геометрическая фигура может обладать различными осями. Пусть осью высшего порядка (главной осью) будет ось порядка  $p$ . При этом возможны два случая: либо  $p$ -членная ось является единственной главной (все остальные оси отвечают меньшим порядкам), либо присутствует несколько одинаковых  $p$ -членных осей.

С этой точки зрения геометрические фигуры подразделяются на две категории: 1) главноосные фигуры, обладающие одной главной осью, 2) фигуры с отсутствующей главной осью.

Для геометрических фигур первой категории  $p$  может иметь любые целые значения. Исходя из основного закона кристалло-



графии — закона рациональности параметров, которому И. Гессель придает своеобразную трактовку «закона параллелограмма лучей» (Gerengesetz), выводится возможность наличия в кристаллах относительно их ограничения лишь осей 1-го, 2-го, 3-го, 4-го и 6-го порядков. Отсюда получаем ряд случаев, отвечающих главноосным фигурам в кристаллографии.

С первого взгляда может показаться, что сумма таких случаев отвечает 35, так как пять родов осей, возможных в кристаллах, следует помножить на семь соответственно числу возможных осей, выведенных И. Гесселем. Однако легко убедиться в том, что некоторые из полученных таким образом случаев совпадают друг с другом или же являются невозможными в кристаллографии. В качестве примера рассмотрим семь случаев, соответствующих одночленной оси ( $p=1$ ):

1. Неравноконечная простая одночленная ось. Этот случай характеризуется отсутствием элементов симметрии (триклинная сингония, примитивный вид симметрии).

2. Неравноконечная удвоенная одночленная ось. Здесь появляется единственная плоскость симметрии, идущая вдоль оси (моноклинная сингония, планальный вид симметрии).

3. Равноконечная, с прямо поставленными концами, простая одночленная ось. В этом случае появляется единственная плоскость симметрии, перпендикулярная оси. Вследствие того что ось первого порядка равнозначна отсутствию оси, получается результат, идентичный с предыдущим.

4. Равноконечная, с прямо поставленными концами, удвоенная одночленная ось. Здесь имеем две взаимно-перпендикулярные плоскости симметрии: одна из них идет вдоль оси, другая — перпендикулярно ей. На пересечении обеих плоскостей появляется двойная ось. В связи с этим данный случай следует отнести к ряду, соответствующему двучленным осям, к случаю неравноконечной удвоенной двучленной оси (ромбическая сингония, планальный вид симметрии).

5. Равноконечная, с повернутыми вокруг себя осями, простая одночленная ось. Обе части фигуры соответствуют двум ее половинам, разделенным горизонтальной плоскостью и повернутым вокруг вертикальной оси на угол  $\frac{2\pi}{2p} = 180^\circ$ . Этот случай отвечает присутствию центра инверсии, соответствующего двойной зеркально-поворотной оси или инверсионной оси первого порядка (триклинная сингония, центральный вид симметрии).

6. Равноконечная, с повернутыми вокруг себя концами, удвоенная одночленная ось. Наличие плоскости симметрии и одновременно центра инверсии влечет за собой появление двойной оси, перпендикулярной к плоскости симметрии. Тем самым данный случай переводится в ряд двучленной оси, отвечая равноконечной, с повернутыми вокруг себя концами, простой двучленной оси (моноклинная сингония, планаксиальный вид симметрии).

7. Равноконечная, совместимо-равная с двух концов, простая одночленная ось. Совместимость обоих концов влечет за собой появление двойной оси, перпендикулярной к исходной одночленной оси. Таким образом, этот случай равнозначен наличию единственной двойной оси и отвечает по классификации И. Гесселя случаю неравноконечной простой двучленной оси (моноклинная сингония, аксиальный вид симметрии).

Итак, из семи разобранных случаев четыре отпадают. В результате находим всего три случая, относящихся к ряду  $p=1$ .

При  $p=2$  и  $p=3$  имеют место все семь случаев (следует иметь в виду, что при  $p=2$  5-й и 6-й случаи отвечают наличию четверной инверсионной или зеркально-поворотной оси).

В обоих рядах, соответствующих  $p=4$  и  $p=6$ , выпадают случаи 5-й и 6-й (равноконечные, с повернутыми вокруг себя концами оси). При  $p=4$  эти случаи отвечают восьмерной, а при  $p=6$  — двенадцатикратной инверсионной или зеркально-поворотной осям. Невозможность присутствия подобных осей в кристаллических телах заставляет вычеркнуть все эти четыре случая. Следовательно, из 35 случаев с главноосными фигурами необходимо вычеркнуть всего восемь. В результате остается 27 случаев. Заканчивая обзор случаев с одной главной осью, приведем в качестве примера полный список семи случаев для  $p=4$  по номенклатуре И. Гесселя параллельно с названиями, принятыми Федоровским институтом:

#### Номенклатура И. Гесселя

#### Номенклатура, при- нятая Федоровским институтом

- |  |  |
|--|--|
| 1. Неравноконечная простая четырехчленная ось.   | Тетрагональная сингония, примитивный вид симметрии ( $L_4$ ).  |
| 2. Неравноконечная удвоенная четырехчленная ось.   | Тетрагональная сингония, планальный вид симметрии ( $L_44P$ ).                                       |
| 3. Равноконечная, с прямо поставленными концами, простая четырехчленная ось.   | Тетрагональная сингония, центральный вид симметрии ( $L_4PC$ ).                                      |
| 4. Равноконечная, с прямо поставленными концами, удвоенная четырехчленная ось.   | Тетрагональная сингония, планаксимальный вид симметрии ( $L_44L_25PC$ ).                             |
| 5. Равноконечная, с повернутыми вокруг себя концами, простая четырехчленная ось (нижняя часть фигуры повернута относительно верхней вокруг оси на угол $\frac{2\pi}{2 \times 4} = 45^\circ$ ). | Октогональная сингония, примитивный вид симметрии. Случай, невозможный в кристаллографии ( $L_8$ ).  |
| 6. Равноконечная, с повернутыми вокруг себя концами, удвоенная четырехчленная ось.   | Октогональная сингония, планальный вид симметрии. Случай, невозможный в кристаллографии ( $L_88P$ ). |
| 7. Равноконечная, совместимо-равная с двух концов, простая четырехчленная ось.   | Тетрагональная сингония, аксиальный вид симметрии ( $L_44L_2$ ).                                     |

Итак, за исключением случаев 5-го и 6-го, невозможных в кристаллографии, здесь выводится пять видов симметрии, относящихся к тетрагональной сингонии. Напомним, что тетрагиристо-примитивный ( $Li_4$ ) и тетрагиристо-планальный ( $Li_42L_22P$ ) виды симметрии, принадлежащие к той же сингонии, выводятся при  $p=2$  (случаи 5-й и 6-й).

Фигуры, не содержащие главной оси, обладают несколькими равными  $p$ -членными осями. Не касаясь вывода, ознакомимся

лишь с его результатами. Прежде всего доказывается, что в таких фигурах могут присутствовать  $p$ -членные оси 3-го, 4-го и 5-го порядков. Последние, согласно кристаллографическому закону рациональности параметров, исключаются.

При  $p=4$  различаются два случая:

1. Три взаимно-перпендикулярные, равноконечные, с прямо поставленными концами, четырехчленные оси, сопровождаемые четырьмя равноконечными, с повернутыми вокруг их концами, удвоенными трехчленными осями, расположенными вдоль телесных диагоналей куба (кубическая сингония, планаксиальный вид симметрии,  $3L_44L_36L_29PC$ ).

2. Три взаимно-перпендикулярные, равноконечные, совместимо-равные, простые четырехчленные оси, сопровождаемые простыми трехчленными осями, расположенными вдоль телесных диагоналей куба (кубическая сингония, аксиальный вид симметрии,  $3L_44L_36L_2$ ).

При  $p=3$  имеем три случая:

1. Четыре неравноконечные удвоенные трехчленные оси, сопровождаемые тремя взаимно-перпендикулярными, равноконечными, с повернутыми концами, удвоенными двучленными осями (кубическая сингония, планальный вид симметрии,  $4L_33L_26P$ ).

2. Четыре неравноконечные простые трехчленные оси, сопровождаемые тремя взаимно-перпендикулярными, совместимо-равноконечными, простыми двучленными осями (кубическая сингония, примитивный вид симметрии,  $3L_24L_3$ ).

3. Четыре равноконечные, с повернутыми концами, простые трехчленные оси, сопровождаемые тремя взаимно-перпендикулярными, равноконечными, с прямо поставленными концами, удвоенными двучленными осями (кубическая сингония, центральный вид симметрии,  $3L_24L_33PC$ ).

В результате имеем всего пять случаев для кристаллографических фигур, не обладающих главными осями. Складывая их с 27 случаями с главными осями, получаем всего 32 случая, возможных в кристаллографии.

Следует оговорить, что в работе И. Гесселя это число не подчеркивается. В таблице, обобщающей все случаи, приводится всего 36 подразделений. Однако для четырех из них делаются оговорки, согласно которым данное подразделение является идентичным с другим, помещенным в таблице. Сюда относятся все четыре случая, отмеченные нами выше для  $p=1$ .

Рассмотрим лишь один вопрос, затронутый в работе И. Гесселя. Вся его статья занимает более 300 страниц и представляет обширный обзор современной автору кристаллографии.

Через 19 лет после И. Гесселя, в 1849 г., морской офицер, впоследствии профессор астрономии и физики Парижской политехнической школы, О. Браве (1811—1863) дал новый вывод законов симметрии для конечных геометрических фигур в мемуаре «О многогранниках симметричной формы». Стройность и вместе с тем простота изложения привлекли широкое внимание кристаллографов и минералогов к этому труду. Достаточно сказать, что основные определения работы О. Браве с небольшими изменениями нередко повторяются до сих пор. В качестве иллюстрации приведем определение центра симметрии (инверсии): «Центром симмет-

рии многогранника называется такая точка  $C$ , соединив которую с некоторой вершиной многогранника  $S$  и продолжив  $CS$  на равное расстояние, получим точку  $S'$ , также являющуюся вершиной многогранника. Точка  $S'$  является гомологичной к  $S$  по отношению к центру  $C$ .<sup>11</sup>

Столь же привычно для нас звучат определения оси и плоскости симметрии.

Коренным недостатком работы О. Браве является не достаточно исчерпывающее определение симметричной фигуры: «Симметричным многогранником называется такой многогранник, который обладает либо центром симметрии, либо одной или несколькими осями симметрии, либо одной или несколькими плоскостями симметрии. Многогранник без центра, осей и плоскостей симметрии является асимметричным».<sup>12</sup>

Как видим, набор элементов симметрии, перечисленных О. Браве, является неполным. В нем отсутствуют зеркально-поворотные или инверсионные оси. Последнее не могло не отразиться на результатах вывода, в котором отсутствуют гироидо-примитивные виды симметрии с одной четной зеркально-поворотной или инверсионной осью. Следует отметить, что в своем первом мемуаре О. Браве совершенно не коснулся кристаллографических фигур. Сделанные им выводы, так же как и у И. Гесселя, относятся ко всем без исключения геометрическим многогранникам. Принцип вывода совокупностей элементов симметрии близок к приемам, применяющимся в настоящее время в учебной литературе.

О. Браве подразделяет все многогранники на четыре класса:

1. Асимметричные многогранники.
2. Симметричные многогранники без осей.
3. Симметричные многогранники с главной осью:
  - а) с главной осью четного порядка;
  - б) с главной осью нечетного порядка.
4. Сфероздрические симметричные многогранники, обладающие осями, из которых ни одна не является главной:
  - а) четырехжды-тройные многогранники с четырьмя тройными осями;
  - б) десятикратно-тройные многогранники с десятью тройными осями.

Далее приводится ряд теорем, относящихся к сложению элементов симметрии. Большинство из них хорошо известно нам по курсам элементарной геометрической кристаллографии.

Вот некоторые из них:

«1. В многограннике с центром и плоскостью симметрии нормаль к этой плоскости, проведенная через центр, является осью симметрии четного порядка».

---

<sup>11</sup> A. B r a v a i s. Études cristallographiques. Mémoire sur les polyèdres de forme symétrique. Paris, 1866, стр. XXI.

<sup>12</sup> Там же, стр. XXIII.

«2. При наличии двух плоскостей симметрии в многограннике линия их пересечения является осью симметрии».<sup>13</sup>

На основании этих теорем выясняется, что симметричные многогранники без осей могут иметь лишь центр или одну плоскость симметрии, т. е., по обозначению О. Браве:

1.  $0L, C, 0P$ .

2.  $0L, 0C, P$ .

Попутно отметим, что и обозначения О. Браве, принятые им для элементов симметрии ( $L$  — ось,  $C$  — центр симметрии,  $P$  — плоскость симметрии), прочно вошли в литературу и до последнего времени являются наиболее употребительными.

Хорошо знакомые нам теоремы даются и при выводе симметричных многогранников с главной осью (например, число двойных осей, перпендикулярных главной оси  $\lambda^q$ , равно 0 или  $q$ ; число плоскостей симметрии, проходящих вдоль главной оси  $\lambda^q$ , равно 0 или  $q$ ).

Учитывая следствия теорем, легко вывести различные законы симметрии для многогранников. С этой целью О. Браве к исходной главной оси по отдельности добавляет центр симметрии, перпендикулярные к главной оси двойные оси, плоскости симметрии, идущие вдоль этой же оси. Наконец, одновременно добавляются и плоскости, идущие вдоль главной оси и перпендикулярные ей, и перпендикулярные к главной оси двойные оси. В последнем случае возможны два варианта: либо двойные оси совпадают с вертикальными плоскостями симметрии, либо они проходят вдоль диагоналей между этими плоскостями.

Таким образом, для многогранников с главной осью четного наименования ( $\lambda^{2q}$ ) получаем следующие совокупности элементов симметрии ( $\Pi$  — плоскость симметрии, перпендикулярная главной оси  $\lambda^{2q}$ ):

3.  $\Lambda^{2q}, 0L^2, 0C, 0P$ .

4.  $\Lambda^{2q}, 0L^2, C, \Pi$ .

5.  $\Lambda^{2q}, qL^2, qL_1^2, 0C, 0P$ .

6.  $\Lambda^{2q}, 0L^2, 0C, qP, qP_1$ .

7.  $\Lambda^{2q}, qL^2, qL_1^2, C, \Pi, qP, qP_1$ .

8.  $\Lambda^{2q}, 2qL^2, 0C, 2qP$ .

Соответственные законы симметрии для многогранников с главной осью нечетного наименования ( $\lambda^{2q+1}$ ) отвечают следующим совокупностям:

9.  $\Lambda^{2q+1}, 0L^2, 0C, 0P$ .

10.  $\Lambda^{2q+1}, 0L^2, C, 0P$ .

11.  $\Lambda^{2q+1}, 0L^2, 0C, \Pi$ .

---

<sup>13</sup> Там же, стр. XXVI.

12.  $\Lambda^{2q+1}, (2q+1)L^2, 0C, 0P.$
13.  $\Lambda^{2q+1}, 0L^2, 0C, (2q+1)P.$
14.  $\Lambda^{2q+1}, (2q+1)L^2, C, (2q+1)P.$
15.  $\Lambda^{2q+1}, (2q+1)L^2, 0C, П, (2q+1)P.$

Ряд теорем, относящихся к сфероздрическим многогранникам, который мы здесь опускаем, позволяет вывести следующие пять классов для четырехжды-тройных многогранников:

16.  $4L^3, 3L^2, 0C, 0P.$
17.  $4L^3, 3L^2, C, 3P.$
18.  $4L^3, 3L^2, 0C, 6P.$
19.  $3L^4, 4L^3, 6L^2, 0C, 0P.$
20.  $3L^4, 4L^3, 6L^2, C, 3P, 6P_1.$

Десятью-тройные сфероздрические многогранники (невозможные для кристаллов) отвечают следующим классам:

21.  $6L^5, 10L^3, 15L^2, 0C, 0P.$
22.  $6L^5, 10L^3, 15L^2, C, 15P.$

Итак, полное число всех выведенных классов симметрии равно 22. Сюда же следует добавить случай (23-й) многогранника, лишённого каких-либо элементов симметрии ( $0L, 0C, 0P$ ).

Всего, согласно О. Браве, получается 23 класса симметрии. Необходимо иметь в виду, что в один такой класс может входить множество видов симметрии с различными значениями  $q$ .

Вследствие отсутствия среди принятых во внимание элементов симметрии инверсионных или зеркально-поворотных осей в перечне классов нет видов симметрии с одной четной инверсионной осью типа  $L_i^{4q}$ .  $L_i^{2(2q+1)}$  присутствует в виде простых осей вдвое меньшего наименования и перпендикулярной им плоскости  $\lambda^{2q+1}П$ . Нечетные инверсионные оси также присутствуют в качестве простых осей того же наименования с присоединением центра симметрии:  $\lambda^{2q+1}C$ .

Еще раз напомним, что разобранный нами первый мемуар О. Браве касается лишь геометрических многогранников. О симметрии кристаллов в нем не сказано ни слова. Интересующие нас сведения по этому вопросу затрагиваются во втором мемуаре О. Браве, «О системах, образованных точками, правильно распределенными на плоскости и в пространстве». Эта работа, как известно, легла в основу последующих представлений о кристаллическом строении. В ней прежде всего дается понятие «пространственной решетки» как «системы точек, правильно распределенных в пространстве».

Напомним, что такие точки располагаются по вершинам равных, параллельно ориентированных и смежных по целым граням параллелепипедов, нацело заполняющих пространство.

В этой работе О. Браве приводится следующая теорема: «Решетка может обладать лишь двойными, тройными, четверными или

шестерными осями симметрии».<sup>14</sup> Доказательство ведется по способу, применяемому и сейчас в курсах элементарной кристаллографии.

В дальнейшем, классифицируя четырнадцать различных типов пространственных решеток, О. Браве подробно останавливается на симметрии их параллелепипедов. В результате выводятся семь следующих систем:

Решетки	Символ симметрии
1. Трижды-четверные . . . . .	$3L^4, 4L^3, 6L^2, C, 3P, 6P_1.$
2. Шестерные . . . . .	$\Lambda^6, 3L^2, 3L_1^2, C, П, 3P, 3P_1.$
3. Четверные . . . . .	$\Lambda^4, 2L^2, 2L_1^2, C, П, 2P, 2P_1.$
4. Тройные . . . . .	$\Lambda^3, 3L^2, C, 3P.$
5. Трижды-двойные . . . . .	$\Lambda^2, L^2, L_1^2, C, П, P, P_1.$
6. Двойные . . . . .	$\Lambda^2, C, P.$
7. Асимметричные . . . . .	$OL, C, OP.$

Следует оговорить, что и в этом мемуаре, оказавшем столь значительное влияние на развитие кристаллографии, понятие о решетке трактуется лишь как чисто геометрическое.

Непосредственно к кристаллам О. Браве обращается в двух специальных кристаллографических этюдах, относящихся к 1849 г. В одном из них поднимается интересующий нас вопрос о симметрии молекул, слагающих кристаллическое тело (в предыдущих работах рассматривалось лишь пространственное расположение центров тяжестей молекул). При этом выдвигается гипотеза, согласно которой молекулы имеют форму многогранников. Предполагается, что из числа семи кристаллических систем молекулы определенного вещества при кристаллизации избирают ту, в которой наибольшее количество элементов симметрии совпадает с элементами симметрии самих молекул.

Симметрия молекулярных многогранников может соответствовать любому из классов симметрии, выведенных О. Браве в его статье о симметричных многогранниках, т. е. любой точечной группе. Вместе с тем в решетке могут присутствовать лишь двойные, тройные, четверные и шестерные оси. Следовательно, другие оси, принадлежащие молекулам, могут рассматриваться как асимметричные линии, не влияющие на общую симметрию кристаллов. В связи с этим на первое место выдвигается общая симметрия молекулярного многогранника и кристаллической решетки, в которую он входит. При этом вводится понятие о многограннике, эквивалентном молекулярному многограннику, лишенному всех элементов симметрии, не принадлежащих решетке, в котором он кристаллизуется.

<sup>14</sup> A. B r a v a i s. Études cristallographiques. Mémoire sur les systèmes formés par des points. Paris, 1866, crp. 59.

В конце статьи дается таблица, в которой приводятся совокупности элементов симметрии для эквивалентных многогранников, отвечающие известным нам кристаллографическим видам симметрии. Однако их у О. Браве не 32, а 31 вследствие отсутствия вида симметрии с единственной инверсионной или зеркально-поворотной осью четверного порядка. Характерно, что в следующей таблице, дающей число граней кристаллических форм в разных системах, этот вид симметрии учтен. Кристаллические формы в ней подразделены на классы по симметрии молекулярного (эквивалентного) многогранника. Среди символов симметрии в четверной (тетрагональной) системе находим следующий:  $\Lambda^2$ ,  $OC$ ,  $OP$ . В относящейся к таблице сноске читаем: «Этот многогранник может кристаллизоваться в четверной системе лишь при соблюдении определенных условий».<sup>15</sup>

В дальнейшем тексте упомянутые условия охарактеризованы следующим образом: «Возможно, что в природе встретится молекулярный многогранник, равнозначные вершины которого распределяются по четыре вокруг двойной центральной оси».<sup>16</sup>

Итак, заканчивая свои кристаллографические этюды, О. Браве отдавал себе отчет о сделанном им первоначально упущении. Однако он не дал отдельного списка кристаллографических видов симметрии. Некоторые из них, в связи со своеобразным способом их вывода, повторяются по нескольку раз. Сама цифра 32 нигде не подчеркивается.

Последний мемуар О. Браве имел гораздо меньший успех и распространение, чем его первые статьи. Гипотетичность молекулярных многогранников, не совсем ясное определение выводящихся совокупностей элементов симметрии, общих и для молекулярного многогранника и для решетки, — все это не могло не сказаться на малой популярности этого произведения. В дальнейшем авторами лишь подчеркивалась неполнота определения симметричной фигуры в мемуаре О. Браве о симметричных многогранниках. По этому поводу Е. С. Федоров писал: «Современник Гесселя, Браве настолько не имел представления о его труде, что сделал заведомый шаг назад, так как не мог даже сделать ясного вывода видов симметрии кристаллов. В труде Браве не дано ответа на самый первый вопрос учения о симметрии: что такое элемент симметрии».<sup>17</sup>

Мы достаточно подробно остановились на работах И. Гесселя и О. Браве с тем, чтобы читатель получил ясное понятие о предшественниках А. В. Гадолина. Лишь учтя достоинства и недостатки их работ, можно оценить вклад, внесенный в кристаллографию нашим ученым.

---

<sup>15</sup> Там же, стр. 208.

<sup>16</sup> Там же, стр. 229.

<sup>17</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Из итогов тридцатипятилетия, стр. 11.



«Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» А. В. Гадолина увидел свет в 1867 г. на страницах «Записок Петербургского минералогического общества».

В «Выводе», сделанном совершенно независимо от предшествовавших авторов, А. В. Гадолин в отличие от них касается не любых геометрических конечных фигур, а лишь многогранников, возможных в кристаллографии. Сузив геометрическую задачу, А. В. Гадолин тем самым сделал свой труд более доступным для кристаллографов и минералогов, что и привело впоследствии к всеобщему принятию его вывода.

Вот как описывает сам автор цель своего сочинения: «Очевидные аналогии, существующие не только между голоэдрическими и тетартоэдрическими формами данной системы, но и между различными системами, возбудили в нас мысль отыскать одно общее начало, из которого можно было бы не только вывести, как следствие, все уже образовавшиеся в кристаллографии группы, но и предсказать все группы, которые еще, может быть, придется образовать по мере новых открытий науки».<sup>18</sup>

Далее А. В. Гадолин останавливается на мысли о том, что кристаллическая форма является в сущности таким же физическим свойством кристалла, как и все прочие его так называемые физические свойства. Это вытекает из того, что форма кристаллов зависит «от проявления частичных сил».

Связь между внешней формой кристаллов и их физическими свойствами заключается в том, что «если два направления одинаково расположены относительно граней наружной формы, то по этим двум направлениям и физические свойства одинаковы. Вследствие этого особенную важность принимает рассматривание направлений, одинаково расположенных относительно кристаллических граней».<sup>19</sup>

Такие направления А. В. Гадолин называет равными и кладет их в основу всего вывода: «Наша классификация кристаллов на этом основана, так что мы относим в одну и ту же группу все те кристаллы, в которых число и расположение равных направлений одинаковы. Мы докажем, что при допущении закона рационального отношения между параметрами таких групп возможно составить только ограниченное число».<sup>20</sup>

В результате такого подхода, базирующегося на законе рациональности отношений параметров, А. В. Гадолин пришел к выводу 32 видов симметрии для кристаллических многогранников. Следует отметить, что в те времена еще оставался открытым вопрос,

---

<sup>18</sup> А. В. Гадолин. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала, стр. 9.

<sup>19</sup> Там же. стр. 10.

<sup>20</sup> Там же.

существует бесконечное или конечное количество классов (видов) симметрии.

Первая глава его работы посвящена равенству направлений. По определению А. В. Гадолина, два направления,  $A$  и  $B$ , называются равными, если двум каким-нибудь граням  $a$  и  $b$  можно найти две соответствующие грани  $a'$  и  $b'$ , причем угловые расстояния между нормальными к граням и заданными направлениями удовлетворяют следующим условиям:  $Aa=Ba'$ ,  $Ab=Bb'$  и  $ab=a'b'$ .

Следует различать при этом равенство совмещения и равенство симметричное (рис. 27).

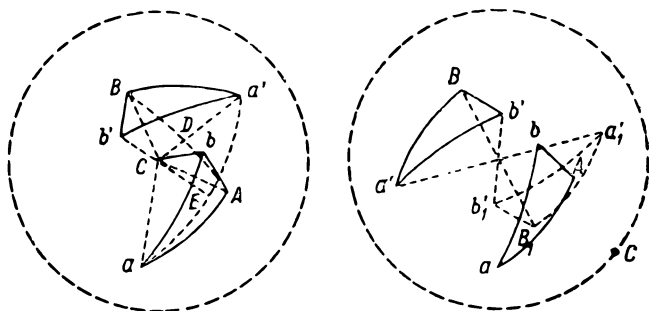


Рис. 27. Равенство совмещения и равенство симметричное, по А. В. Гадолину.

При равенстве совмещения грани  $a$  и  $b$  расположены от  $A$  в том же направлении, что и соответствующие грани  $a'$  и  $b'$  относительно  $B$ .

При симметричном равенстве грани  $a'$  и  $b'$  расположены относительно  $B$  в противоположном направлении, нежели  $a$  и  $b$  относительно  $A$ .

При равенстве совмещения всегда можно найти некоторую ось, путем поворота вокруг которой каждая грань кристалла приходит на место соответствующей ей грани, оставленной в прежнем положении. А. В. Гадолин обращает особое внимание на наименьший угол совмещения оси. Для симметричного равенства выводится особая сложная ось, характеристика которой уясняется из следующих соображений.

Плоскость, параллельная какой-либо возможной кристаллической грани, также является возможной гранью кристалла. Пусть даны грани  $a$  и  $b$  и симметрично-равные им грани  $a'$  и  $b'$ . Найдем грани  $a'_1$  и  $b'_1$ , параллельные граням  $a'$  и  $b'$ . Возможные грани  $a'_1$  и  $b'_1$  совместимо-равны с гранями  $a$  и  $b$ . Отсюда делается допущение, что существует некоторая ось совмещения, при помощи поворота вокруг которой  $a$  совмещается с  $a'_1$ , а  $b$  с  $b'_1$ .

Здесь нам следует сделать некоторую оговорку. В самом деле, наличие геометрически и физически равных, взаимно-параллельных (обратнопараллельных) граней возможно лишь при наличии центра инверсии. Поэтому нельзя безоговорочно говорить о равенстве заданных граней кристалла с параллельными им и возможными гранями. Здесь явно имеется некоторая логическая неувязка, которую можно было бы избежать, исходя из геометрических фигур, а не из кристаллов и применяя полученные результаты к кристаллам, как к частным случаям. Однако отмеченная недоговоренность не повлияла на окончательный вывод элементов симметрии А. В. Гадолина. В самом деле, указанная смесь, с помощью которой совмещаются возможные грани, параллельные заданным, с отраженно-равными гранями, отвечает инверсионной оси, которой широко пользуются сейчас в кристаллографии.

Следовательно, заслуга введения в науку о кристаллах инверсионных осей — и это особенно важно подчеркнуть — всецело принадлежит А. В. Гадолину. Зеркально-поворотные оси, которыми долгое время пользовались при прохождении элементарной кристаллографии, были введены позднее. Сейчас многие кристаллографы вернулись к осям А. В. Гадолина. Возможность присутствия в кристаллах осей 2-го, 3-го, 4-го и 6-го порядков доказывается А. В. Гадолиным на основе теоремы, согласно которой несколько возможных ребер кристалла могут совпадать с ребрами правильной пирамиды лишь в том случае, если косинус центрального угла основания этой пирамиды есть рациональная величина. Только при таком условии отношение параметров двух возможных кристаллических граней по одному и тому же ребру (оси) может быть рационально. Это доказательство целиком основывается на законе рационального отношения между параметрами кристаллических граней.

Отсюда вытекает, что угол совмещения оси пирамиды может равняться лишь 60, 90, 120 и 180°. То же самое доказательство А. В. Гадолин применяет и к инверсионным осям.

При этом различаются следующие случаи:

1.  $\alpha = 0$ . Имеем закон параллельности граней (центр инверсии).
2.  $\alpha = 180^\circ$ . Получаем плоскость симметрии.
3.  $\alpha = 90^\circ$ . Приходим к сфероидальной симметрии (четверная инверсионная ось).
4.  $\alpha = 60^\circ$ . Находим тройную ось с перпендикулярной ей плоскостью (шестерная инверсионная ось).
5.  $\alpha = 120^\circ$ . Приходим к тройной оси и центру инверсии, т. е. к тройной инверсионной оси.

Следует отметить, что сам А. В. Гадолин не дает обобщающего названия для открытых им инверсионных осей.

Установив возможные для кристаллов оси симметрии, он выводит возможные совокупности таких осей. Сперва им разбираются все возможные случаи для комбинаций, состоящих из

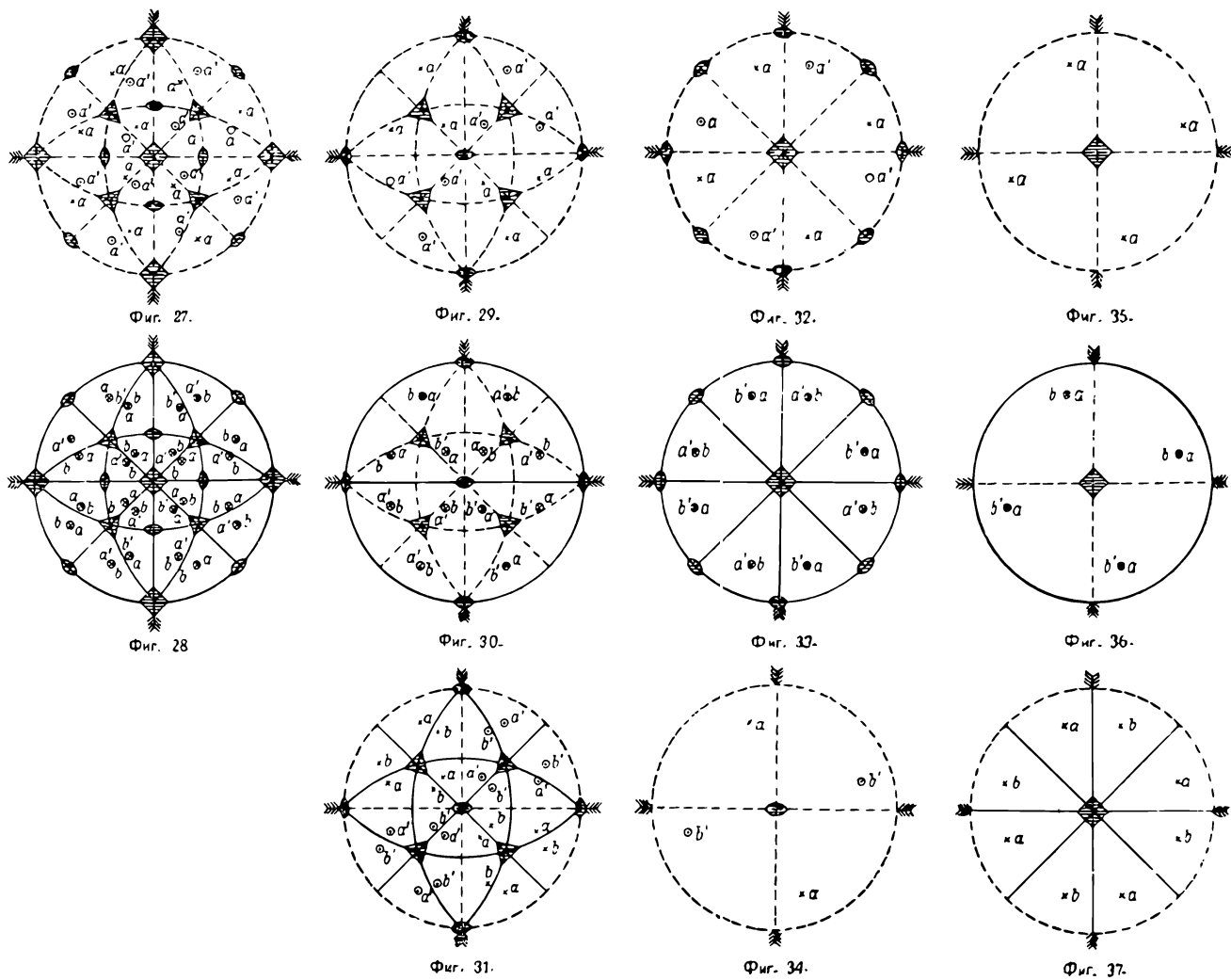


Рис. 28. Изображение видов симметрии, по А. В. Гадолину.

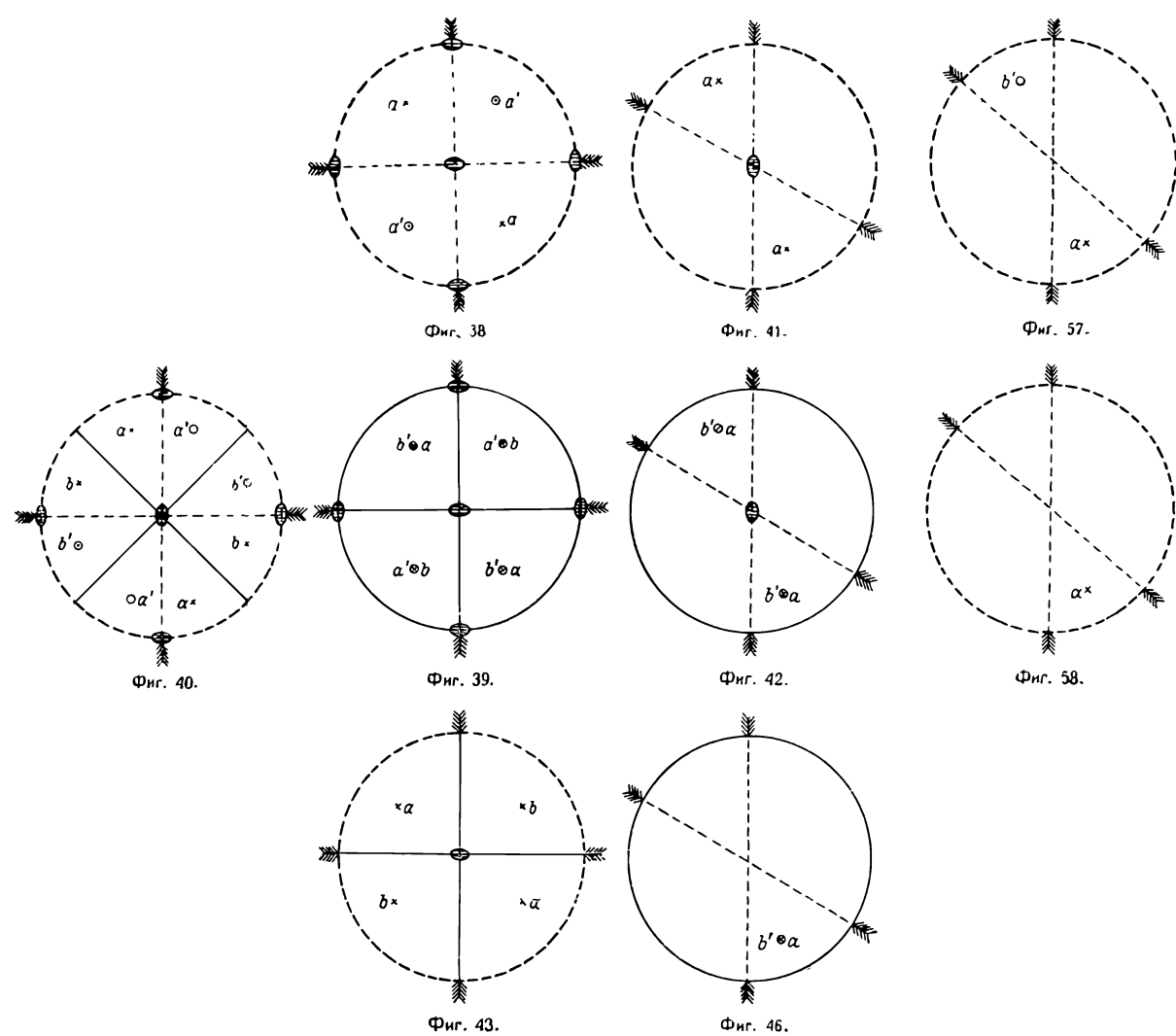
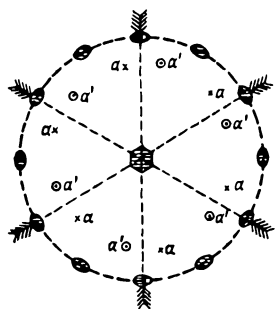
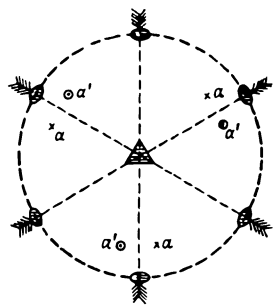


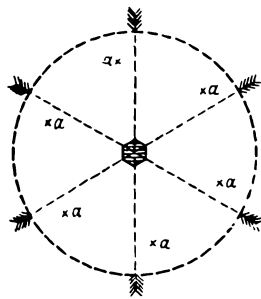
Рис. 29. Изображение видов симметрии, по А. В. Гадолину.



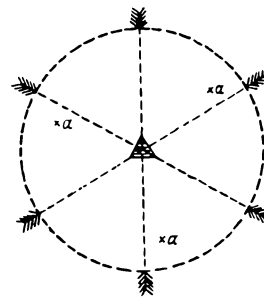
Фиг. 44.



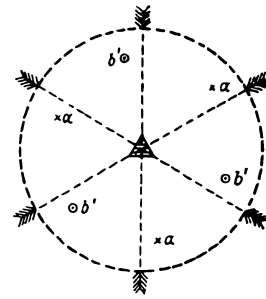
Фиг. 47.



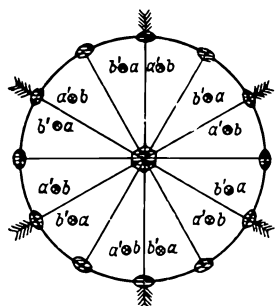
Фиг. 50.



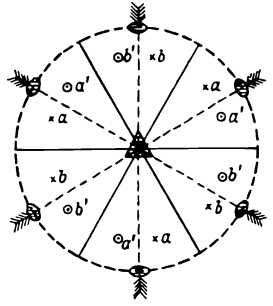
Фиг. 53.



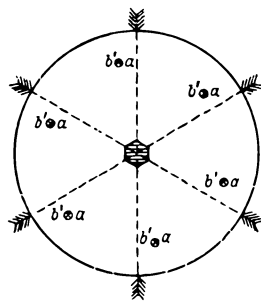
Фиг. 56.



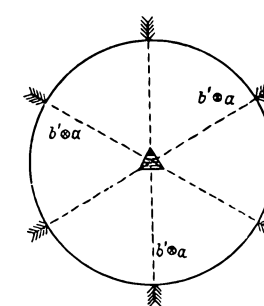
Фиг. 45.



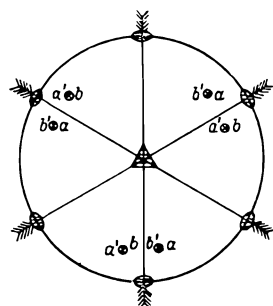
Фиг. 48.



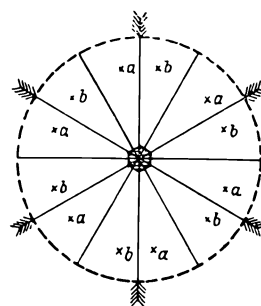
Фиг. 51.



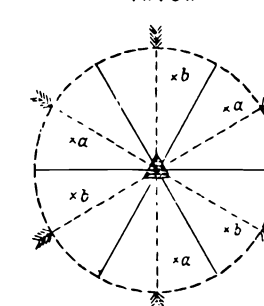
Фиг. 54.



Фиг. 49.



Фиг. 52.



Фиг. 55.

Рис. 30. Изображение видов симметрии, по А. В. Гадолпу.

одних осей совмещения. При этом он пользуется известными теоремами сложения осей, но дает их не в общем виде, а в применении к конкретным осям, возможным в кристаллах. Один за другим он перебирает все случаи, которые обычно группируются под названием примитивных и аксиальных видов симметрии. Далее А. В. Гадолин переходит к совокупностям простых и инверсионных осей симметрии. Приведем несколько относящихся сюда всем известным теорем в формулировке А. В. Гадолина:

1. «Оси совмещения в  $180^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $60^\circ$  вместе с законом параллельности дают плоскость симметрии, перпендикулярную к оси совмещения». Напомним, что «закон параллельности» соответствует в нашем представлении центру инверсии.

2. «Существование плоскости симметрии и оси совмещения в  $180^\circ$ ,  $90^\circ$  или  $60^\circ$ , к ней перпендикулярной, влечет за собою закон параллельности».

3. «Существование двух плоскостей симметрии, пересекающихся под углом  $\alpha$ , влечет за собою существование оси совмещения в  $2\alpha$ , направленной по прямой их пересечения»,<sup>21</sup> и т. д.

С помощью таких теорем А. В. Гадолин систематически выводит и остальные совокупности элементов симметрии, содержащие центр инверсии, плоскость симметрии и другие инверсионные оси. Суммируя все полученные им совокупности элементов симметрии, он приходит к 32 видам симметрии (рис. 28—30).

В 4-й главе своего труда А. В. Гадолин переходит к систематическому обзору установленных им 32 кристаллографических групп. При этом он соединяет в более обширные группы или системы совокупности элементов симметрии, «обладающие известными сходными качествами». Эти системы соответствуют всем известным кристаллографическим системам (сингониям). Приведем их характеристику по А. В. Гадолину: «Пять групп, характеризующиеся присутствием более одной оси в  $120^\circ$ , образуют правильную кристаллографическую систему. Семь групп, характеризующиеся присутствием одной только оси в  $90^\circ$  или сфеноидальной симметрии, ее заменяющей, составляют квадратную кристаллографическую систему. Три группы, характеризующиеся присутствием трех взаимно-перпендикулярных осей в  $180^\circ$  или плоскостей симметрии, заменяющих оси в  $180^\circ$ , им перпендикулярные, или существующих вместе с ними, составляют ромбическую систему. Три группы, характеризующиеся присутствием одной только оси в  $180^\circ$  или плоскости симметрии, перпендикулярной к этой оси и существующей или вместе с этой осью, или ее заменяющей, составляют систему моноклиноэдрическую. Две группы, характеризующиеся отсутствием всякой оси совмещения и плоскости симметрии, составляют триклиноэдрическую систему. Двенадцать групп, характери-

<sup>21</sup> Там же, стр. 34.

зуемые присутствием не более одной оси в  $120^\circ$  и  $60^\circ$ , составляют гексагональную систему».<sup>22</sup>

Приведем названия 32 видов симметрии по А. В. Гадолину параллельно с соответствующими им совокупностями элементов симметрии:<sup>23</sup>

### I. Правильная (кубическая) система

1. Голоэдриа —  $C3L_44L_36L_29P (m\bar{3}m)$ .
2. Попеременно-плоскостная гемиздриа —  $3L_44L_36L_2 (432)$ .\*
3. Тетраэдрическая гемиздриа —  $3Li_44L_36P (43m)$ .
4. Додекаэдрическая гемиздриа —  $C3L_24L_33P (m\bar{3})$ .
5. Тетартоэдриа —  $3L_24L_3 (23)$ .

### II. Квадратная (тетрагональная) система

6. Голоэдриа —  $CL_44L_25P (4/mmm)$ .
7. Трапецоэдрическая гемиздриа —  $L_44L_2 (422)$ .
8. Сфеноидальная гемиздриа —  $Li_42L_22P (42m)$ .
9. Пирамидальная гемиздриа —  $CL_4P (4/m)$ .
10. Сфеноидальная тетартоэдриа —  $Li_4 (4)$ .\*
11. Гемиморфия голоэдрических форм —  $L_44P (4mm)$ .\*
12. Гемиморфия пирамидальной и трапецоэдрической гемиздрии —  $L_4 (4)$ .\*

### III. Гексагональная (и тригональная) система

13. Голоэдриа —  $CL_66L_27P (6/mmm)$ .
14. Трапецоэдрическая гемиздриа —  $L_66L_2 (62)$ .
15. Ромбоэдрическая гемиздриа —  $CL_33L_23P (3m)$ .
16. Пирамидальная гемиздриа —  $CL_6P (6/m)$ .
17. Тригонотипная гемиздриа —  $L_3 (Li_6)3L_24P (\bar{6}2m)$ .\*
18. Ромбоэдрическая тетартоэдриа —  $CL_3 (Li_3) (3)$ .
19. Трапецоэдрическая, или тригональная, тетартоэдриа —  $L_33L_2 (32)$ .
20. Пирамидальная тетартоэдриа —  $L_3 (Li_6)P (6)$ .\*
21. Гемиморфия голоэдрических форм —  $L_66P (6mm)$ .
22. Гемиморфия трапецоэдрической и пирамидальной гемиздрии —  $L_6 (6)$ .\*
23. Гемиморфия ромбоэдрической и тригонотипной гемиздрии —  $L_33P (3m)$ .
24. Гемиморфия всех тетартоэдрией —  $L_3 (3)$ .\*

### IV. Ромбическая система

25. Голоэдриа —  $C3L_23P (mmm)$ .
26. Сфеноидальная симметрия —  $3L_2 (222)$ .
27. Гемиморфия голоэдрических форм —  $L_22P (2mm)$ .

### V. Моноклиноэдрическая (моноклиная) система

28. Голоэдриа —  $CL_2P (2/m)$ .
29. Гемиздриа —  $P (m)$ .\*
30. Гемиморфия —  $L_2 (2)$ .

### VI. Триклиноэдрическая (триклинная) система

31. Голоэдриа —  $C (1)$ .
32. Гемиздриа —  $(1)$ .

<sup>22</sup> Там же, стр. 48.

<sup>23</sup> Звездочками отмечены виды симметрии, природные представители которых во времена А. В. Гадолина не были известны.

Для каждого из 32 видов симметрии А. В. Гадолин выводит общую форму, иллюстрируя свой труд стереографическими проекциями.

Далее приводится подробное сравнение выведенных видов симметрии с подразделениями К. Ф. Наумана, часть которых А. В. Гадоллиным категорически отбрасывается. Безоговорочно отвергает он и диклиноэдрическую систему.

Вместе с тем А. В. Гадолин указывает на то, что семь из выведенных им видов хотя и не соответствуют наумановским подразделениям, однако имеют все права на существование в природе.

В результате тщательного сопоставления новых выводов с имевшимся в то время опытным материалом он заключает, что все без исключения изученные кристаллы укладываются в рамки 32 видов симметрии. Однако для целого ряда видов симметрии в то время еще не было известно реальных представителей. Теперь, как мы знаем, известны примеры кристаллических веществ для всех 32 видов симметрии.

Вот в каких словах разумирует сам А. В. Гадолин значение своего труда: «В естественных науках всякая классификация делается с той целью, чтобы по возможности облегчить обзор частных свойств предметов, ею обнимаемых. Надобно признать лучше ту классификацию, в которой каждая отдельная группа составлена из таких предметов, которые имеют наивозможно большее число сходных свойств. Нам кажется, что в этом отношении предложенная в этой статье классификация кристаллов представляет некоторое преимущество перед теми способами группировки их, которые до сих пор служили в кристаллографии. Мы признаем отдельными группами только такие, которые числом и расположением равных направлений отличаются от других групп, и если справедливо общее начало, что направления, одинаково расположенные относительно граней наружной формы, вместе с тем и обладают одинаковыми физическими свойствами, между тем как по направлениям, неодинаково расположенным относительно наружной формы, могут проявляться различные физические свойства, тогда наша классификация будет столько же физической, сколько и геометрической. Нам также кажется, что выражение того начала, которое мы положили в основание нашей классификации и на которое мы только что указали в немногих словах, не заключает в себе ничего неопредельного и что подробности этой классификации суть не что иное, как необходимые последствия, полученные путем чисто математического вывода из этого начала, в совокупности с законом рационального отношения между параметрами». <sup>24</sup>

Выйдя в свет, работа А. В. Гадолина обратила на себя внимание крупнейших специалистов. Из русских ученых высокую

<sup>24</sup> А. В. Г а д о л и н. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала, стр. 85.



оценку дал ей акад. Н. И. Кокшаров, после чего Академия наук присудила А. В. Гадолину Ломоносовскую премию.

Из иностранных ученых восторженную оценку труду русского кристаллографа дал известный английский ученый В. Миллер (1801—1880), с именем которого связаны применяющиеся в настоящее время кристаллографические символы.

Приведем небольшой отрывок из отзыва В. Миллера: «Многие минералоги, совершенно знакомые с фактами, касающимися кристаллов, не успели еще оценить в достаточной мере всю важность общих математических выражений для законов кристаллической симметрии; что же касается до геометров и аналитиков, то они слишком исключительно заняты отвлеченными величинами и поэтому мало заботятся о вопросах, касающихся симметрии и положения плоскостей в кристаллах. Автор мемуара (А. В. Гадолин, — *И. III.*) избежал, по-видимому, обоих этих недостатков; он высказывает совершенное знание натуральных кристаллов и вместе с тем ясно усматривает в них истины геометрические. Обладая подобными качествами, в труде, им предпринятом, он сумел представить законы кристаллической симметрии с удивительной ясностью. Замечательно, что его методы рассмотрения привели его к принятым à priori видам гемизедрии, относительно которых в кристаллах призматической системы были сделаны ошибочные предположения, и все это оправдалось последними наблюдениями г. Деклуазо в гармотоме и вольфрамe».<sup>25</sup>

Из позднейших оценок наибольший интерес представляют отзывы о труде А. В. Гадолина, принадлежащие двум корифеям нашей науки — Е. С. Федорову и В. И. Вернадскому. Вот что писал Е. С. Федоров: «Как автор „Вывода всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала“, А. В. Гадолин приобрел бессмертное имя; выведенные им 32 вида симметрии в кристаллах легли в основу всего современного учения по теоретической кристаллографии, их будут учить наши правнуки и праправнуки. Нет нужды, что в настоящую минуту есть еще немало минералогов, не успевших понять и освоиться со значением этого вывода, и что вообще вывод этот пользуется еще довольно малой известностью. Со времени его опубликования минуло четверть столетия относительной косности, но теперь эта косность доживает свои последние минуты. . .

«Гадолин положил в основание своего вывода закон радиональности отношений параметров.

«Это — закон, находящийся в полном соответствии со всеми опытными данными и, что самое главное, получивший всеобщее

---

<sup>25</sup> Цит. по: Е. С. Ф е д о р о в. Некролог и список сочинений А. В. Гадолина. Изв. Геолог. комитета, 1893, стр. 1.

признание. Вот почему всякие выводы, которые с полной строгостью могут быть из него получены, невольно возбуждают полное и безусловное доверие.

«Но из этого закона вытекают по отношению к элементам симметрии совершенно определенные и недвусмысленные следствия, а именно то, что закон этот удовлетворяется, если грани кристалла связаны двойною, тройною, четверною или шестерною осью симметрии (по Гадолину, осью совмещения), но не удовлетворяется в случае пятерной оси или оси наименования высшего, чем 6. Закон этот удовлетворяется, если грани связаны плоскостью симметрии, или сложной симметрией, если ось последней имеет наименование 2, 4 или 6 (по Гадолину, закон параллельности и сфероидальная симметрия), и не удовлетворяется в случае оси сложной симметрии высшего наименования.

«Поэтому вид симметрии кристалла может обусловиться только перечисленными элементами и количество таких видов получается весьма ограниченное. Из бесконечного множества геометрически возможных видов симметрии кристаллографическое значение имеют только те 32 вида, элементы которых состоят из двойных, четвертных и шестерных осей сложной симметрии. Первое исчерпывающее изложение этого предмета и составляет истинную и главную заслугу покойного Гадолина».<sup>26</sup>

Приведем также отрывок из статьи В. И. Вернадского, посвященной памяти академиков Н. И. Кокшарова и А. В. Гадолина: «Изучая свойства кристаллических многогранников, Гадолин подметил общие принципы деления этих многогранников на классы по явлениям симметрии, какие наблюдаются в этих многогранниках по отношению к определенным линиям, точкам, плоскостям пространства. Он нашел этим путем общие положения симметрии и вывел, что возможны 32 определенных класса многогранников; из явлений симметрии он вычислил и все свойства этих многогранников. Когда он сравнил эти теоретически выведенные им группы со всеми формами кристаллов, наблюдавшимися во всех веществах, то оказалось, что все кристаллы без исключения уложатся в 20 с небольшим из теоретически возможных и им предвычисленных групп. С тех пор наблюдались еще некоторые новые формы и все кристаллы распадаются на 24—28 групп, которые все совпадают с 32 группами, вычисленными Гадолиным; здесь, следовательно, возможно предсказание. Но значение этого деления гораздо более глубокое. Гадолину удалось принять такие общие признаки, которые являются самыми отвлеченными и сохраняют все свое значение, когда мы от геометрических форм перейдем к изучению любых физических свойств кристаллов, будут ли то свойства световые, тепловые, или какие-либо иные. Из изучения общих принципов геометрии наружных форм Гадолин поднялся до теории вну-

---

<sup>26</sup> Там же, стр. 6.

тренного строения кристаллических средин — того внутреннего строения, которое проявляется нам в правильностях физических свойств. Дальше идти теперь нельзя; будущему, при новом материале опытным, предстоит оживить эту систему неподвижных строений и дать нам в конце концов механическую теорию твердого тела.

«Работы Кокшарова дали точный фундамент для всех обобщений геометрического строения природных тел. Точность наблюдения этих свойств не была до сих пор превзойдена; работы Гадолина дали нам самое полное обобщение этих наблюдаемых фактов, дальше которого при имеющемся материале нельзя идти. В общем развитии кристаллографии их имена останутся навсегда памятными, так как в сущности оба шли разными путями к одной цели — к выработке незыблемых объективных оснований той отрасли физических наук, к которой влекла их мысль, и на этом пути они были в свое время в числе первых среди ученых всего мира».<sup>27</sup>

Однако многим минералагам и кристаллографам того времени выводы А. В. Гадолина казались непонятными или неверными. Они предпочитали оставаться на своих старых позициях. Вот что писал об этом Е. С. Федоров в некрологе, посвященном памяти А. В. Гадолина: «Громадное большинство ученых оставалось еще глухим к провозглашению новых истин и новых путей исследования; ученые еще не считали нужным сообразоваться с результатами строго геометрического анализа и предполагали излагать кристаллографию по более или менее произвольным внушениям. Науман до конца жизни продолжал настаивать на своих ошибочных взглядах, находящихся в прямом противоречии с выводами Гадолина. Долго еще взгляды Наумана были господствующими в Германии, особенно благодаря популярности его руководства «Основания минералогии», распространившегося в Германии и за ее пределами в целом ряде изданий».<sup>28</sup>

С течением времени, однако, высказывания А. В. Гадолина начинают находить все больше и больше приверженцев. Один за одним появляются новые выводы видов симметрии. Так, в 1883 г. Е. С. Федоров представил в Минералогическое общество свой первый капитальный труд — «Начала учения о фигурах». В нем независимо от И. Гесселя, забытые сочинения которого в то время еще не были заново открыты, дается полный вывод видов симметрии для всех без исключения конечных фигур.<sup>29</sup>

---

<sup>27</sup> В. И. В е р н а д с к и й. Памяти Н. И. Кокшарова и А. В. Гадолина. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. 6, 1892, № 4, стр. 506.

<sup>28</sup> Е. С. Ф е д о р о в. А. В. Гадолин. Некролог. Зап. Минералог. общ., ч. 30, 1893, стр. 410.

<sup>29</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Начала учения о фигурах, отд. III. Учение о симметрии. Зап. Минералог. общ., ч. 21, 1885, стр. 121—166.

Позже, в 1889 г., Е. С. Федоров снова вернулся к этому вопросу, выразив в статье «Симметрия конечных фигур» виды симметрии посредством специальных алгебраических выражений.

В 1884 г. П. Кюри, обратив внимание на отсутствие у О. Браве сложной симметрии, дал понятие зеркально-поворотной оси под названием «плоскости переменной симметрии» (*plan de simétrie alterne*) и предложил новый вывод совокупностей элементов симметрии для конечных фигур.

В 1887 г. Б. Миннигероде представил вывод 32 кристаллографических видов симметрии, основываясь на математической теории групп. По этому поводу Е. С. Федоров писал: «В 1887 году в лице Миннигероде систему Гадолина приняла и немецкая наука. Запоздание в движении заграничной науки в этой области сравнительно с русскою наукою произошло, следовательно, не менее чем на 20 лет».<sup>30</sup>

Вслед за Миннигероде А. Шенфлис в своей известной книге «Кристаллографические системы и структура кристаллов» (1891 г.) также рассматривал виды симметрии как конечные группы. В первоначальном варианте этой книги он даже назвал 32 вида симметрии «группами Миннигероде», что вызвало горячий протест со стороны Е. С. Федорова. Вот что писал последний по этому поводу в одном из писем к А. Шенфлису: «Извините меня, если я Вам прямо замечу, что называть 32 вида симметрии группами Миннигероде совершенно неправильно и остро несправедливо по отношению к ученому, который более 20 лет тому назад вывел эти системы с такой педантической математической точностью, что вывод этот как теперь, так, по всей вероятности, и столетием позже продержится в такой же полной неприкосновенности, как и в 1867 году при его первом открытии. Само собой разумеется, что я имею в виду Гадолина. Эти системы можно было бы называть системами Гадолина. . .

«Само собой понятно, что компетентный русский, француз или вообще не немец сочтет невозможным принять наименование упомянутых систем как групп Миннигероде.

«Что касается до меня самого, то я считаю это наименование тем более нарушающим истину и справедливость, что у Кюри, так же как и в моих „Началах учения о фигурах“ (которые, как я сообщал уже в предыдущем письме, были сданы в печать раньше, чем работа Кюри), появились некоторые новые точки зрения, а как раз в работе Миннигероде нет ничего нового».<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> Е. С. Федоров. Заметки об успехах теоретической кристаллографии. Зап. Минералог. общ., ч. 26, 1890, стр. 348.

<sup>31</sup> Письмо Е. С. Федорова к А. Шенфлису от 21 октября 1890 г. Из переписки Е. С. Федорова с А. Шенфлисом и Ю. В. Вульфом. Публикация Г. Б. Бокия и И. И. Шафрановского. Научное наследство, т. II, М., 1951, стр. 324—325.

Наконец, в 1891 г. вышло в свет «Краткое руководство по кристаллографии» Е. С. Федорова, где вывод совокупностей элементов симметрии конечных фигур был дан в популярном изложении для студентов.

Годом позже П. Грот издал на немецком языке «Обзорные таблицы 32 подразделений кристаллических форм с пояснительными примерами и графическими изображениями по Гадолину». А. В. Гадолин находился уже на смертном одре, когда появилось это сочинение, и пережил его всего на несколько недель. «Судьбе было угодно, чтобы он дожил до момента справедливости, до того момента, когда его имя стало раздаваться в аудиториях, разноситься по разным концам не только России, но и Германии, с тем чтобы никогда больше не быть забытым».<sup>32</sup>

---

<sup>32</sup> Е. С. Ф е д о р о в. А. В. Гадолин. Некролог, стр. 410.

---

## ХИ. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ. ВОПРОСЫ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОРМОЙ И ХИМИЧЕСКИМ СОСТАВОМ

Д. И. Менделеев, еще будучи студентом Педагогического института, успешно занимался минералогией и кристаллографией. Среди материалов, относящихся к его студенческим годам, сохранилась тщательно переписанная и переплетенная тетрадь под названием «Минералогия, часть 1-я. Физиография по лекциям ординарного профессора минералогии в Главном педагогическом институте С. С. Куторги. Книга I. Первый год, первого отделения Главного педагогического института. 1855/52 акад. год» (73 страницы). В том же переплете находится и «Система минералов» (300 страниц).<sup>1</sup>

Научные интересы учителя Д. И. Менделеева профессора минералогии С. С. Куторги (1805—1861) были очень широки. Он был одновременно и зоологом, и геологом, и минералогом. В минералогической литературе известна его интересная статья о химических законах образования минералов (1850 г.).<sup>2</sup> По заданию С. С. Куторги студент Менделеев выполнил свои две первые научные работы, опубликованные в «Записках Минералогического общества» и содержащие результаты химического анализа ортита (1854 г.) и пироксена (1856 г.). Попутно в них приводятся и некоторые кристаллографические данные (описание таблитчатого и игольчатого габитуса ортита, характеристика граней пироксена, величины углов между его спайными плоскостями). Обсуждая химический состав ортита, Д. И. Менделеев рассматривает его в качестве нового примера гетеромерного изоморфизма (по Р. Герману). В замечаниях к списку своих сочинений сам ученый так характеризует эти работы: «1854. Первая моя печатная статья. Материал дал для анализа С. С. Куторга, мой профессор минералогии и геологии, путешествовавший в Финляндии. Анализ делался в лаборатории Главного педагогического института под наблюдением А. А. Воскресенского. Ныне я не могу считать его достойным внимания. . .

<sup>1</sup> М. Н. Младенцев и В. Е. Тищенко. Дмитрий Иванович Менделеев. Его жизнь и деятельность, т. 1. Изд. АН СССР. М.—Л., 1938, стр. 108.

<sup>2</sup> Д. П. Григорьев. Новые задачи генетической минералогии. Природа, 1950, № 9, стр. 25.

«1856. Замечания те же, что и для 1».<sup>3</sup>

Два небольших исследования в области химической минералогии интересны для нас тем, что именно они натолкнули ученого на чисто кристаллохимическую тему об изоморфизме. Этой проблеме и была посвящена его диссертация, представленная при окончании курса в Педагогическом институте, — «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» (1856 г.).<sup>4</sup>

В заметках по поводу своих сочинений Д. И. Менделеев выбор темы объясняет следующим образом: «В Гл[авном] Пед[агогическом] институте требовалась при выходе диссертация на свою тему — я избрал изоморфизм, потому что интересовался тем, что нашел сам в 1 и 2 (имеются в виду химические анализы ортита и пироксена, — *И. Ш.*), и предмет казался мне важным в естественноисторическом отношении. . . Составление этой диссертации вовлекло меня более всего в изучение химических отношений. Этим она определила многое. Писана она была в 1854—1855 гг.».<sup>5</sup>

Несмотря на молодость ее автора (21 год), диссертация Д. И. Менделеева и сейчас интересна широтой охвата проблемы и глубиной подхода к ней.<sup>6</sup> С самого начала автор подчеркивает значение своей кристаллохимической темы. «Законы, связующие форму и содержание, т. е. кристаллический вид и химический состав, самые обильные последствиями для науки, — пишет он.<sup>7</sup> Далее им дается обширный критический обзор литературы, трактовавшей взаимосвязь химического состава и кристаллической формы. Прежде всего он напоминает об атомистической теории греческих и римских мыслителей: «Нам бы пришлось, может быть, потревожить вымерших за тысячелетия древних философов, если бы захотели выследить начало мысли: согласить содержание, или внутреннюю сторону, предметов с их внешним выражением. Оставляя это, начнем прямо с тех попыток, какие были сделаны, основываясь на сведениях о кристаллической форме. Начало их совпадает почти с началом нашего века. Впрочем, нам не раз придется встречаться с мыслями, зародившимися в голове древних мудрецов, — с мыслью об атомном строении тела».<sup>8</sup> После краткого упоминания о К. Линнее Д. И. Менделеев подробно оста-

<sup>3</sup> Д. И. Менделеев. Литературное наследство, т. I. Изд. Ленингр. гос. ун-в., Л., 1939, стр. 52.

<sup>4</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу. Горн. журнал, ч. 3, кн. 8, 1855, стр. 229—400; кн. 9, 1856, стр. 405—467.

<sup>5</sup> Д. И. Менделеев. Литературное наследство, т. I, стр. 52.

<sup>6</sup> Подробный и интересный обзор этой работы дан в кн.: В. П. Барзакowski и Р. Б. Добротин. Труды Д. И. Менделеева в области химии силикатов и стеклообразного состояния. Изд. АН СССР, М.—Л., 1960.

<sup>7</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . стр. 229.

<sup>8</sup> Там же, стр. 230.

навливается на взглядах Р. Ж. Гаюи: «Изучение кристаллических форм, как и первое на опыте основанное соглашение их с химическим составом, во всяком случае принадлежит известному основателю кристаллографии Гаюи».<sup>9</sup>



Д. И. Менделеев (1834—1907) в период работы над диссертацией об изоморфизме.

Подробный разбор взглядов Р. Ж. Гаюи приводит Д. И. Менделеев к следующим выводам: «Французский кристаллограф

---

<sup>9</sup> Там же, стр. 231.



полагает основным правилом своей системы, что один и тот же минеральный вид характеризуется постоянной геометрической формой и не может содержать минералов различного химического состава. Итак, вся ошибка Гаюи состояла в том, что он придавал очень тесный смысл понятию о сходстве химического состава. Как верны и основательны мнения Гаюи по отношению к кристаллографическому внешнему строению минералов, так по большей части легки суждения его по отношению к химическому составу минералов, особенно к изоморфизму. . . Во всяком случае та резкость изложения общих законов, какую находим в творениях Гаюи, несогласна с подвижными и гибкими законами природы». <sup>10</sup>

Упомянув об открытии полиморфизма, Д. И. Менделеев останавливается на высказываниях Ф. Бедана, согласно которому изменение форм в полиморфных разновидностях объясняется влиянием примесей. Одно вещество, воздействуя на второе, принуждает его кристаллизоваться в чуждой ему кристаллической форме. «Гипотеза Бедана есть одно из смелых и блестящих предположений, увлекающая сила которых заставляет на первый раз невольно им верить», — замечает Д. И. Менделеев. <sup>11</sup> Вместе с тем дальше он пишет: «Невозможно отрицать научного достоинства трудов, представленных нами, однако должно сознаться, что все они не представляли общего целого и ограничиваются по большей части частным кругом явлений, не придавая ясности другим явлениям, рядом с ними стоящим». <sup>12</sup>

Только в работах Э. Митчерлиха Д. И. Менделеев находит ясное истолкование известных в то время кристаллохимических явлений: «Труды Митчерлиха привели в одно стройное целое всю общность сведений о согласии кристаллической формы и химического состава». <sup>13</sup> Разбирая примеры изоморфизма, изученные Э. Митчерлихом, Д. И. Менделеев пишет: «При этом бросается в глаза подобие состава, или, выражаясь в духе атомистической теории, одинаковость числа соответствующих атомов, потому-то Митчерлих и заключает, что в некоторых случаях известное число атомов одного вещества может быть заменено тем же числом атомов другого тела без перемены формы». <sup>14</sup> Принимая это положение, Д. И. Менделеев, однако, делает следующую оговорку: «Причину изоморфности тел полагает Митчерлих сходство форм атомов изоморфов. Таким образом, форма известкового шпата не изменяется при замене в нем извести закисью железа потому, говорит Митчерлих, что атомы закиси железа имеют одинаковую форму с атомами извести». <sup>15</sup> Понятие Э. Митчерлиха об «одинаковых формах» ато-

---

<sup>10</sup> Там же, стр. 252—253.

<sup>11</sup> Там же, стр. 239.

<sup>12</sup> Там же, стр. 243.

<sup>13</sup> Там же.

<sup>14</sup> Там же, стр. 245.

<sup>15</sup> Там же, стр. 260.

мов железа и магния основывалось на чисто умозрительных предположениях. На это и обратил внимание Д. И. Менделеев. Анализируя правила изоморфизма, сформулированные Э. Митчерлихом, он пишет: «Для простых тел Митчерлих принужден был дать другой закон, вовсе лишенный возможности какой-либо практической проверки: тела имеют одинаковую кристаллическую форму, когда их атомы одинаковы. Очевидно, этот закон имеет большую общность, потому что применяется ко всем соединениям, но он не основан ни на прямых наблюдениях, ни на ясных наведениях».<sup>16</sup>

В свете современных взглядов на явления изоморфизма мы выделяем в представлениях Э. Митчерлиха две проблемы: вопрос о сходстве кристаллических форм и вопрос об образовании смешанных кристаллов. На эти два вопроса обратил в свое время внимание и Д. И. Менделеев: «Изоморфы, замещающие друг друга, можно разделить вообще на два рода: первые образуют особые соединения, имеющие сходственный состав и одинаковую кристаллическую форму. . . вторые смешиваются между собой, т. е. образуют изоморфные смеси».<sup>17</sup> Вслед за «несомненными, всеми признанными понятиями об изоморфизме» Д. И. Менделеев рассматривает ряд современных ему гипотез «более или менее достоверных и признанных наукой».<sup>18</sup> Мы ограничимся лишь теми из них, которые характеризуют взгляды самого Д. И. Менделеева и представляют интерес для истории развития его собственных достижений.

Большое внимание уделяется ученым закону изоморфизма Г. Кюппа, согласно которому «изоморфные тела имеют равные удельные объемы».<sup>19</sup> Вместе с тем он замечает: «Конечно, предложенное уравнение  $V_{об.} = (V_{об.})'$  не представляет математической точности, но только возможную близость».<sup>20</sup> В качестве иллюстрации Д. И. Менделеев приводит обширную таблицу «для показания отношения между изоморфизмом и удельными объемами». В недавно опубликованном извлечении из диссертации он дает следующее определение изоморфизма, учитывающее и удельные объемы: «Изоморфизм есть близость форм соединений с одинаковым числом и расположением атомов и с близкими удельными объемами».<sup>21</sup> Еще более ярко это же положение сформулировано в самой диссертации: «В смысле атомистической теории изоморфизм стал сходством форм по причине одинаковости атомного строения и

---

<sup>16</sup> Там же, стр. 281.

<sup>17</sup> Там же, стр. 254

<sup>18</sup> Там же.

<sup>19</sup> Под удельным объемом подразумеваются атомный или молекулярный объемы.

<sup>20</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 229.

<sup>21</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм и гомеоморфизм. В кн.: Д. И. Менделеев, Сочинения, т. XXV, Изд. АН СССР, М., 1952, стр. 76.

одинаковости объема атомных атмосфер».<sup>22</sup> Последнее определение почти отвечает современной трактовке изоморфизма. «Атомная атмосфера», по Д. И. Менделееву, живо напоминает нам сферы действия атомов и ионов, играющие столь важное значение в строении кристаллов. Для того чтобы показать близость определения Д. И. Менделеева к новейшим формулировкам этого понятия, приведем цитату из статьи В. А. Франк-Каменецкого «О содержании понятия изоморфизм»: «Основными признаками, определяющими изоморфизм, нужно считать сходство: а) объемных размеров, б) типа химической связи и в) типа структуры. Под сходством объемных размеров подразумевается сходство атомных, ионных или молекулярных объемов, размеров ячеек или топических параметров. Без объемного подобия изоморфизм невозможен».<sup>23</sup>

До сих пор шла речь о классических случаях изоморфизма. Однако Д. И. Менделеев был глубоко заинтересован и более сложными его проявлениями. Переходя к разбору «полимерного изоморфизма» Шерера, он пишет: «Подобных изоморфных тел, где один атом тела заменяется несколькими атомами того же или другого тела, весьма много. Существование их несомненно, да и по смыслу атомистической теории это можно уяснить себе очень просто. Уподобим химическое соединение зданию, сложенному из камней. Форма и характер здания не изменяется, если мы вместо камня вставим кирпич точно такой же величины. Так и в химическом соединении: пай одной составной части, заменяя пай другой, не нарушает формы соединения. Но разве переменился форма нашего здания, когда мы вынем один камень и вставим вместо него два, три,  $n$  камней, или вообще вместо  $m$  камней вставим  $n$  таких камней, сумма объемов которых была бы равна  $m$ . Что же препятствует в соединении  $n$  паям одного тела заменять  $m$  паяв другого, если тела образованы из атомов?».<sup>24</sup>

В настоящее время известны многочисленные случаи такого усложненного изоморфизма. А. Е. Ферсман объединил их под названием «явлений кристаллохимической (электростатической) компенсации». При этом им выделялись следующие случаи: «а) компенсация ионами (атомами) иных размеров (если в вещество  $A$  входит атом  $B$  большего радиуса, то его можно компенсировать одновременным вхождением атома меньшего радиуса); б) компенсация при разной валентности; в) компенсация зарядов  $+$  и  $-$ ».<sup>25</sup> Приведенный выше образный пример Д. И. Менделеева относится, как видим, к случаю А.

<sup>22</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 299.

<sup>23</sup> В. А. Франк-Каменецкий. О содержании понятия изоморфизм. Сб. «Кристаллография», вып. 5, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1956, стр. 55.

<sup>24</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 323—324.

<sup>25</sup> А. Е. Ферсман. Геохимия, т. I. Госхимтехиздат, Л., 1933, стр. 123.

В своей диссертации Д. И. Менделеев весьма сочувственно отнесся к теории Шерера, которая, по его мнению, «дает средства объяснить состав многих минералов гораздо точнее, чем прежде, и потому позволяет сделать более естественную группировку тел».<sup>26</sup>

Переходя к характеристике теории гетеромерного изоморфизма Р. Германа, подробно разобранную выше, Д. И. Менделеев останавливается на ее сущности и показывает ее большую широту по сравнению с теорией Шерера: «Шерер принимает только изоморфизм  $A+nB$  с  $A+mB$ , Герман вообще  $nA+mB$  с  $pA+qB$ ».<sup>27</sup> Все более расширяя границы рамок изоморфизма, Д. И. Менделеев сочувственно цитирует Лорана, относившего к изоморфным «такие тела, кристаллы которых имеют почти одинаковое или близкое отношение осей и почти равное измерение углов. Таким образом, тела различных систем могут быть между собой изоморфны».<sup>28</sup> Отсюда логически следует вывод об искусственности разграничения кристаллов по системам (сингониям) и об естественных переходах между последними: «Таким образом, все системы сливаются в одно целое, устраняется резкое различие одной от другой и общим телом становится триклиноэдрическая пирамида».<sup>29</sup> Действительно, изменяя отношения осей и их наклонения, из триклиноэдрической пирамиды мы можем произвести все остальные формы тел. Системы, признанные нами, суть только более или менее постоянные типы, предельные формы, стоящие в общем ряду на известном расстоянии друг от друга».<sup>30</sup>

Эти идеи близко подходят к развивавшемуся впоследствии Е. С. Федоровым учению о переходах от одних кристаллических решеток к другим с помощью однородных деформаций (сдвигов и растяжений). Термин «система» в приложении к реальным кристаллам звучит примерно так же, как слово «очки» в отношении наших глаз.<sup>31</sup> В качестве иллюстрации изменения кристаллической формы в зависимости от химического состава Д. И. Менделеев приводит известный пример с апатитом, открытым Н. И. Кокшаровым. Апатит, содержащий хлор, имеет меньший угол между гранями  $\{0001\}$  и  $\{10\bar{1}1\}$ , чем апатит без хлора. «Эта изменчивость, — пишет он, — лежит часто в самой сущности дела, а не есть дело ошибки. Нет только сравнительного и одновременного изучения формы и состава, а то, вероятно, многое изъяснилось бы для нас в этом отношении».<sup>32</sup> Далее Д. И. Менделеев подчеркивает вопрос

<sup>26</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 333.

<sup>27</sup> Там же, стр. 333.

<sup>28</sup> Там же, стр. 384.

<sup>29</sup> Т. е. триклинная комбинация моноэдров.

<sup>30</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 405.

<sup>31</sup> В. Н. Лодочников. Основы кристаллооптики. Гостеолиздат, М., 1947, Приложение I.

<sup>32</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 409.

об отсутствии резких границ между кристаллографическими системами: «От чего не допустить, чтобы два тела, сходные по составу и по форме, не могли принадлежать к различным системам?». <sup>33</sup> В виде ответа на этот вопрос он приводит многочисленные примеры из минералогии. Так, например, очень близки кристаллографически тетрагональные шеелит и вольфрамит, с одной стороны, и моноклинный вольфрамит — с другой. Тетрагональная дипирамида гаусманита приближается по углам к правильному октаэдру кубического магнетита и т. п.

Суммируя результаты, изложенные в диссертации, Д. И. Менделеев в качестве заключения приводит «общую систему, в какой можно расположить все тела, сравнивая их по форме и по составу». <sup>34</sup> Система эта содержит пять нижеследующих классов.

I. «Тела с абсолютно одинаковыми формами». Сюда, если исключить кристаллы кубической сингонии, можно отнести только «тела по преимуществу абсолютно сходные по составу».

II. «Тела односистемные, одинаково сходственноформные». К этому разделу, помимо типично изоморфных кристаллов, Д. И. Менделеев относит и физически изоморфные тела. По его определению, «физический изоморфизм» является более широким понятием, чем «химический изоморфизм». Для физически изоморфных тел требуется только сходство кристаллической формы, тогда как химически изоморфные тела должны обладать способностью совместной кристаллизации. В современном понимании физический изоморфизм Д. И. Менделеева соответствует в широком смысле понятиям «изогонизм» и «изоструктурность» (сходство структур без их химической близости). Следовательно, сюда относятся и собственно изоморфные, и изоструктурные кристаллы.

III. «Тела сходноформенные, разносистемные, на которых лежит печать одного кристаллического типа (параморфные)». К данному классу Д. И. Менделеев относит кристаллы, близкие по формам и углам, т. е. относящиеся к одному кристаллическому типу, но принадлежащие к различным кристаллографическим системам (сингониям). Последнее, однако, не мешает им образовывать смешанные кристаллы. Он подчеркивает, что «параморфизм очень важен для образования стройного общего обзора всех изменений форм, для систематического познания их; параморфизм пополняет проблемы, остающиеся при изучении изоморфизма, и потому в соединении с последним приводит к важным сближениям, законам и наведениям. Впоследствии он может послужить началом естественной системы минералов». <sup>35</sup>

<sup>33</sup> Там же.

<sup>34</sup> Там же.

<sup>35</sup> Там же, стр. 445.

IV. «Тела, сходные только в отдельных частях своих форм, но имеющие различные кристаллические типы (гемиморфные)». Сюда относятся кристаллы разных сингоний, с различными отношениями осей, в которых, однако, один или несколько углов одинаковы. Д. И. Менделеев считает целесообразным включать в этот класс только вещества, имеющие какое-либо сходство в составе. Он отмечает, что «самое атомное строение и образование кристаллов может заимствовать многое от изучения гемиморфизма».<sup>36</sup> Отметим, что впоследствии такие работы производились во множестве, главным образом Г. Н. Вырубовым во Франции и школой П. Грота в Германии. Для того чтобы дать более ясное понятие о гемиморфных кристаллах, Д. И. Менделеев приводит образное сравнение Лорана, уподоблявшего гемиморфизм архитектурному стилю. Так, например, готические соборы имеют либо одну, либо две башни, они могут быть со шпилем и без него, но общий план всех этих соборов всегда один и тот же.

V. «Тела с абсолютно различными формами».

Приведенная выше классификация кристаллов представляет незаурядный интерес как попытка дать всеобъемлющую систему кристаллических веществ на основе всевозможных случаев сходства и различия кристаллографической формы и химического состава. Таким образом, эта система является одной из первых кристаллохимических классификаций мира кристаллов.

Обзор диссертации Д. И. Менделеева показывает, как глубоко подошел к избранной им теме молодой ученый и сколько интересных проблем сумел он затронуть в ней. Следует отметить, что эта работа, помимо теоретических выводов, содержит и богатейший фактический материал. Так, например, в ней имеется обширный список всех известных в то время изоморфных соединений, подразделенных на шесть кристаллографических систем (сингоний). В специальной таблице сведены изоморфные простые тела (элементы). Эта таблица представляет особый интерес как одна из первоначальных ступеней к созданию знаменитой менделеевской системы элементов. Таким образом, уже первая крупная работа ученого, посвященная изоморфизму, представляет один из этапов на пути к установлению периодического закона элементов.<sup>37</sup>

Вопросы, затронутые в этой работе, дали впоследствии темы для дальнейших исследований Д. И. Менделеева. Так, например, его магистерская диссертация «Удельные объемы» явилась прямым развитием идей о значении атомных и молекулярных объемов, упоминавшихся в работе об изоморфизме. «Связь с 3 очевидна»,

<sup>36</sup> Там же, стр. 461.

<sup>37</sup> В. П. Барзакowski и Р. Б. Добротин. Труды Д. И. Менделеева в области химии силикатов и стеклообразного состояния, стр. 47—82.

писал по поводу своей второй диссертации сам Д. И. Менделеев.<sup>38</sup> По данным В. П. Барзаковского и Р. Б. Добротина, уже после опубликования работы об изоморфизме Д. И. Менделеев продолжал тщательно собирать сведения о кристаллических формах изоморфных тел. Об этом свидетельствуют его многочисленные записи на полях собственного экземпляра данной книги.

Среди проблем, затронутых в работе об изоморфизме и интересовавших ученого и впоследствии, следует упомянуть вопрос о плотнейших шаровых упаковках. В своей диссертации Д. И. Менделеев упоминает идею Шерера о равновесии атомов диморфных тел. Исходя из отношений удельных весов таких тел, Шерер пришел к выводу, что диморфные (т. е. полиморфные) разновидности происходят от различного расположения атомов и что все известные случаи диморфизма можно объяснить четырьмя группировками одинаковых атомов. Эти группировки характеризуются количествами атомов, окружающих каждый данный атом (т. е. координационными числами). Таких чисел, по Шереру, всего четыре: 6, 8, 10 и 12. При данных координационных числах объемы одинакового веса имеют отношение:  $1 : \frac{1}{2} \sqrt{3} : \frac{3}{4} : \frac{2}{3} \sqrt{2}$ . Отсюда вычисляются соответственные отношения для удельных весов: 1.00 : 1.55 : 1.33 : 1.42.

В примечании Д. И. Менделеев пишет: «Это вычисляется очень просто — уподобляя атомы шарам и находя отношения объемов куч, в какие уложатся шары при различных положениях».<sup>39</sup> Приложение полученных таким образом выводов к конкретным случаям полиморфных модификаций (алмаз—графит, анатаз—рутил, кальцит—арагонит, пирит—марказит и др.), по мнению Д. И. Менделеева, подтверждает гипотезу Шерера. Однако он с большой осторожностью относится к этой гипотезе: «Эти теоретические заметки Пастера и Шерера доказывают возможность перехода от явлений, по-видимому, незначительных к самым общим заключениям, от которых невозможно воздерживаться, хотя утвердительно сказать можно очень немного, если не ничего».<sup>40</sup> Вместе с тем шаровые упаковки явно заинтересовали Д. И. Менделеева. В его архиве сохранились позднейшие записи с вычислениями, относящимися к различным шаровым упаковкам.

Само собой разумеется, что вопросы, столь основательно разработанные в диссертации об изоморфизме, нашли свое отражение и в «Основах химии». Эта классическая книга изобилует многочисленными упоминаниями о кристаллах и процессах кристаллизации. У нас нет никакой возможности хотя бы вкратце

---

<sup>38</sup> Д. И. Менделеев. Литературное наследство, т. 1, стр. 54. Под № 3 здесь подразумевается работа «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу».

<sup>39</sup> Д. И. Менделеев. Изоморфизм. . . , стр. 450.

<sup>40</sup> Там же, стр. 450—451.

затронуть все эти высказывания. Поэтому мы ограничимся лишь одной цитатой, показывающей, какое значение придавал Д. И. Менделеев кристаллографии при изучении химии: «Так как твердые тела часто являются в самостоятельных правильных кристаллических формах или отдельных, зависящих, судя по спайности или листопрохождению (от чего слюда делится на пластинки, а шпаты на куски, ограниченные плоскостями, наклоненными друг к другу под определенными для каждого тела углами), от неодинаковости притяжения (сцепления, упругости) по разным направлениям, между собой пересекающимся под определенными углами, то определение кристаллических форм составляет один из важных внешних признаков, характеризующих отдельные определенные химические соединения. Поэтому начала кристаллографии, составляющей особую науку, непременно должны быть знакомы тому, кто желает работать в научной химии».<sup>41</sup>

В заключение нельзя не упомянуть о том влиянии, которое оказали высказывания Д. И. Менделеева о кристаллах на последующие поколения химиков-кристаллографов. Красноречивое свидетельство этого влияния мы находим в речи томского профессора химии П. П. Орлова (1859—1937), посвященной жизни и творчеству Д. И. Менделеева.<sup>42</sup>

В этой речи приводится прежде всего следующая характерная выдержка из «Основ химии»: «Должно ждать много плодотворных следствий от дальнейшей разработки сведений о тех изменениях, какие наступают в кристаллической форме, когда состав тела подвергается известному изменению, а потому считаю полезным для молодых ученых, ищущих предмета для самостоятельных научных работ, указать здесь на обширное поле для работ, представляемое соотношением между формами и составом. Геометрическая правильность и своеобразная красота кристаллических образований придают немалую привлекательность исследованиям этого рода». Приведя эту замечательную цитату, П. П. Орлов далее говорит: «Эти строки, этот горячий призыв великого учителя вызвал у меня попытку изучить изменение кристаллической формы поваренной соли в связи с составом раствора, — работа, при выполнении которой я имел случай не раз убедиться в плодотворности идей Д. И. Менделеева».<sup>43</sup>

Думается, что приведенные слова могут служить лучшей концовкой очерка о роли Д. И. Менделеева в истории развития химической кристаллографии.

---

<sup>41</sup> Д. И. Менделеев. Основы химии, т. I. Изд. 10-е, Л., 1931, стр. 255.

<sup>42</sup> Г. И. Ходалевиц. Профессор Петр Павлович Орлов. Сообщение о науч. работах членов Всесоюзн. хим. общ. им. Д. И. Менделеева, вып. 4, 1951, стр. 29.

<sup>43</sup> Там же.



### ХИ. М. А. ТОЛСТОПАТОВ. ПРОБЛЕМЫ КРИСТАЛЛОГЕНЕЗИСА И ВНУТРЕННЕГО СЛОЖЕНИЯ РЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТЕЛ

Долгое время большинство исследований реальных кристаллических образований сводилось к гониометрическому изучению природных кристаллов.

В поисках точных кристаллографических констант ученые сознательно игнорировали несовершенные кристаллы, выбирая из имеющегося материала лишь образцы, наиболее близко подходящие к геометрически правильным плоскостным многогранникам. В России, как мы видели, представителями такого направления описательной кристаллографии и минералогии явились Н. И. Кокшаров и П. В. Еремеев.

Не случайно эти ученые были горными инженерами и профессорами Горного института. Обильный минералогический материал, добывавшийся их учениками в самых разнообразных частях России и пересылавшийся им, требовал систематического изучения, точного определения и четкой характеристики. Вот почему Н. И. Кокшаров и П. В. Еремеев всю свою жизнь посвятили кристаллографическому описанию минералов. Результаты их исследований сводились, как правило, к таблицам угловых величин и идеализированным изображениям кристаллов. И то и другое в дальнейшем служило пособием для распознавания и определения минералов. Несовершенства реальных кристаллов, их отклонения от идеальных геометрических многогранников рассматривались учеными описательной школы как досадные усложнения, затрудняющие изучение того или иного минерала. Поэтому Н. И. Кокшаров и П. В. Еремеев только вскользь останавливались на таких отклонениях, обычно ограничиваясь лишь их кратким словесным описанием.

В отличие от минералогов-горняков ученые, работавшие в университетах и не связанные непосредственно с горной практикой, обладали значительно более бедным минералогическим материалом. Это зачастую заставляло их сосредоточивать свое внимание на кристаллах какого-либо одного минерала, который они и старались по возможности всесторонне изучить.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Д. П. Григорьев. Новые задачи генетической минералогии. Природа, 1950, № 9, стр. 25.

Такой подход наталкивал на рассуждения о возможных причинах возникновения тех или иных усложнений на реальных кристаллических телах. «Уродства» кристаллического мира оказались весьма интересными с точки зрения кристаллогенезиса. Сейчас мы ясно сознаем, какое важное практическое значение имеет учение о несовершенствах внутреннего сложения и внешней формы кристаллов. Именно это учение дает большие возможности для выяснения условий образования кристаллов и открывает перспективы их технического использования в качестве промышленного сырья, обладающего требуемыми свойствами, зависящими от кристаллического строения (достаточно напомнить современные методы установления технической пригодности пьезокварца и других объектов пьезосырья, кальцита, используемого в оптической промышленности, диэлектриков и др.). Однако в прошлом столетии промышленное использование отдельных кристаллов (за исключением драгоценных камней) вовсе не имело места. Для рудного же дела, хорошо развитого уже и в то время, особенности отдельных кристаллических индивидов рудных минералов интереса не представляли. Следовательно, и изучение дефектов на кристаллах казалось тогда совершенно бесплодным и никому не интересным. Нельзя не учитывать также и того, что рассуждения ученых прошлого столетия о кристаллогенезисе минералов являлись во многом преждевременными, тем более что их авторы работали в стенах кабинетов, посещая лишь в виде редкого исключения природные месторождения. Техника лабораторного выращивания кристаллов стояла также на очень примитивном уровне и редко использовалась исследователями. Понятно, что их теоретические рассуждения и опыты казались современникам фантастическими и ненужными измышлениями, лишенными какого бы то ни было практического смысла.

В связи с этим имена ученых, занимавшихся изучением «уродливых кристаллов» и вопросами кристаллогенезиса, долгое время оставались в тени. Только сейчас, когда учение о реальном кристалле стоит в центре внимания современных кристаллографов, начинают вспоминать их имена и заново открывать их достижения, во многом предвосхитившие новейшие взгляды.

Основоположниками учения о реальном кристалле в России явились профессор Московского университета М. А. Толстопятов и ученые Петербургского университета — М. В. Ерофеев и А. Н. Карножицкий. Творчество этих кристаллографов до самых последних лет оставалось непризнанным и незамеченным. В зарубежной литературе их достижения вовсе не нашли отражения. Жизнь М. В. Ерофеева и А. Н. Карножицкого прервалась преждевременно в трагической обстановке, в нужде и моральном одиночестве. Чрезвычайно характерной для того времени является также судьба научного наследия их старшего современника М. А. Толстопятова.

Михаил Александрович Толстомятов родился в 1836 г. В 1859 г. он закончил Московский университет и был оставлен при кафедре геологии и минералогии известным геологом проф. Г. Е. Щуровским. С 1861 г. М. А. Толстомятов читал лекции по минералогии. Магистерская диссертация молодого ученого «О причинах гетероморфизма углекислой извести» была защищена в 1867 г. Через два года увидела свет его монография «Общие задачи учения о кристаллогенезисе», явившаяся его докторской диссертацией. В 1868 г. из общей кафедры геологии была выделена специальная кафедра минералогии, заведование которой поручили М. А. Толстомятову. Большой его заслугой явилась организация лаборатории при кафедре минералогии, в которой имелся ряд кристаллографических приборов. В 1886 г. М. А. Толстомятов был утвержден в звании заслуженного профессора. В 1890 г. он скончался от сердечной болезни.

Среди студенчества М. А. Толстомятов пользовался большой популярностью. Лекции его всегда имели успех и нередко прерывались овациями. Широкую известность приобрели также его публичные лекции, собиравшие многочисленную аудиторию. Некоторые из них были опубликованы. Особенно большой известностью в России и за границей пользовалась лекция «Иллюзии и чаяния естествоиспытателя».<sup>2</sup> В ней разбирались три «великие мировые идеи»: первая — об единстве материи, слагающей Вселенную, вторая — о сведениях всех веществ к единой простейшей первобытной материи, третья — о группировке атомов материи в организмы. Особенно обращает на себя внимание в этой лекции гипотеза о разложимости химических элементов.

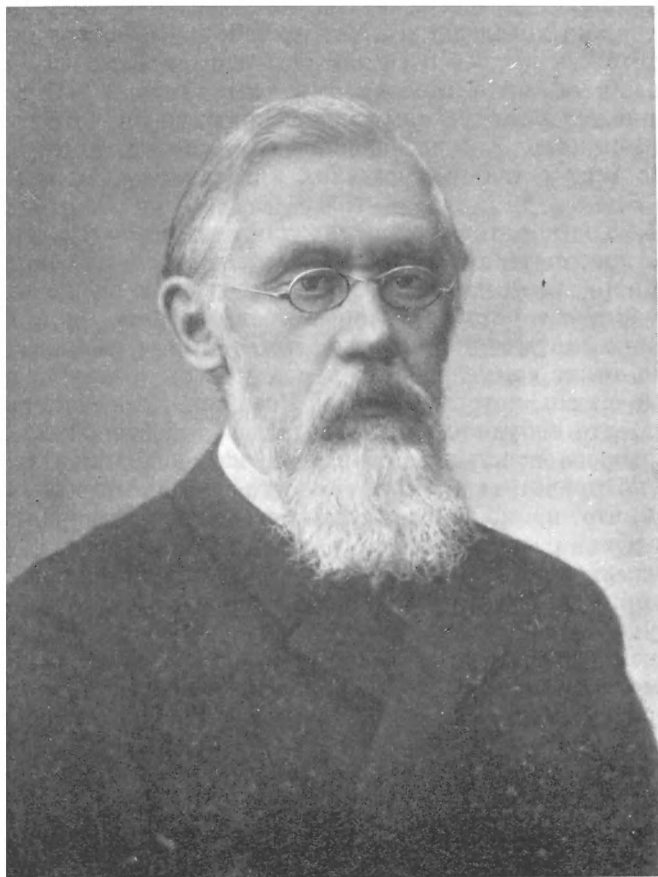
Научное наследие М. А. Толстомятова состоит из двух его диссертаций, опубликованных при жизни автора, и ряда брошюр, изданных после смерти ученого его женой. По свидетельству современников, М. А. Толстомятов испытывал огромную нелюбовь к письменному оформлению своих работ: «Он считал механический труд писания неприятной уздой, стеснявшей свободный полет мысли и слова. На убеждения друзей поторопиться печатанием или, по крайней мере, послать свои положения в запечатанном конверте на хранение во Французскую Академию, он, смеясь, говорил, что главное все уже сделано; осталось только самое неприятное — последовательно письменно изложить все найденное, сделать рисунки, а там печатай исследование за исследованием. Но это неприятное он все откладывал, продолжая исследования далее».<sup>3</sup> Думается, однако, что на продуктивность творче-

---

<sup>2</sup> См. статью о М. А. Толстомятове в «Энциклопедическом словаре» Ф. А. Брокгауза и И. А. Ефрона (т. 33, СПб., 1901, стр. 461).

<sup>3</sup> Е. Д. Кисляковский. М. А. Толстомятов. Биографический очерк. В кн.: М. А. Толстомятов. К вопросу о кристаллогенезисе (криптопирамида). Пгр., 1916, стр. 9—10.

ства М. А. Толстопятова не могло не влиять и отношение к нему официальных научных кругов того времени. Полное их равнодушие к разрабатывавшейся им тематике, отсутствие каких бы то ни было откликов на нее, непонимание подмеченных им явлений — все это, очевидно, не располагало М. А. Толстопятова к публикации своих исследований. В результате, кроме двух вышеупомя-



М. А. Толстопятов (1836—1890).

нутых диссертаций, почти все остальные его труды, напечатанные через много лет после его смерти, представляют отрывки и незаконченные черновые материалы, иногда с трудом поддающиеся расшифровке.

Перейдем к разбору отдельных работ ученого.

Магистерская диссертация М. А. Толстопятова носит название «О причинах гетероморфизма углекислой извести». В ней критически пересмотрены выводы Г. Розе, относящиеся к полиморфным модификациям углекислой извести — кальциту и арагониту, а также к условиям их образования и перехода друг в друга.

Как известно, Г. Розе сперва считал, что из горячих растворов образуется арагонит (например, в накипях горячих источников), а из холодных — кристаллизуется кальцит (например, в сталактитах). Однако впоследствии ему пришлось убедиться в том, что арагонит также входит в состав сталактитов и многих раковин, образовавшихся явно при низких температурах. В результате Г. Розе пришел к следующим заключениям: из горячих концентрированных и холодных разбавленных растворов образуется арагонит, во всех остальных случаях кристаллизуется известковый шпат или мел.

М. А. Толстопятов решил критически пересмотреть данные Г. Розе, повторить его опыты и выяснить ряд не решенных им вопросов. По этому поводу в своей диссертации он писал: «Читая эти мемуары, я заметил некоторые противоречия между изложенными в них фактами и теми выводами, которые на них основаны. Повторяя те же самые работы, я получил результаты, не всегда согласные с теми, которые получал Розе при тех же, по-видимому, условиях. Это побудило меня усомниться в безусловной точности выводов, предложенных этим почтенным экспериментатором относительно причин гетероморфизма углекислой извести, и навело на мысль, что, кроме температуры и степени концентрации, в деле гетероморфизма участвуют еще некоторые деятели».<sup>4</sup>

Основные задачи, поставленные М. А. Толстопятовым в его диссертации, сформулированы в следующих словах: «Цель настоящего труда — ближе познакомить с видоизменениями форм углекислой извести во всех ее гетероморфных состояниях, указать на их метаморфические переходы, определить значение температуры, концентрации и других участников в деле гетероморфизма названного соединения и критически разобрать некоторые из главных выводов, сделанных Розе относительно этого предмета».<sup>5</sup>

Свои задачи М. А. Толстопятов ограничил программой изучения кристаллизации углекислой извести из двууглекислых ее растворов и при осаждении хлористого кальция углекислыми щелочами.

Относительно трудностей, которые ему пришлось преодолеть при разрешении этих задач, он писал следующее: «Я должен был каждый опыт повторять по нескольку раз, по возможности видоизменяя его и окружая кристаллизационный раствор новыми

---

<sup>4</sup> М. А. Толстопятов. О причинах гетероморфизма углекислой извести. М., 1876, стр. 5.

<sup>5</sup> Там же, стр. 5.

и новыми условиями, проследить при этом малейшие оттенки в изменениях форм и связать их с обстоятельствами, которые сначала кажутся ничтожными, но потом, при более близком с ними знакомстве, получают особенную важность».<sup>6</sup>

Проводя опыты, М. А. Толстопятов все время стремился в них воспроизвести природные уловия: «Выводы, касающиеся условий образования искусственно приготовленных минералов, должны простирались и на тождественные с ними естественные минералы. Поэтому результаты подобных наблюдений должны подвергаться самой строгой критической оценке».<sup>7</sup>

Само собой разумеется, что эти мысли, сохранившие свое значение и сейчас и лежащие в основе современной экспериментальной минералогии, для того времени были чрезвычайно интересными и значительными.

Наблюдая за кристаллизацией углекислого кальция, М. А. Толстопятов обратил внимание на мгновенное выделение вещества из раствора. Получая при различных условиях опыта осадки углекислого кальция и тщательно изучая их под микроскопом, он пришел к выводу, что формы, которые принимает углекислая известь при ее выделении в виде кальцита и арагонита, весьма несовершенны, а поэтому перед ним возник вопрос: «если несовершенны эти формы, то устойчиво ли в них кристаллическое равновесие?». «Не трудно убедиться, — писал он, — что гетероморфные состояния углекислой извести при моментальном образовании никогда не обладают устойчивым молекулярным равновесием и способны к самым разнообразным метаморфозам».<sup>8</sup>

Далее он приходит к выводу, что под влиянием щелочного раствора кальцит и арагонит переходят в мел. Углекислая известь в присутствии щелочей сперва образуется в виде кальцита, арагонита и мела. Но, очевидно, в арагоните и известковом шпате «равновесие молекул крайне неустойчиво», в результате чего вещества являются временными, переходными и с течением времени превращаются в мел. Этот вывод М. А. Толстопятов относит и к природным образованиям: «Образование арагонита и известкового шпата в природе при участии щелочей допущено быть не может».<sup>9</sup>

Просматривая осадок мела, находившийся в течение трех недель в растворе двууглекислой извести, М. А. Толстопятов убедился в том, что он значительно изменился и перешел частично в кристаллики кальцита. В осадке, который находился в закрытом сосуде с водяными парами и угольной кислотой, через четыре недели были найдены мелкие ромбические призмы арагонита.

---

<sup>6</sup> Там же.

<sup>7</sup> Там же.

<sup>8</sup> Там же, стр. 51.

<sup>9</sup> Там же.

Все это говорит о том, что при указанных условиях совершалась перегруппировка частиц в кристаллах. «Нет сомнения, — справедливо замечает М. А. Толстопятов, — что подобные молекулярные перемещения совершаются и в естественных условиях».<sup>10</sup>

«При помощи замеченных мной метаморфических превращений мела в арагонит и известковый шпат нельзя ли объяснить образование мраморов, крупнозернистых известняков, пизолитов?», — задает вопрос М. А. Толстопятов. Далее высказывается предположение, согласно которому мраморы могли образоваться из мела «путем метаморфического молекулярного перемещения без участия плутонических деятелей».<sup>11</sup> Такой же способ образования приписывается сталактитам и пизолитам: «Происхождение мраморов еще можно объяснить различного рода геологическими процессами, образование же сталактитов и пизолитов не может быть истолковано иначе, как молекулярным подбором, который совершался при участии угольной кислоты и водяных паров».<sup>12</sup>

Полученные результаты М. А. Толстопятов резюмирует следующим образом: «Итак, вещество, помимо свободной кристаллизации из растворов, может слагаться в столь же правильные кристаллы путем медленного молекулярного подбора».<sup>13</sup> Такой вывод звучит почти по-современному. Достаточно в этом отношении вспомнить высказывания нынешних минералогов о значении перекристаллизации при формировании минеральных месторождений.

Не менее существенный интерес представляет установление М. А. Толстопятовым влияния количественного отношения взятых растворов на характер кристаллического осадка. Особенно подчеркивается им то, что это влияние «до некоторой степени парализует влияние температуры». Вместе с тем им было обнаружено, что вопреки утверждению Г. Розе образование арагонита при высокой температуре требует не концентрированных, а, наоборот, сильно разбавленных растворов. Так как при обыкновенной температуре арагонит выделяется также из разбавленных растворов, то напрашивается вывод, что температура или не влияет, или влияет лишь незначительно на полиморфные видоизменения углекислой извести.

Далее им было замечено, что углекислая известь, выделяясь из углекислых растворов, претерпевает ряд метаморфоз, начиная от мела и кончая известковым шпатом и арагонитом (в отличие от осадка, полученного из хлористого кальция, который также метаморфизуется, переходя в мел).

Очень интересны наблюдения М. А. Толстопятова над образованием кристаллов углекислого кальция на поверхности и внутри

---

<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> Там же.

<sup>12</sup> Там же.

<sup>13</sup> Там же.

раствора двууглекислой извести. На поверхности раствора образуются устойчивые кристаллы арагонита, тогда как внутри раствора мел превращается в известковый спат (рис. 34).

Приведенный разбор первой диссертации М. А. Толстопятова показывает, что им была проведена большая экспериментальная работа, в результате которой ученый пришел к ряду интересных кристаллогенетических выводов и открыл ряд явлений, поколебавших схематические представления Г. Розе. Поэтому нельзя согласиться с характеристикой М. А. Толстопятова, данной акад. В. И. Вернадским в книге «Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги»: «Обе диссертации М. А. Толстопятова, натуралиста с натурфилософским уклоном, посвящены были кристаллографии, но представляли сводку литературных данных и не являлись научным исследованием. Сводка сделана для того времени добросовестно и широко».<sup>14</sup>

Как показано выше, магистерская диссертация М. А. Толстопятова является вполне самостоятельным научным трудом с широко проведенными экспериментальными исследованиями и оригинальными выводами, основанными на собственных опытных данных.

Его докторская диссертация «Общие задачи учения о кристаллогенезисе» (1869 г.), как показывает само ее название, целиком посвящена вопросам образования кристаллов. В предисловии автор формулирует цели своей работы: «Прежде всего мы должны взять целый кристалл, как он есть, и проследить все его видоизменения, преимущественно обращая внимание на те стадии развития, которые предшествуют его полному обособлению. . . Идя шаг за шагом, мы здесь постепенно раскрываем осложнение кристалла, начиная с крупных, более выдающихся его частей, и достигая наконец первичных элементов архитектуры кристалла, в связи с проявлением творческой способности, их группирующей».<sup>15</sup>

Главную задачу кристаллогенезиса М. А. Толстопятов видит в том, чтобы «найти связь между формой кристалла и его внутренним строением, показать отношение между строением и распределением пропагационных направлений (т. е. направлений роста, — *И. Ш.*) кристаллообразовательной деятельности, определить в кристалле условия молекулярного равновесия и привести все это в согласие с химическим составом минерала».<sup>16</sup> Нельзя не заметить, что в приведенных словах мы находим широкую формулировку учения о кристаллогенезисе. Если к этому

---

<sup>14</sup> В. И. Вернадский и С. М. Курбатов. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. Объединен. научно-техн. изд., М.—Л., 1937, стр. 28.

<sup>15</sup> М. А. Толстопятов. Общие задачи учения о кристаллогенезисе. М., 1869, стр. 5.

<sup>16</sup> Там же.



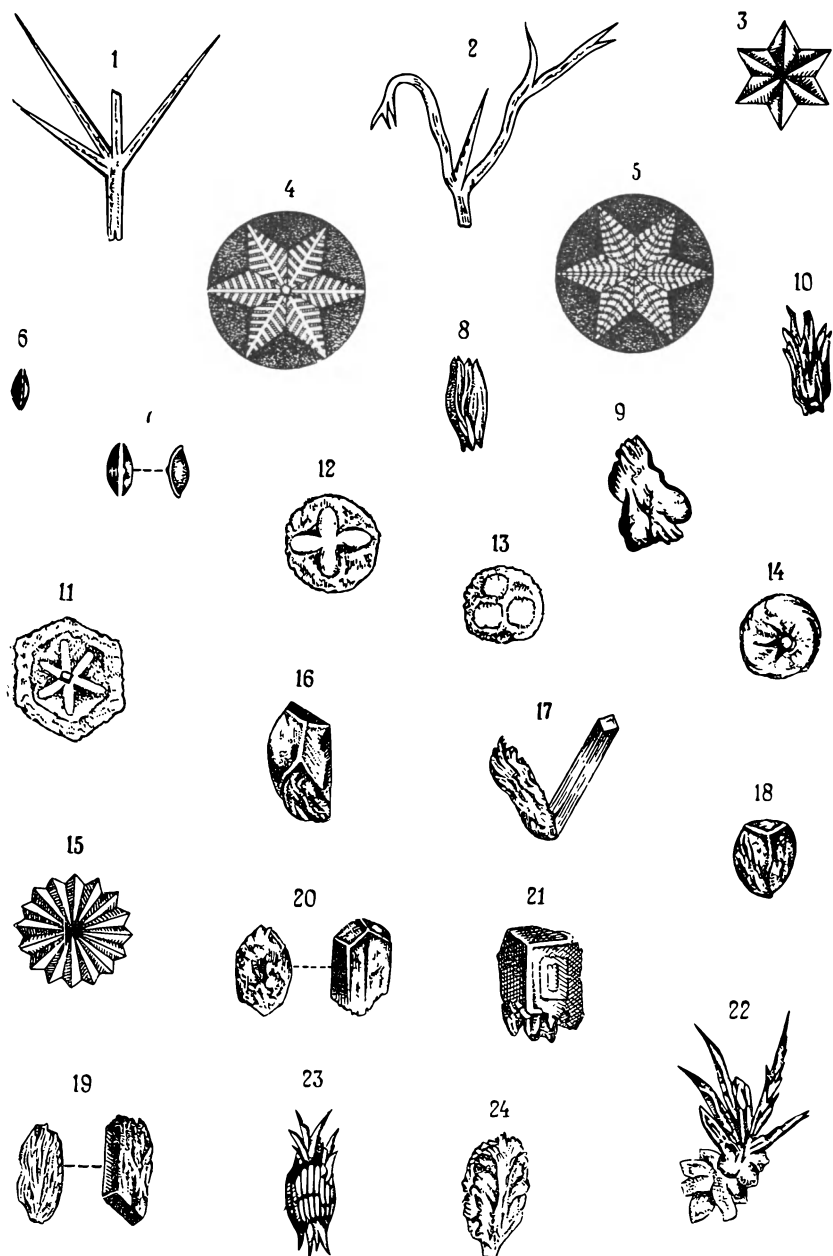


Рис. 31. Таблица, приложенная к диссертации М. А. Толстопятова «О причинах гетероморфизма углекислой извести».

еще добавить учет воздействия внешней среды на кристалл, то программу М. А. Толстопятова можно было бы признать приемлемой и сейчас.

Далее приводится и более развернутая характеристика диссертации, данная самим ученым: «В первой главе я останавливаюсь на основном положении Гаюи относительно увеличения массы кристалла *per juxtapositione* (т. е. путем наложения, — *И. Ш.*) и в опровержение его привожу факты, раскрывающие в высшей степени сложное, иногда запутанное строение кристалла, по наружности простого. Одни из этих сложных образований представляют двойниковые срастания, замаскированные наружностью простого кристалла, другие же являются результатом метаморфического изменения составляющей их материи.

«Каждый из этих последних есть система двух или нескольких кристаллов, как бы вставленных друг в друга, причем масса внутреннего кристалла образует ядро, масса внешних — оболочки. Затем я указываю, насколько наружность недоразвившихся кристаллов способствует разъяснению внутренней их архитектуры, и, наконец, рассматриваю в кристалле группировку микроскопически малых частиц, которые в пределе могут быть приняты за молекулы. Такое исследование архитектуры кристалла, по моему мнению, еще более подтверждает тесную связь между морфологическими и физическими признаками минерала».<sup>17</sup>

Очень характерна для М. А. Толстопятова следующая фраза, показывающая, каким путем предполагал он подойти к решению поставленных им задач: «При решении этих задач я предпочитал постоянно оставаться на почве наблюдения и опыта, оставляя в стороне теоретические предположения, имеющие целью оправдание предвзятых идей».<sup>18</sup>

К сожалению, вопреки этим словам и в отличие от магистерской диссертации, докторская диссертация М. А. Толстопятова не содержит результатов собственных опытов. Материалом для нее послужили критически разобранные наблюдения других авторов. Вместе с тем, однако, надо подчеркнуть стремление М. А. Толстопятова базироваться исключительно на опытных данных. Тем самым приведенная выше характеристика В. И. Вернадского, представляющая М. А. Толстопятова как «натуралиста с натурфилософским уклоном», требует существенных оговорок.

Первая глава диссертации носит название «Строение кристаллов». Открывается она интересным обзором литературы о строении кристаллов. В ней М. А. Толстопятов выступает против слишком упрощенного учения Р. Ж. Гаюи, рассматривающего кристалл как однородное тело, полученное путем наложения новых слоев молекул: «Гаюи, увлеченный непогрешимой точностью математи-

---

<sup>17</sup> Там же, стр. 5—6.

<sup>18</sup> Там же, стр. 6.

ческого анализа, введенного им в кристаллографию, построил понятие об идеальном кристалле, который заменил ему естественный кристалл».<sup>19</sup> В противоположность идеализации Р. Ж. Гаюи М. А. Толстопятов дает понятие о реальном кристалле: «Тождество частей в кристалле должно быть, но не всегда оно бывает. Причинами этому служат, во-первых, то, что кристалл как организованное тело с изменением условий должен изменять свою организацию в различные моменты своего развития, ведя за собой различного рода осложнения; во-вторых же, это осложнение начинается иногда в самом, так сказать, зародыше кристалла, а именно, когда два или несколько кристаллов микроскопически малых, или даже молекул, срастаются в одно целое с характером простого кристалла».<sup>20</sup>

В качестве иллюстрации ученый приводит факты, показывающие, как простые по виду кристаллы на самом деле имеют сложное, а иногда и весьма запутанное строение. В некоторых случаях такие образования представляют собой двойниковые сращения, как бы замаскированные под простые формы; иногда здесь имеют место продукты метаморфического изменения слагающего вещества. Каждый такой сложный кристалл «есть система двух или нескольких кристаллов, как бы вставленных друг в друга, причем масса внутреннего кристалла образует ядро, масса внешних — оболочки».<sup>21</sup>

Особенно значительны высказывания ученого относительно важности изучения морфологии недоразвившихся кристаллов с целью разъяснения их внутренней архитектуры. Именно этим путем он надеялся дойти до изучения группировок микроскопически малых частиц, которые «в пределе могут быть приняты за молекулы».

В первой главе диссертации, кроме того, содержится ряд указаний относительно значения непостоянства и несовершенства формы и отдельных граней реальных кристаллов. Автор подчеркивает, что «кристалл в различных периодах своего развития может иметь различную наружность».<sup>22</sup>

Для обнаружения сложного внутреннего строения, по мнению М. А. Толстопятова, надо всматриваться в характер кристаллических граней, учитывая бороздчатость, углубления, бугорки и проч. Лучшим примером таких усложненных кристаллических образований служат кристаллы кварца.

В заключении первой главы подчеркивается связь между морфологическими и физическими свойствами минералов.

---

<sup>19</sup> Там же.

<sup>20</sup> Там же.

<sup>21</sup> Там же, стр. 5. Впоследствии это положение, как будет показано ниже, послужило М. А. Толстопятову основанием для исследований внутреннего строения кристаллов и поисков в них «криптопирамиды».

<sup>22</sup> Там же, стр. 6.

Вторая глава посвящена кристаллообразовательной деятельности. В ней особое внимание обращено на кристаллические скелеты. По мнению М. А. Толстопятова, рост кристаллов совершается не столько за счет наложения идеальных слоев, сколько за счет разрастания «брусковых систем», отвечающих кристаллическим скелетам. Рассматривая такие системы, он пришел к выводу, что кристаллы, одинаковые по своим внешним геометрическим очертаниям, могут иметь различное внутреннее строение. Тем самым кристаллические скелеты как бы позволяют заглянуть внутрь кристаллического строения и понять схему образования кристалла. Следует отметить, что эти мысли М. А. Толстопятова находят подтверждение и в современной литературе. Так, например, Г. Бакли пишет, что «дендритные формы роста часто, вероятно, могут быть исходными для образования нормальных кристаллов».<sup>23</sup>

Третья, завершающая глава носит название «Молекулярный подбор. Молекулярное равновесие. Молекулярные перемещения». В ней автор пытается вывести различного рода молекулярные равновесия в зависимости от симметрии кристалла. Особое значение при этом он придает «молекулярным перемещениям», т. е. перекристаллизации внутри уже образовавшихся кристаллов минерала, что перекликается с современными взглядами о поведении природных кристаллов.

В конце своей диссертации М. А. Толстопятов ставит смелый вопрос о том, какую форму должна иметь молекула, являющаяся общей для двух полиморфных модификаций одного и того же состава. Исходя из положения о наибольшей устойчивости модификаций с более высокой симметрией, он высказывает мысль, что такой же симметрией должна обладать и форма молекулы. Само собой разумеется, что эти высказывания представляют сейчас лишь исторический интерес.

Наиболее ценными являются две первые части диссертации, в которых М. А. Толстопятов выступает как один из основателей учения о реальном кристалле со всеми его усложнениями и несовершенствами. По всей вероятности, он сам рассматривал свою диссертацию как программу для будущих своих исследований. Из воспоминаний Е. Д. Кислаковского видно, с каким упорством М. А. Толстопятов вел такие исследования: «Когда, бывало, не придешь, всегда можно было застать его за микроскопом, гониометром или шлифовальным станком».<sup>24</sup> Результаты всех этих исследований, к сожалению, дошли до нас лишь частично и в далеко не завершенном виде.<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Г. Б а к л и. Рост кристаллов. Изд. иностр. лит., М., 1954, стр. 347.

<sup>24</sup> Е. Д. К и с л а к о в с к и й. М. А. Толстопятов. Биографический очерк, стр. 8.

<sup>25</sup> Микроскопическим исследованием внутренних несовершенств кристаллов занимался также современник М. А. Толстопятова московский минералог А. Ауэрбах. Интересна в этом отношении его статья «Наблюдения

Через шесть лет после смерти М. А. Толстопятова в «Записках Минералогического общества» была опубликована его статья, написанная по-французски, — «О включениях в топазах с Урала и из Саксонии».<sup>26</sup> В ней прежде всего описывается ориентировка кристалликов турмалина внутри топаза. Отмечается перпендикулярное расположение их удлинения относительно некоторых кристаллогенетических граней топаза. Далее автор останавливается на «антагонизме» между топазом и заключенным в нем турмалином, резко проявившемся в результате их совместного роста. Он улавливает следы «борьбы» обоих минералов, сохранившиеся в искаженных формах турмалина. Говоря современным научным языком, в статье описаны индукционные поверхности, обусловленные совместным ростом турмалина и топаза. М. А. Толстопятов отмечает характерную бороздчатость таких поверхностей, нередко переходящую в криволинейные образования. Все эти зорко подмеченные и наглядно изображенные на специальной таблице детали позволили автору сделать интересные заключения о чередующихся моментах преобладающего роста то одного, то другого минерала. В целом эта статья свидетельствует о тонкой наблюдательности М. А. Толстопятова и его удивительном внимании к трудно уловимым деталям кристаллогенезиса. В своей знаменитой монографии о пегматитах А. Е. Ферсман упоминает работу М. А. Толстопятова в качестве примера описания характерных индукционных поверхностей.<sup>27</sup>

Для своего времени эта статья выглядела не совсем обычно. Несмотря на старомодную терминологию, она во многом созвучна современным исследованиям по кристалломорфологии минералов, рассматриваемой в свете особенностей их генезиса.

В 1916 г., т. е. через двадцать шесть лет после смерти М. А. Толстопятова, вдова его издала брошюру под заглавием «К вопросу о кристаллогенезисе (криптопирамида)».<sup>28</sup> В предисловии к ней указывается, что научные записки, составляющие содержание брошюры, печатаются в том виде, в каком они остались после смерти ученого, не успевшего подготовить их к печати. Кроме краткого введения и нескольких вступительных параграфов, текст представляет описание отдельных образцов и препаратов, сопровождающееся в некоторых местах зарисовками. В этих черновых записях можно найти много интересных и характерных высказываний. Вот, например, одно из них: «Только кристаллы

---

над кристаллами топаза под микроскопом» (Зап. Минералог. общ., ч. 5, 1870, стр. 162).

<sup>26</sup> М. Т о л с т о п я т о в. Sur les inclusions dans les topazes de l'Oural et de la Saxe. Зап. СПб. минералог. общ., ч. 33, вып. 2, 1869, стр. 289—306. В 1916 г. эта статья была переиздана в виде отдельной брошюры.

<sup>27</sup> А. Е. Ф е р с м а н. Пегматиты, т. I. Изд. АН СССР, М.—Л., 1940, стр. 633.

<sup>28</sup> Французское издание этой брошюры вышло в свет в 1893 г.

вполне развитые, совершенные пользуются особенным расположением минералога. Благодаря блестящим плоскостям и полной прозрачности с особенной страстностью определяются двугранные углы и углы оптических осей до точности нескольких секунд. Более скромный минералог, повторяя измерения, этих цифр не находит и молчит перед авторитетом. В этом случае он не доверяет себе и не осмеливается публиковать свою работу, боясь показаться невеждой. Иногда и сам авторитет, повторяя несколько раз это же измерение, находит другие цифры, но всегда считает это за случайность, точно так же, как за случайность принимают стройные и постоянные для данного минерального вида группы, отмечая их довольно произвольными, далеко не научными названиями, как-то: сноповидные, гроздевидные, гребенчатые и тому подобные». <sup>29</sup>

Приведенные строки содержат, как мы видим, явный выпад против официальной школы того времени — школы Н. И. Кокшарова и П. В. Еремеева. В противоположность им М. А. Толстопятов стремился сосредоточить свое внимание на усложнениях, «патологиях» кристаллических образований. Особенно характерно для него звучат следующие вопросы: «Не слишком ли далеко зашло увлечение минералогов в приложениях математических принципов к излюбленной им науке? Справедливо ли отождествление кристаллической формы с геометрической моделью? Имеется ли основание малейшее отступление кристалла от геометрической формы — выпуклость плоскости — считать за уродство, тогда как тот же минералог часто выпуклости эти считает за результат кристаллообразования?». <sup>30</sup>

Сейчас нам ясно, что во многом М. А. Толстопятов ошибался. Учение об идеальном кристалле так же необходимо, как учение об идеальных газах и жидкостях в физике. Как известно, математическая теория строения идеальных кристаллов, разработанная гениальным Е. С. Федоровым, явилась основой для развившихся впоследствии разделов современной науки — рентгеноструктурного анализа кристаллов, структурной кристаллографии и кристаллохимии. Учение о формах идеально образованных кристаллов является азбукой учения о реальных кристаллических телах. Только хорошо усвоив эту азбуку, можно перейти к расшифровке как отдельных конкретных кристаллов, так и кристаллических сростков. М. А. Толстопятов прав, однако, в том отношении, что современные ему ученые старались по возможности не замечать усложнений на реальных кристаллических образованиях, пытались отмахнуться от них и тем самым во многом абстрагировали и обедняли природные явления. Он был прав и

---

<sup>29</sup> М. А. Толстопятов. К вопросу о кристаллогенезисе (криптопирамида). Пгр., 1916, стр. 16—17.

<sup>30</sup> Там же, стр. 17.

тогда, когда упрекал своих современников в том, что они рассматривали кристалл как статичное, неподвижное, раз навсегда сформировавшееся тело. По свидетельству Е. Д. Кислаковского, «излюбленным для Михаила Александровича отделом минералогии был кристаллогенезис. Как последователь Гольгера, он не считал минерал за мертвое тело и не противопоставлял его живому организму; а кристаллообразовательный процесс был для него жизненным процессом третьего царства природы. Не увлекаясь тождеством жизненной силы и кристаллообразовательной деятельности, предложенным Эренбергом, он допускал аналогии между ними в смысле внутренней самодеятельности, направленной к образованию, обособлению и сохранению целостности неделимого, а также и к поддержанию вида. Все его труды были направлены к знакомству с ходом развития окристаллизованной минеральной особи и разъяснению кажущихся аномалий в кристаллах».<sup>31</sup>

В этой цитате, как нам кажется, особенно ярко освещены и положительные, и отрицательные особенности творчества М. А. Толстопятова. Большую ценность представляет его интерес к динамике кристаллов — к их образованию и росту. С этой точки зрения до сих пор не утратили своего значения наблюдения М. А. Толстопятова над кристаллическими объектами. Однако слишком широкая трактовка аналогии между живыми организмами и кристаллами иногда приводила его к неясностям и туманным обобщениям натурфилософского характера (как мы видели, именно в этом упрекал его и В. И. Вернадский). Взгляды М. А. Толстопятова отразились и на его терминологии («антагонизм» между топазом и турмалином, «борьба» между ними и т. п.). Однако нельзя придавать слишком большого значения этой особенности творчества М. А. Толстопятова. Как уже отмечалось, во всех трудах он прежде всего исходил из опытных данных, как своих, так и других ученых.

С этой же точки зрения представляют интерес сохранившиеся после М. А. Толстопятова описания препаратов и кристаллических образцов, опубликованные в брошюре «К вопросу о кристаллогенезисе (криптопирамида)». Из этих описаний видно, что ученый детально исследовал разрезы кристаллов, в которых различал первоначальное ядро («криптопирамиду») и позднейшие оболочки. Судя по приложенным рисункам, «криптопирамиды» М. А. Толстопятова соответствуют пирамидам роста кристаллов, привлечшим внимание ученых лишь значительно позднее (рис. 32). Напомним, что Ф. Бекке, общепризнанный первооткрыватель пирамид роста в кристаллах, опубликовал свою первую статью о них в 1894 г., т. е. через четыре года после смерти М. А. Толсто-

---

<sup>31</sup> Е. Д. Кислаковский. М. А. Толстопятов. Биографический очерк, стр. 8—9.

пятова.<sup>32</sup> Некоторые зарисовки последнего в брошюре о кристаллогенезисе заслуживают внимания и в наши дни. Так, например, в недавно вышедшем исследовании Г. Л. Вазбуцкого о скульптуре поверхностей кристаллов берилла упоминается сделанное М. А. Толстопятовым изображение «весьма нежного, но явственного узора» на пинакоидальной грани берилла.<sup>33</sup>

В 1917 г. увидела свет еще одна работа М. А. Толстопятова — «Особенности оптических фигур в кристаллах эпидота и пушкinita». В ней приводятся опять-таки черновые описания препаратов эпидота и пушкinita, на которых изучались характерные оптические явления, известные в литературе под названием «хохолков» или «пучков».<sup>34</sup> По словам самого ученого, «эпоптические явления суть явления в высшей степени деликатные, и наблюдение их требует особенной осторожности и внимания ко всем условиям, среди которых они проявляются».<sup>35</sup>

Черновые записи М. А. Толстопятова свидетельствуют об его интересе к сложным, трудно улавливаемым кристаллооптическим явлениям, связанным с запутанным и неправильным внутренним сложением минералов. Говоря об этих записях, нельзя не вспомнить следующие слова Е. Д. Кислаковского: «Все его труды были направлены к знакомству с ходом развития окристаллизованной минеральной особи и разъяснению кажущихся аномалий в кристалле. Заветной же его мечтой было дожить до того времени, когда по отношению осей упругости эфира и характеру дисперсии биссектрис или же только оптических осей минералог будет в силах вычислить все свойства минерала, хотя бы минерал и не был ему известен».<sup>36</sup>

К сожалению, имеющиеся в позднейшей литературе упоминания о М. А. Толстопятове, за исключением статьи Е. Д. Кислаковского, дают неправильное представление о его личности и творчестве. В 1913 г. на страницах журнала «Вестник Европы»

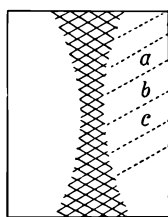
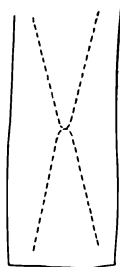


Рис. 32. «Криптопирамиды» по М. А. Толстопятову.

<sup>32</sup> F. Becke. Der Aufbau der Kristalle aus Anwachskegeln. Jahrb. f. Naturwiss., «Lotos», 1894, Bd. 14 (42), стр. 1—12.

<sup>33</sup> Г. Л. Вазбуцкий. Скульптура поверхности кристаллов берилла. Сб. «Кристаллография», вып. 5, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1956, стр. 70.

<sup>34</sup> Подобное описание и истолкование этих явлений имеется в «Физической кристаллографии» П. Грота (СПб., 1897).

<sup>35</sup> М. А. Толстопятов. Особенности оптических фигур в кристаллах эпидота и пушкinita. Пгр., 1917, стр. 9.

<sup>36</sup> Е. Д. Кислаковский. М. А. Толстопятов. Биографический очерк, стр. 9.



появились «Школьные воспоминания» Г. Н. Вырубова (1843—1913), известного кристаллографа и философа-позитивиста, профессора Сорбонны. Описывая своих учителей — профессоров Московского университета — Г. Н. Вырубов дает резкие, незаслуженно отрицательные характеристики их деятельности. Так, вспоминая о М. А. Толстопятове, он пишет: «Он преподавал в продолжение двадцати пяти лет и умер, ничему не научившись и ничего не сделав».<sup>37</sup> Далее идет юмористический рассказ о неудачной попытке мемуариста измерить на гониометре кристалл под руководством М. А. Толстопятова. Уничтожающей критике подвергается посмертная брошюра ученого «К вопросу о кристаллогенезисе»: «Прежде я знал, что он ничего не сделал; прочитав эту злосчастную брошюру, я убедился, что он ничего и не мог сделать».<sup>38</sup>

Чем объясняется резко отрицательное отношение Г. Н. Вырубова к М. А. Толстопятову? Думается, что оно вызвано прежде всего совершенно различной направленностью интересов обоих ученых. Г. Н. Вырубов был крупным специалистом по определению кристаллографических констант (геометрических и оптических). Описанию методики определения таких констант посвящен его основной труд «Manuel pratique de cristallographie» (1889 г.). Излюбленной областью его занятий была кристаллохимия: изоморфизм, полиморфизм, изменения кристаллической формы в зависимости от состава — вот круг теоретических вопросов, которыми он занимался. При этом изучавшиеся им объекты принадлежали почти исключительно к искусственным соединениям. Кристаллы минералов и их природный генезис мало интересовали его. На отрицательное отношение Г. Н. Вырубова к М. А. Толстопятову несомненно оказал влияние также инцидент, имевший место в Московском университете с его диссертацией: «Минералог Толстопятов нашел, что ее химический характер выходит из его компетенции, а химик Лясковский, что она написана на минералогический, ему неподведомственный сюжет».<sup>39</sup> В связи с этим Г. Н. Вырубов уехал защищать свою работу в Париж, где и оставался до конца жизни.

Не совсем справедливой является, как мы видели выше, и характеристика М. А. Толстопятова, данная акад. В. И. Вернадским. Сходная характеристика повторяется и в другом месте книги последнего: «В Московском университете до меня долго занимал кафедру М. А. Толстопятов (с 1868 г.), научно не работавший, палеонтолог по подготовке, первый после Г. Е. Шуровского профессор минералогии. Минералогии на уровне науки того

---

<sup>37</sup> Г. Н. В ы р у б о в. Школьные воспоминания. Вестн. Европы, 1913, № 1—2, стр. 13.

<sup>38</sup> Там же, стр. 14.

<sup>39</sup> Там же, стр. 40.

времени в Московском университете, можно сказать, не было». <sup>40</sup> В примечании к этой характеристике В. И. Вернадский, говоря о диссертации М. А. Толстопятова, однако, добавляет: «Сводка сделана для того времени добросовестно и широко. Он был любителем минералов, оставил хорошую коллекцию, считался блестящим лектором. После его смерти изданы были его наблюдения над морфологией бериллов». <sup>41</sup>

Думается, что после приведенного выше разбора основных трудов М. А. Толстопятова нет надобности опровергать глубоко несправедливую характеристику ученого, данную Г. Н. Вырубовым, и указывать на неполноту оценки, высказанной В. И. Вернадским.

За исключением двух диссертаций, труды, оставшиеся после смерти М. А. Толстопятова, представляют собой незавершенные отрывки. Однако они свидетельствуют о его глубоком интересе к сложнейшим деталям кристаллообразования, привлекающим особое внимание и сейчас. Открытые им «криптопирамиды» и индукционные явления на включениях турмалина свидетельствуют об острой наблюдательности ученого. Сохранившиеся после него собственноручно изготовленные им препараты представляют ценность и в настоящее время.

Подводя итоги сказанному, можно заключить, что в лице М. А. Толстопятова мы видим одного из ранних предшественников современных нам исследователей-кристаллографов, занимающихся проблемами кристаллогенезиса и сложения реальных кристаллических тел. Скромное имя этого ученого должно занять заслуженное место в истории науки о кристаллах.

---

<sup>40</sup> В. И. Вернадский и С. М. Курбатов. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги, стр. 28.

<sup>41</sup> Там же.

#### XIV. М. В. ЕРОФЕЕВ И А. Н. КАРНОЖИЦКИЙ. ТЕОРИЯ «СКУЧИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ»

Почти одновременно с М. А. Толстопятовым сходное кристаллографическое направление развивали в Петербургском университете М. В. Ерофеев и его младший последователь А. Н. Карножицкий. Интересы этих двух ученых были всецело направлены на изучение усложненных форм природных кристаллических образований.

Именно в связи с этим В. А. Франк-Каменецкий в обстоятельной статье, посвященной М. В. Ерофееву и А. Н. Карножицкому, называл их «основоположниками учения о реальном кристалле». Он писал: «Оба эти ученые — первые крупные кристаллографы Петербургского университета — еще во второй половине прошлого века своими работами по изучению несовершенств в строении кристаллов наметили направление, которое успешно развивается в наше время».<sup>1</sup>

Биография М. В. Ерофеева, к сожалению, очень скупо освещена в имеющейся литературе. По сути дела, нам известен лишь послужной его список, многие детали которого остаются до сих пор совершенно невыясненными. Только недавно в упомянутой выше статье В. А. Франк-Каменецкий несколько дополнил этот сухой список сведениями, почерпнутыми из заграничных отчетов М. В. Ерофеева, случайно сохранившихся в Архиве Академии наук.<sup>2</sup>

Михаил Васильевич Ерофеев родился в 1839 г. в Петербурге. В 1858 г. он стал студентом физико-математического факультета Петербургского университета. Его учителем в области минералогии был проф. П. А. Пузыревский (1831—1871), автор нескольких минералогических и геологических работ, частично затрагивавших и кристаллографию минералов («Исследования некоторых русских апатитов», 1862 г., и др.). Судя по тому, что среди учеников П. А. Пузыревского был ряд прославившихся впоследствии ученых — В. В. Докучаев, А. А. Иностранцев, М. В. Ерофеев и др., этот рано умерший профессор был незаурядным педагогом,

<sup>1</sup> В. А. Франк-Каменецкий. Основоволожники учения о реальном кристалле. Вестн. Ленингр. гос. ун-в., 1954, № 1, стр. 156.

<sup>2</sup> Архив АН СССР, Л., ф. 196, оп. 2, № 16, архив Е. О. Романовского.

умевшим глубоко увлечь студентов своим предметом. О его доброжелательном отношении к учащимся и стремлении развивать в них интерес к минералогии свидетельствует следующая характерная запись самого М. В. Ерофеева: «В свободное от занятий время я (тогда студент университета) ходил в Минералогиче-



М. В. Ерофеев (1839—1889).

ческий музей Горного института и там через стекла рассматривал минералы. П. А. [Пузыревский], который в то время читал курс минералогии в Горном институте за временным отсутствием тамошнего профессора минералогии П. В. Еремеева, встретил в музее меня и предложил свои советы и свою коллекцию минералов для моих занятий минералогией. „Так как, — сказал П. А., — полезнее при занятиях минералогией держать в руках неказистый экземпляр какого-либо минерала, чем видеть через стекло

хотя бы и великолепный его экземпляр“».<sup>3</sup> Характеризуя своего учителя, М. В. Ерофеев отмечает преимущественно химическое направление его минералогических исследований: «П. А. Пузыревский, как ученик Фрейбергской Академии и притом того времени, когда была жива в ней память о Платнере, возвратившись в Петербург, занялся не кристаллографическими исследованиями минералов, а химическим анализом их».<sup>4</sup>

В отличие от своего учителя М. В. Ерофеев всецело посвятил себя кристаллографии минералов. В 1863 г. он закончил университет и был оставлен в нем для подготовки к профессорской деятельности. В 1864 г. М. В. Ерофеев был назначен консерватором Минералогического кабинета в Петербургском университете, а в 1865 г. командирован «с ученой целью» на два года за границу. Об этом периоде его жизни сохранились сведения в отчетах, посылавшихся юным кристаллографом из-за границы в университет.<sup>5</sup>

Приведем отрывок из статьи В. А. Франк-Каменецкого, подробно изучавшего эти документы и изложившего вкратце их содержание: «Из этих писем видно, что молодой ученый больше всего интересуется методикой точного исследования кристаллических тел, производит химические анализы минералов в Тюбингенском университете (Германия), excursionирует по Швейцарии, изучает в Париже методы искусственного получения минералов у Добрэ, Девилля, Фреми. Он отмечает в одном из писем, что „остальное время я посвящал занятиям с поляризационным микроскопом и получил навыки в шлифовани“. Летом 1866 г. М. В. Ерофеев отправляется вместе с известным французским минералогом Добрэ на экскурсию в Вогеzy, а потом изучает богатейшее собрание минералов в Британском музее в Лондоне. Поздней осенью того же года Ерофеев проводит ряд экскурсий по югу Франции и Италии, осматривает потухшие вулканы Оверни, серпентиниты северной Италии, вулканы южной Италии и др. Последний семестр своей жизни за границей М. В. Ерофеев проводит в Вене, где подробно изучает кристаллооптику в физическом кабинете у профессоров Ланга и Шрауфа, а также производит на однокружном отражательном гониометре ряд точнейших измерений кристаллов разной симметрии».<sup>6</sup>

С 1867 г. М. В. Ерофеев, возвратившись на родину, преподавал в Петербургском университете и работал над своей знаменитой диссертацией «Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов» (1871 г.). В 1870 г. он с успе-

---

<sup>3</sup> Из неопубликованной биографии П. А. Пузыревского, написанной М. В. Ерофеевым. См.: Архив АН СССР, Л., ф. 196, оп. 2, № 16.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> В. А. Франк-Каменецкий. Основоположники учения о реальном кристалле, стр. 158.

хом защитил эту диссертацию, получил степень магистра и стал доцентом кафедры минералогии и геогнозии в Новороссийском (ныне Одесском) университете, открывшемся за пять лет до этого. Здесь он фактически был первым преподавателем геологии и минералогии, возглавившим объединенную кафедру этих дисциплин и организовавшим существующий и ныне минералогический музей при этой кафедре.

В Одессе М. В. Ерофеев работал лишь первое полугодие 1871 г. В июне 1871 г. умер П. А. Пузыревский и М. В. Ерофеев был приглашен на его место в качестве доцента кафедры минералогии Петербургского университета. В течение ряда лет им велись курсы кристаллографии и минералогии, нашедшие свое отражение в литографированном издании «Общий курс кристаллографии, читанный профессором Петербургского университета М. В. Ерофеевым» (1878 г.). Помимо этого, по его заданиям студенты старших курсов вели самостоятельные гониометрические и кристаллооптические исследования минералов и искусственных веществ. Из числа учеников М. В. Ерофеева, выполнивших под его руководством кандидатские диссертации, впоследствии стали специалистами-минералогами С. Ф. Глинка (1855—1933) и Е. О. Романовский (умер в 1918 г.). Последний, как известно, тщательно сохранил рукописи и документы о жизни своего учителя.

Особое внимание М. В. Ерофеев уделял организации минералогического музея при кафедре. По отзыву С. Ф. Глинки и И. А. Антипова, коллекция эта была составлена вполне научно и систематически, она характеризовалась «удачным подбором представителей возможно большого количества минеральных видов».<sup>7</sup> В 1889 г. университет приобрел также личную коллекцию минералов М. В. Ерофеева. По отзыву тех же авторов, эта коллекция в отличие от первой характеризовалась «богатством представителей некоторых отдельных минералов, например турмалинов, которыми он интересовался в частности».<sup>8</sup>

В настоящее время обе эти коллекции составляют основное ядро небольшого, но богатого прекрасными образцами музея кафедры минералогии Ленинградского университета. Замечательная коллекция турмалинов, собранная М. В. Ерофеевым, впоследствии неоднократно служила объектом для новых кристаллографических исследований этого интереснейшего минерала. В частности, именно ее образцы дали толчок к появлению серии работ А. Н. Карножицкого.

В Петербургском университете М. В. Ерофеев работал до 1897 г. В 1897 г. по не выясненным до сих пор мотивам он перевелся

---

<sup>7</sup> С. Ф. Г л и н к а и И. А. А н т и п о в. Отчет по разбору коллекции минералов П. В. Еремеева. Зап. Минералог. общ., ч. 38, 1900, Протоколы, стр. 10—16.

<sup>8</sup> Там же, стр. 10.

в Варшавский университет в качестве экстраординарного профессора минералогии. Однако эту должность он занимал всего в течение трех месяцев. В том же году он возвратился в Петербург, а в 1880 г., согласно прошению, был назначен доцентом минералогии и геогнозии Лёсного института, где и работал до конца своей жизни (1889 г.). Нам неизвестны причины ухода М. В. Ерофеева из Петербургского университета, где в 1880 г. в качестве профессора минералогии его сменил знаменитый создатель почвоведения В. В. Докучаев. В не опубликованной до сих пор автобиографической заметке В. И. Вернадского вкратце затрагивается обстоятельство, вызвавшее уход М. В. Ерофеева из университета: «Докучаев случайно попал на кафедру минералогии вместо Ерофеева. Это было печальное последствие интриг, столь частых в истории автономных университетов».<sup>9</sup>

В упоминавшейся выше статье С. Ф. Глинки и И. А. Антипова глухо упоминается о неизвестных нам тяжелых обстоятельствах в жизни ученого: «Михаил Васильевич не дожил до пятидесяти лет: в течение десяти последних лет он был оторван от всякой живой деятельности и получил случайную возможность перед самой смертью своей блестящей работой о новоурейском метеорите вновь показать, чего бы могла ожидать от него наука».<sup>10</sup> В последней фразе упоминается статья «Описание новоурейского метеорита», где М. В. Ерофеев в соавторстве с профессором-химиком П. А. Лачиновым указывает на присутствие мелких зерен алмаза в метеорите, упавшем в 1886 г. возле села Новые Уреи (Пензенская губерния). Это сообщение произвело в свое время огромное впечатление. Оно было опубликовано и на французском языке в «Известиях Парижской Академии» от имени обоих русских авторов и французского минералога Добрэ. Петербургская Академия наук присудила за это исследование М. В. Ерофееву и П. А. Лачинову Ломоносовскую премию. Об этом было объявлено на публичном годовом заседании Академии 10 января (29 декабря ст. ст.) 1889 г., однако за десять дней до этого, 1 января (19 декабря ст. ст.) 1889 г., М. В. Ерофеев скончался.

Труды М. В. Ерофеева по минералогии и кристаллографии немногочисленны. Полный их список, состоящий из 17 названий, приложен к статье В. А. Франк-Каменецкого.<sup>11</sup> Среди них перво-степенный интерес представляет обширная монография «Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов» (1871 г.).

<sup>9</sup> В. И. Вернадский. Для биографии акад. В. И. Вернадского как ученого. Рукопись. Архив АН СССР, Л., ф. 158.

<sup>10</sup> С. Ф. Глинка и И. А. Антипов. Отчет по разбору коллекции минералов П. В. Еремеева, стр. 16.

<sup>11</sup> В. А. Франк-Каменецкий. Основоположники учения о реальном кристалле, стр. 171—173.

Эта работа М. В. Ерофеева, занимающая особое место в истории кристаллографии, требует подробного рассмотрения и обсуждения. Текст ее подразделяется на введение и шесть больших глав. Введение открывается следующими характерными фразами: «В последнее время кристаллографии, а вместе с ней и минералогии, принесли наибольшую пользу те ученые, которые приложили истины, полученные оптикой, к изучению кристаллов всякого кристаллизованного вещества, будут ли это кристаллы, полученные искусственно, или найденные в природе. Действие или не действие вещества кристаллов на поляризованный свет, двойное лучепреломление, одна или две оптические оси, наконец дисперсия оптических осей их решают минералогу его основной вопрос — вопрос о кристаллографической системе кристаллов».<sup>12</sup>

Далее М. В. Ерофеев останавливается на тех трудностях, с которыми приходится встречаться при отнесении кристалла к той или иной кристаллографической системе (сингонии). Особенности затруднения вызывают отклонения углов между кристаллическими гранями от их идеальных величин. По этому поводу он пишет следующее: «Число равных одноименных углов кристаллов зависит от кристаллографической системы, к которой принадлежат кристаллы. Это свойство равенства одноименных углов кристаллов затемняется несовершенством плоскостей их. Несовершенство плоскостей обуславливает небольшие разности между величинами одноименных углов, хотя бы эти углы и принадлежали одному и тому же кристаллу. Будут ли все или только некоторые из одноименных углов кристаллов иметь различные величины, во всяком случае разности между ними могут быть настолько велики, что предположенные нами одноименные углы могут показаться не равными и, таким образом, дадут повод наблюдателю усомниться в верности предположенной системы кристаллов. Предположить, что эти разности зависят от погрешности инструментов, служащих для измерения углов, нельзя, потому что величина этих разностей значительно больше погрешности инструментов. Следовательно, остается или отнести кристаллы к другой кристаллографической системе, представляющей меньшую степень симметрии, или искать средства избежать вышеупомянутые ошибки».<sup>13</sup>

Далее М. В. Ерофеев отмечает, что гониометрические измерения здесь не могут помочь, несмотря на усовершенствование этих приборов, так как колебания в углах связаны с несовершенным строением самих кристаллов. В этом отношении существенную помощь оказывают детальные кристаллооптические исследования. Исторический ход исследования кристаллов параллельно с постепенным прогрессом методики исследования опи-

<sup>12</sup> М. В. Ерофеев. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов. Зап. Минералог. общ., ч. 6, 1871, стр. 81.

<sup>13</sup> Там же, стр. 82.



сывается М. В. Ерофеевым в следующих словах: «Для решения вопроса о кристаллографической системе таких кристаллов метод прямого измерения оказался недостаточным, нужен был другой метод, нужны были оптические исследования кристаллов и прежде всего поляризационным микроскопом. Таким образом, Волластонов гониометр поправил ошибки, которые были сделаны при измерении углов кристаллов прикладным гониометром, его ошибки увидали при измерении на Митчерлиховом гониометре; в свою очередь система кристаллов, плоскости которых не освещались Митчерлиховым гониометром, определилась поляризационным микроскопом».<sup>14</sup>

Как видим, М. В. Ерофеев здесь дает очень четкий, хотя и краткий, обзор постепенного развития методики исследования кристаллов, начиная от создания первого измерительного кристаллографического инструмента — прикладного гониометра Каранжо и кончая появлением самого нового прибора того времени — поляризационного микроскопа. Упоминание о последнем представляет существенный интерес.

Из истории кристаллооптики известно, что в 1828 г. В. Николь, лектор по естественной истории в Эдинбурге, сконструировал из исландского шпата специальную призму для получения поляризованного света, ныне носящую имя изобретателя («призма николя» или просто «николь»). В 1834—1836 гг. в Англии Тальбот построил первый поляризационный микроскоп с двумя призмами николя — поляризатором и анализатором. Этот прибор долгое время оставался практически неиспользованным. В 1858 г. появилось исследование английского ученого Г. К. Сорби (1826—1908), посвященное микроскопическим включениям в минералах и горных породах, исследованных с помощью поляризационного микроскопа. Работа Г. К. Сорби также долгое время оставалась незамеченной. Лишь после 1870 г., когда появилась работа о базальтах немецкого минералога и петрографа Ф. Циркеля (1838—1912), микроскопический метод исследования минералов и горных пород стал пользоваться широким распространением.<sup>15</sup> В России пионерами этого метода считаются А. А. Иностранцев, В. Блюмель и А. П. Карпинский.<sup>16</sup> По справедливому замечанию В. А. Франк-Каменецкого, к этим именам необходимо добавить и имя М. В. Ерофеева, горячо ратовавшего за широкое использование поляризационного микроскопа и производившего в те же годы микроскопические исследования турмалина.

Однако основная задача, поставленная М. В. Ерофеевым в его диссертации, касалась главным образом не оптических

---

<sup>14</sup> Там же, стр. 82—83.

<sup>15</sup> Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Введение в историю петрографии. Объединен. научно-техн. изд., М.—Л., 1936, стр. 10.

<sup>16</sup> Ф. Ю. Левинсон-Лессинг. Успехи петрографии в России. Изд. Геолог. комитета, Пгр., 1923, стр. 29.

свойств турмалинов, а отклонений их кристаллов от идеальных образований; для ее решения, помимо оптических исследований, требовались и тончайшие гониометрические измерения.

К главным несовершенствам кристаллических граней М. В. Ерофеев относил «друзообразность» и «полиэдрию». Напомним, что «друзообразными» назывались в то время такие грани, на которых наблюдается множество небольших, выступающих и параллельно ориентированных вершинок. «Полиэдрия» граней, открытая в 1862 г. итальянским минералогом А. Скакки, заключается в наличии на гранях кристаллов пирамидок или диэдров с очень тупыми углами (сейчас такие образования носят название «видиналей»). Природа этих образований до самого последнего времени оставалась, по сути дела, невыясненной. Поэтому совершенно правомерны те вопросы, которые задавал М. В. Ерофеев относительно полиэдрических пирамидок: «Невольно возбуждается вопрос: что это за формы? Есть ли это кристаллографические формы, не удовлетворяющие закону рациональности и простоты отношений показателей, следовательно исключающие этот закон из кристаллографии? Или, наконец, не будут ли это явления случайные?».<sup>17</sup>

На эти вопросы, поставленные таким образом, М. В. Ерофеев отвечал отрицательно. Не удовлетворяла его и теория А. Скакки, объясняющая образование полиэдрических пирамидок «правильным прогрессивным убыванием молекул, образующих кристаллы».<sup>18</sup>

По мнению М. В. Ерофеева, полиэдрия проще всего объясняется «не вполне параллельным срастанием и прорастанием неделимых кристаллов».<sup>19</sup> Вот что писал он по этому поводу: «Во всяком руководстве говорится, да и вряд ли это будет новостью для какого-либо минералога, если я скажу, что кристалл не представляет математически простого неделимого, а представляет сросток, кучу неделимых. Эти неделимые могут срастаться друг с другом, прорасти друг друга, сохраняя или не сохраняя параллельность своих кристаллографических осей, а следовательно, и плоскостей всех кристаллографических форм. Частный случай непараллельного срастания есть двойники, где одно неделимое кристаллов оборачивается относительно другого на  $180^\circ$  вокруг нормали к какой-нибудь существующей или кристаллографически возможной плоскости. Если возможно предположить этот правильный, установившийся в кристаллографии, законный вид срастания неделимых, то возможно предположить и другой, менее правильный, чем предыдущий, но все-таки представляющий некоторую закономерность. Таким образом, я могу

---

<sup>17</sup> М. В. Ерофеев. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов, стр. 84.

<sup>18</sup> Там же, стр. 85—86.

<sup>19</sup> Там же, стр. 86.

представить, что плоскость срастания неделимых кристалла есть плоскость известного и при том самого обыкновенного пояса их, величина же угла вращения не равна  $180^\circ$ , а очень мала. Неделимые кристалла, сросшиеся таким образом, имеют параллельными только те плоскости поясов, в которых они срослись; все остальные, как плоскости поясов, так и плоскости кристаллографических форм их, непараллельны. Таким образом, это непараллельное срастание неделимых составляет как бы двойниковое срастание малого угла, где двойниковая ось есть нормаль к плоскости пояса, в котором происходит срастание. Двойниковые углы, пока назову их так, происшедшие от этого непараллельного срастания двух неделимых кристалла и образованные одноименными плоскостями этих неделимых, при незначительности угла вращения неделимых очень тупы. Если один неделимый разовьется более другого и притом так, что обхватит собой только некоторые плоскости второго, то свободные плоскости последнего явятся на кристалле в виде новых кристаллографических плоскостей, и если срастание повторится во всех октантах или секстантах первого неделимого кристалла, то вследствие этого и образуются на некоторых плоскостях кристалла те пирамидки, которые составляют то, что называется полиэдрией». <sup>20</sup>

Далее М. В. Ерофеев останавливается на основной цели своего исследования: «В предлагаемом труде я и постараюсь, насколько возможно это сделать, указать на явление полиэдрии кристаллов турмалина и на изменяемость величин граничных углов их кристаллографических форм, обуславливаемую полиэдрией, и объяснить эту изменяемость вышеупомянутым непараллельным срастанием неделимых кристаллов». <sup>21</sup>

Нельзя не привести еще одного отрывка, в котором ученый говорит о применяемой им терминологии, а вместе с тем и об основных понятиях своей теории: «Чтобы избежать в последующем изложении моей работы повторения слов „непараллельное срастание неделимых кристаллов“, я предполагаю вместо них употреблять слово „скупивание“, так как в таком срастании участвуют не два, не три неделимых, а множество, куча. Я избегаю слова „полиэдрия“, потому что учение о полиэдрии несколько отличается от учения о скупивании: полиэдрия объясняется молекулярным строением кристаллов, а скупивание — строением неделимых кристаллов, доступных наблюдению. Полиэдрия представляется как бы особым свойством вещества кристаллов, скупивание же является необходимым несовершенством кристаллов как физических тел. Далее, плоскость, в которой происходило срастание неделимых кристаллов, назову плоскостью скупивания, нормаль к этой плоскости — осью скупивания».

---

<sup>20</sup> Там же, стр. 86—87.

<sup>21</sup> Там же, стр. 87.

в а н и я. Угол, который образуют две одноименные плоскости, принадлежащие двум неделимым кристаллов, подвергшимся скучиванию, назову *с к у ч е н н ы м у г л о м*. Если этот угол образован двумя плоскостями, которые при параллельности неделимых должны совпадать вместе, то я назову его *с к у ч е н н ы м у г л о м к а к о й - л и б о п л о с к о с т и*; если же он образован двумя плоскостями, из которых одна принадлежит одному неделимому, а другая — другому и которые при параллельности неделимых не совпадают друг с другом, а образуют угол соседних плоскостей, назову *с к у ч е н н ы м у г л о м с о с е д н и х, и л и п р и л е ж а щ и х, п л о с к о с т е й*. Чтобы обозначить угол, на который повернулся один неделимый относительно другого, я буду говорить: угол скучивания такого-то числа градусов в плоскости такого-то пояса  $[hkl]$ .<sup>22</sup>

Мы остановились особенно подробно на введении к работе М. В. Ерофеева, так как в нем детально сформулированы основные идеи его учения о скучивании. Остальные главы содержат лишь фактический материал, иллюстрирующий в основном это учение.

В первой главе монографии дается подробный историко-литературный обзор исследований по пирозлектричеству и электрической полярности турмалинов. Эти данные М. В. Ерофеев использует во второй главе при обсуждении вопроса о кристаллографической системе (сингонии) и ее подразделении (виде симметрии) для турмалина. В этой главе автор описывает результаты своих кристаллооптических исследований и отмечает одноосность турмалина (впоследствии А. Н. Карножицкий отметил, что это наблюдение М. В. Ерофеева далеко не всегда характерно для турмалинов, часто проявляющих аномальную двуосность). Далее приводится таблица всех кристаллографических форм, наблюдавшихся как им самим, так и другими исследователями на кристаллах турмалина. М. В. Ерофеев насчитывает всего 39 форм, из которых девять являются новыми формами, им самим открытыми. К последним относятся две тригональные пирамиды, называвшиеся в то время ромбоэдрами, —  $\{877\}$  и  $\{10.7.7\}$ , и семь дитригональных призм.<sup>23</sup> Приводя список форм, М. В. Ерофеев вместе с тем отмечает, что, кроме форм «простых, встречающихся на всяком кристалле», многие из форм его списка «очень сомнительны». На основании обсуждения оптических и электри-

<sup>22</sup> Там же. стр. 87—88.

<sup>23</sup> М. В. Ерофеев всюду в своем труде пользуется трехчленными символами Миллера. Для перехода от трехчленного символа  $(q_1q_2q_3)$  к четырехчленному  $(p_1p_2p_3p_4)$  существует следующая формула:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{q_1 - q_2}{q_2 - q_3} \cdot \frac{p_2}{p_3} = \frac{q_1 - q_2}{q_1 + q_2 + q_3}.$$

ческих свойств турмалина (наряду с особенностями развития его форм) он приходит к выводу о принадлежности формы данного минерала к 12-му случаю гексагональной системы по А. В. Гадолину. В «Выводе всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала» А. В. Гадолина этот случай называется «гемиморфией всех тетартоэдрией», причем отмечается, что «гемиморфия эта представителей в природе не имеет»;<sup>24</sup> по современной номенклатуре данный случай отвечает примитивному виду тригональной сингонии ( $L_3$ ).

Любопытно отметить, что М. В. Ерофеев в своем определении снизил истинную симметрию турмалина, принадлежащую, как известно, к тригонально-планальному виду симметрии ( $L_3\ 3P$ ; пространственная группа —  $C_{3v}^5$ ). Объясняется это, очевидно, повышенным вниманием ученого к отклонениям кристаллов от идеальных форм. Возможно также, что здесь сыграла известную роль новизна самих понятий о симметрии, к которым еще не успели привыкнуть минералоги.<sup>25</sup>

Третья глава содержит результаты многочисленных и очень точных измерений основных углов турмалина, производившихся с помощью однокружного отражательного гониометра Митчерлиха. Результаты измерений весьма подробно обсуждаются автором, причем особое внимание уделяется им влиянию скупивания кристаллов (рис. 33).

В итоге отмечается, что изменяемость основных углов турмалина не может служить основой для деления турмалинов на группы, «так как они зависят в первую очередь не от цветности кристаллов и типов месторождений, а от различных способов их скупивания. . . Кристаллы всех разновидностей турмалина имеют одну и ту же величину ребрового угла основного ромбоэдра (т. е. тригональной пирамиды, — *II. III.*)».<sup>26</sup> Однако величина эта, по мнению М. В. Ерофеева, маскируется частым наличием скупенных сростаний.

Выбрав на имевшихся образцах наиболее совершенные грани в числе 221, М. В. Ерофеев вычислил вероятнейшую величину основного угла по способу наименьших квадратов Лапласа. Эта величина, равная  $113^{\circ}56'56''$ , и принимается им за основную. Отсюда же вычисляется и отношение осей для кристаллов турмалина —  $0.448051 : 1 : 1 : 1$ . Полученные величины позволили М. В. Ерофееву приступить к детальному выяснению вопроса о скупивании неделимых турмалина. Этой проблеме целиком посвящена четвертая глава монографии.

<sup>24</sup> А. В. Г а д о л и н. Вывод всех кристаллографических систем и их подразделений из одного общего начала. Зап. Минералог. общ., ч. 4, 1867, стр. 150.

<sup>25</sup> Монография М. В. Ерофеева появилась через четыре года после публикации «Вывода» А. В. Гадолина в «Записках Минералогического общества».

<sup>26</sup> М. В. Е р о ф е е в. Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов, стр. 126.



В начале этой главы М. В. Ерофеев снова напоминает о том, что им подразумевается под понятием скучивания, а вместе с тем формулирует выводы из своей теории: «Основное положение понятия о скучивании есть то, что два неделимые срастаются в плоскости наиболее обыкновенного пояса. Выходя из этого положения, я должен допустить существование скучивания неделимых у турмалина, а следовательно, и у всех кристаллов, кристаллизующихся в гексагональной системе в плоскостях следующих поясов, как наиболее обыкновенных для гексагональной системы и встречающихся почти на каждом кристалле этой системы».<sup>27</sup> Ниже приводится полный список упомянутых поясов, подразделяющихся на пять отдельных случаев:

1-й	случай	. . . . .	[111],		
2-й	»	. . . . .	[011],	$\bar{1}01$ ,	$\bar{1}\bar{1}0$ ;
3-й	»	. . . . .	$\bar{1}\bar{1}2$ ,	$\bar{2}\bar{1}\bar{1}$ ,	$\bar{1}\bar{2}\bar{1}$ ;
4-й	»	. . . . .	[001],	[100],	[010];
5-й	»	. . . . .	[011],	[101],	[110].

На рис. 34 изображены эти пять случаев, причем кристаллы даны в виде сферических (т. е. гномостереографических) проекций.

На примерах отдельных измеренных кристаллов М. В. Ерофеев пытался доказать реальность предсказанных им законов. Однако он прекрасно сознавал всю трудность такой задачи и неоднократно оговаривал это в своей работе: «По сему случаю я и принял, что неделимые кристалла, вероятно, скучены не только в плоскости [111], но и в плоскости другого какого-либо пояса».<sup>28</sup> «Решить этот вопрос почти невозможно, — пишет он далее, — так как всякая скученная плоскость кристалла, возможная в смысле 4-го случая скучивания, может принадлежать неделимому, который был сначала скучен с другим каким-либо неделимым по 4-му случаю скучивания, но вследствие скучивания этого неделимого с третьим неделимым в плоскости пояса [111] он мог занять то место, которое занимает теперь».<sup>29</sup>

На трех тщательно разобранных им сложных образцах М. В. Ерофеев обнаружил скучивание, отвечающее первому и четвертому случаям. На вопрос о самом процессе образования скученных кристаллов ученый не дал ответа, сознательно ограничивая свою задачу лишь установлением самого факта существования скученных углов и нахождением их величин: «Вращались или не вращались неделимые кристалла, которых плоскости встречаются на кристалле, одно относительно другого, знать для меня неинтересно, знать же настоящее положение плоскостей этих недели-

<sup>27</sup> Там же, стр. 156.

<sup>28</sup> Там же, стр. 259.

<sup>29</sup> Там же, стр. 260—261.

мых почти необходимо, чтобы не впасть в ту ошибку, в которую впадали многие наблюдатели, считая полиэдрические плоскости за плоскости самостоятельных кристаллографических форм. Учение о скучивании кристалла, как было показано на примерах, довольно хорошо удовлетворяет этому желанию».<sup>30</sup> В другом месте он писал: «Таким образом, скучивание кристалла дает не только возможность объяснить существование разностей между величинами одноименных углов кристаллов турмалина и существование полиэдрических плоскостей этих кристаллов, но и дает возможность предположить предельность изменяемости величин скученных углов кристаллов этого минерала».<sup>31</sup>

В пятой главе труда М. В. Ерофеева приводятся подробные описания и результаты гониометрических измерений красных, бурых и черных турмалинов из различных, главным образом отечественных, месторождений. Для кристаллов различных цветов даются отдельные таблицы со значениями средних углов. При разборе некоторых кристаллов отмечаются установленные для них следы скучивания.

Шестая глава содержит данные по оптическим константам турмалина. Показатели преломления были определены М. В. Ерофеевым с помощью десяти специальных призм, им самим отшлифованных. На основании измерений были сделаны следующие выводы: «Во-первых, турмалины, обладающие различной цветностью, обладают и различными показателями преломления обыкновенного и необыкновенного лучей. Во-вторых, увеличение показателя преломления частей одного и того же кристалла турмалина, различным образом окрашенных, зависит не только от густоты окрашивания, но и от положения части кристалла, так как части кристалла турмалина, лежащие ближе к середине кристалла, обладают большим показателем преломления».<sup>32</sup>

Заканчивая обзор монографии М. В. Ерофеева, приведем целиком тезисы, представленные им на физико-математический факультет Петербургского университета при защите магистерского диспута. Эти тезисы были опубликованы уже после смерти ученого его учеником Е. О. Романовским в «Записках Минералогического общества» и представляют, по справедливому замечанию последнего, полное и существенное резюме всего мемуара Ерофеева.<sup>33</sup>

«Выводы, извлеченные автором из своего мемуара „Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов“ (М. В. Ерофеев, 1870 г.).

---

<sup>30</sup> Там же, стр. 264.

<sup>31</sup> Там же, стр. 263.

<sup>32</sup> Там же, стр. 335.

<sup>33</sup> Е. О. Р о м а н о в с к и й. Предисловие к «Выводам» М. В. Ерофеева. Зап. Минералог. общ., ч. 30, 1893, стр. 347.



«1. Кристалл не есть математическое неделимое неорганизованного вещества, а есть сросток, куча таких неделимых.

«2. Учение о скучивании неделимых кристаллов дает возможность убедиться, что кристалл есть сросток, куча неделимых.

«3. Изменяемость величин одноименных углов одного и того же кристалла зависит от скучивания неделимых этого кристалла.

«4. В некоторых случаях изменяемость величин одноименных углов кристаллов какого-либо минерала, принадлежащих разным группам этого минерала, будут ли эти группы образованы на основании различия в химическом составе или на основании различия в физических свойствах их, также зависит от скучивания неделимых этих кристаллов.

«5. Кристаллографические формы, обладающие сложным отношением показателей или сложным отношением параметров, несколько раз наблюдаемые на кристаллах разных минералов, обязаны своим существованием скучиванию неделимых кристаллов.

«6. Полиэдрия и друзообразность плоскостей кристаллов суть следствия скучивания неделимых кристаллов.

«7. Ошибки как при определении показателей преломления кристалла какого-либо минерала, так и при определении величины угла оптических осей, если кристалл оптически двухосен, преимущественно обуславливаются скучиванием неделимых кристалла.

«8. Для объяснения изменяемости величин углов кристаллов турмалина и полиэдри и друзообразности плоскостей их наиболее удобны 1-й и 4-й случаи скучивания неделимых ромбоэдрической системы, т. е. скучивание неделимых в плоскости пояса  $[111]$  их и скучивание в плоскостях поясов  $[001]$ ,  $[100]$  и  $[010]$  их.

«9. На кристаллах турмалина существуют формы тетартоэдрические».<sup>34</sup>

Интересные добавления и поясняющие иллюстрации к теории скучивания приводятся в опубликованной после смерти ученого статье «Аномалии в величинах кристаллографических углов и полиэдри плоскостей как следствие скучивания кристаллов».<sup>35</sup> Статья эта представляет собой извлечение из литографированного издания «Общий курс кристаллографии, читанный профессором Петербургского университета М. В. Ерофеевым. 1878 г.». Прежде всего приведем цитату из этой статьи, представляющую несомненный исторический интерес и вместе с тем показывающую, какое место в кристаллографии отводил сам М. В. Ерофеев своему учению о скучивании: «Бодримон пытался объяснить подобные разности (в одноименных углах) уродливостью кристал-

<sup>34</sup> Там же.

<sup>35</sup> Там же, стр. 347—354.

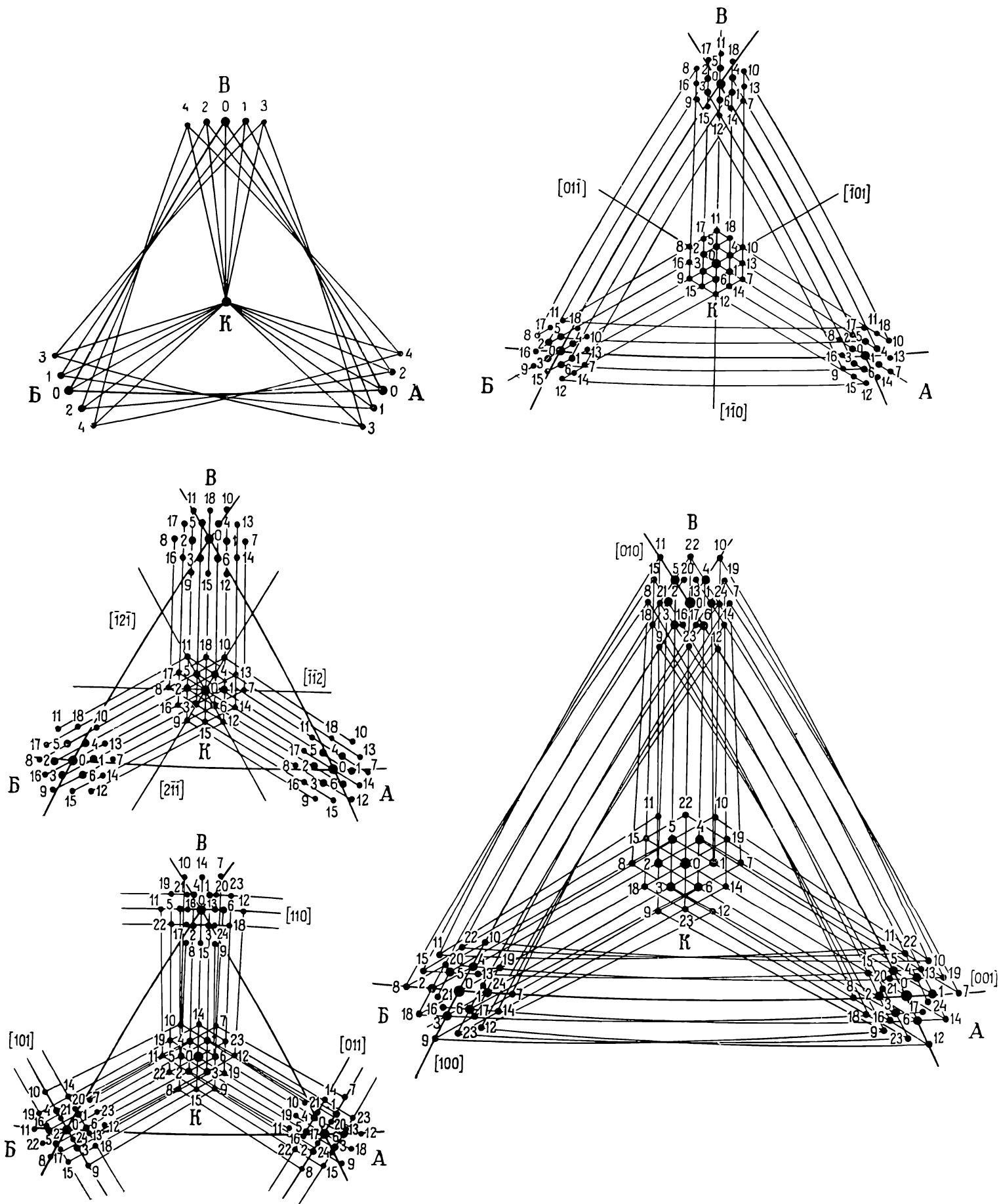


Рис. 34. Пять видов «скупчивания» кристаллов турмалина, по М. В. Ерофесву.



лов и предлагал даже основать новый отдел кристаллографии — „тератологию“. Это увлечение учением об уродливости легко объясняется тем, что Бодримон был современником Жоффруа Сент-Илера, создавшего науку об уродливостях (тератологию) органических существ. Вышеуказанные аномалии не требуют создания особого отдела науки, а легко объясняются непараллельным срастанием неделимых, образующих данный кристалл, т. е. объясняются тем, что при измерении какого-либо угла попадают плоскости, принадлежащие двум различным неделимым, непараллельно сросшимся между собой».<sup>36</sup> Приложенная к статье иллюстрация (рис. 35) изображает ромбоэдрическое сечение  $ABCD$  кристалла кальцита, с которым сросся совершенно такой же второй кристалл с сечением  $AB'C'D'$ , повернутый относительно первого на очень незначительный угол: «Если при выкалывании спайного кусочка одна спайность пойдет параллельно плоскости основного ромбоэдра  $AB$  первого неделимого, а другая спайность — параллельно плоскости  $AD'$  второго неделимого, то, — пишет М. В. Ерофеев, — на спайном кусочке мы измерим величину двугранного угла  $BAD'$ , который будет больше истинного двугранного вершинного угла, так как равен истинному углу  $ABD$  плюс угол  $ADD'$ ; таким же образом мы можем сказать, что если одна спайность пойдет параллельно плоскости  $AB'$  второго неделимого, а другая — параллельно  $AD'$  первого неделимого, то мы измерим угол  $B'AD$ , который меньше истинного вершинного угла основного ромбоэдра, так как он будет равен истинному углу  $BAD$  минус угол  $BAB'$ ».<sup>37</sup>

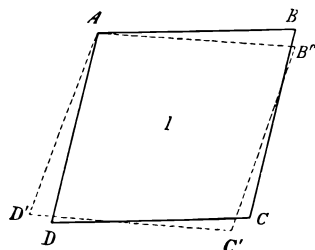


Рис. 35. Изображение двух «скупенных» кристаллов кальцита, повернутых друг относительно друга на незначительный угол, по М. В. Ерофееву.

На рис. 36 изображено скучивание двух ромбододекаэдров в зоне  $[111]$ . Они повернуты относительно друг друга на очень небольшой угол вокруг тройной оси симметрии. В результате подобного скучивания грани одного пояса будут пополам надломлены, т. е. так, как это показано на рис. 36, а, б. Если два таких неделимых срастаются вместе, то возникает двойная надломленность в виде четырехгранных пирамидок, ребра которых совпадают с диагоналями ромбических граней (рис. 36, в). Именно такие пирамидки наблюдаются на топазолиде — прозрачной, похожей на топаз, разновидности граната.

<sup>36</sup> Там же, стр. 348.

<sup>37</sup> Там же, стр. 349.

Заканчивая обзор научного наследия М. В. Ерофеева в области кристаллографии, необходимо выяснить, что же именно из этого наследия сохранилось в современной науке о кристаллах. Напомним, что вицинальными гранями сейчас принято называть грани, слегка отклоненные по своему положению от основных граней кристалла. Сам термин «вицинали» (от *vicinus* — «соседний») был предложен М. Вебским в 1863 г.

В прошлом столетии существовало два взгляда на природу вициналей. Некоторые зарубежные авторы (М. Вебский, М. Шустер) рассматривали кристаллы с вициналями как однородные монокристаллы. Вицинальные грани они характеризовали с помощью обычных кристаллографических символов, хотя иногда и с очень большими индексами.

По теории М. В. Ерофеева, кристалл с вицинальными гранями не является монокристаллом, а складывается из нескольких скученных неделимых. Две грани на одном и том же кристалле, из которых одна является нормальной, а другая вицинальной, принадлежат двум скученным неделимым. Отчасти сходных взглядов придерживался впоследствии и немецкий исследователь А. Задебек, автор «Прикладной кристаллографии».<sup>38</sup> Скучиванием, или «гипопараллельным срастанием», объяснял наличие вицинальных граней и Е. С. Федоров в своем известном «Курсе кристаллографии» (1901 г.). Уже в советское время О. М. Аншелес воскресил теорию М. В. Ерофеева и Е. С. Федорова, объясняя возникновение вициналей не строго параллельным отложением слоев на гранях кристаллов.

В 1904 г. французский кристаллограф П. Гобер сформулировал третью точку зрения на природу вициналей, согласно которой вицинальные бугорки складываются плоскими, постепенно убывающими слоями, параллельными основным граням. Это положение, как мы видим, несколько напоминает упоминавшуюся выше старинную теорию А. Скакки, объясняющую образование полиэдрических пирамидок правильным прогрессивным убыванием молекул, образующих кристалл.

В целом ряде работ последнего времени были приведены убедительные факты, подтверждающие правильность точки зрения П. Гобера.

Уже в советское время возникла долголетная дискуссия о природе вициналей квасцов между О. М. Аншелесом и А. В. Шуб-

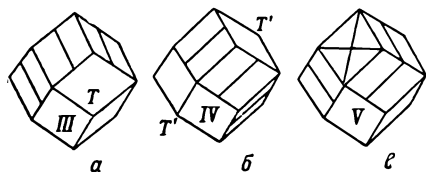


Рис. 36. Надломленные грани «скученных кристаллов» топазолита, по М. В. Ерофееву.

<sup>38</sup> А. S a d e b e c k. Angewandte Krystallographie. Berlin, 1876.

никовым. Сейчас этот вопрос решается в пользу обеих сторон: вицинальные образования могут возникать и в результате скучивания или расщепления, и в результате отложения параллельных слоев в виде пирамидок на монокристаллах.

А. В. Шубников предложил два термина для различия вицинальных образований. «Вициналоиды» связаны с нарушениями кристаллической однородности и, следовательно, соответствуют скученным образованиям в понимании М. В. Ерофеева, тогда как собственно «вицинали» отвечают уплощенным пирамидкам на гранях однородных кристаллов.<sup>39</sup> Суть конечно не в этих терминах. Важно лишь подчеркнуть, что понятие М. В. Ерофеева о скученных кристаллах вполне соответствует современному понятию о гипопараллельных срастаниях и вициналоидах.

В свое время работа М. В. Ерофеева не получила широкой известности, хотя и была премирована Петербургским минералогическим обществом.<sup>40</sup>

В иностранной литературе теории М. В. Ерофеева коснулся один лишь А. Е. Арцруни в книге «Физическая химия кристаллов» (1893 г.). По этому поводу В. И. Вернадский писал: «Нельзя не упомянуть о его (Арцруни, — *И. III.*) заслугах по отношению к русским исследователям: многие работы, напечатанные на русском языке, сделались известны в научной литературе только благодаря его стараниям и указаниям (например, работы Сушина, Ерофеева и т. п.). В последних его работах видно влияние теории кристаллической культуры, данной в 1870 г. покойным проф. Ерофеевым, которую Арцруни пытался вновь возродить».<sup>41</sup>

В России кристаллографическая линия, развиваемая М. В. Ерофеевым, нашла свое дальнейшее развитие в трудах С. Ф. Глинки (1855—1933), автора исследований по кристалломорфологии альбита, пирита и других минералов.

Сергей Федорович Глинка в течение многих лет вел в Петербургском университете курсы по вычислительной и физической кристаллографии. В 1911 г. он перешел в Московский университет, заняв кафедру минералогии, освободившуюся после ухода В. И. Вернадского.

В большой монографии «Альбиты из русских месторождений» (1889 г.) С. Ф. Глинка, помимо кристаллографических описаний, стремился дать фактическое обоснование для теории Г. Чермака об изоморфизме полевых шпатов. Вторая часть его исследования посвящена химическим и оптическим исследованиям альбитов.

<sup>39</sup> А. В. Шубников. Как растут кристаллы. Изд. АН СССР, М., 1935, стр. 111—115.

<sup>40</sup> Н. И. Кокшаров и А. В. Гадолин. Отзыв о монографии Ерофеева. «Кристаллографические и кристаллооптические исследования турмалинов». Зап. Минералог. общ., ч. 8, 1873, стр. 207—209.

<sup>41</sup> В. И. Вернадский. Очерки и речи. Химико-техн. изд., М.—Л., 1922, стр. 120—122.

Ему же принадлежит «Общий курс кристаллографии» (1895 г.), написанный в духе описательной кристаллографической школы.

К числу ранних учеников В. М. Ерофеева принадлежал М. Тарасов, опубликовавший в «Записках Минералогического общества» несколько статей с результатами гониометрических измерений кристаллов красного эпидота (1872 г.), уральского циркона (1875 г.) и везувиана (1876 г.).

Позднее учение М. В. Ерофеева нашло свое развитие в работах талантливого, рано погибшего А. Н. Карножицкого.

В монографии «О природе и происхождении вицинальных граней» (1895 г.) А. Н. Карножицкого мы находим восторженную характеристику основного труда М. В. Ерофеева: «В удивительной работе своей 1870 года М. В. Ерофеев впервые дал достаточно точное для своего времени доказательство, что простые отношения действительно существуют для углов скучивания, и это, однако, не послужило ему поводом ошибочно признавать, подобно Шустеру, скученные плоскости за кристаллические грани, занимающие некоторое нормальное положение. Вот почему приводимую работу М. В. Ерофеева, написанную более четверти столетия тому назад, нельзя не считать одним из величайших созданий русской науки, к сожалению оставшимся забытым и притом почти неизвестным западной науке».<sup>42</sup> Всю свою жизнь А. Н. Карножицкий всемерно развивал столь высоко оцененные им научные достижения М. В. Ерофеева.

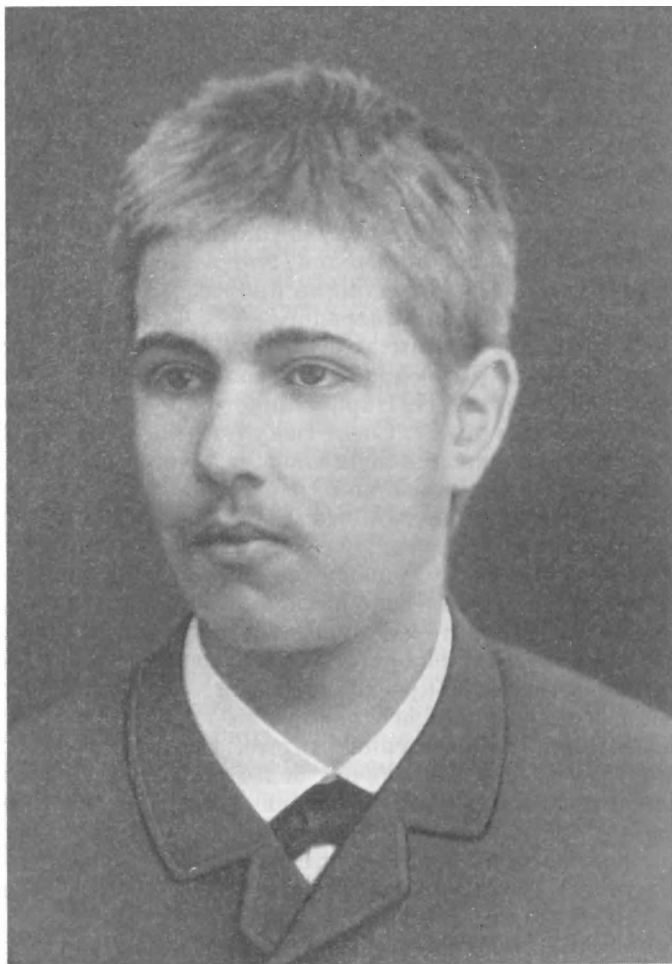
Жизнь и творчество этого даровитого и оригинального исследователя заслуживают подробного рассмотрения.<sup>43</sup> Александр Николаевич Карножицкий родился в 1867 г. в Могилеве. В 1885 г., окончив с золотой медалью могилевскую гимназию, он поступил на естественное отделение физико-математического факультета Петербургского университета. Здесь он слушал лекции Д. И. Менделеева, В. В. Докучаева, Н. А. Меншуткина, И. М. Сеченова, А. Н. Бекетова и других выдающихся профессоров. Однако наибольший интерес вызывали в нем кристаллография и минералогия. Из документов, относящихся к его студенческим годам, явствует, что, кроме общих курсов кристаллографии и минералогии, читавшихся В. В. Докучаевым, им был прослушан ряд дополнительных курсов по этим дисциплинам (специальные курсы кристаллографии и кристаллофизики, читавшиеся С. Ф. Глинкой, специальный курс минералогии и курс о выветривании минералов В. В. Докучаева).

---

<sup>42</sup> А. Н. Карножицкий. О природе и происхождении вицинальных граней. Зап. Минералог. общ., ч. 31, вып. 1, 1895, стр. 79—80.

<sup>43</sup> Биография и научные труды А. Н. Карножицкого детально рассмотрены в следующих статьях: В. А. Франк-Каменецкий. Основы учения о реальном кристалле, стр. 155—177; В. А. Савицкий и И. И. Шафрановский. Новые данные о жизни и творчестве А. Н. Карножицкого. Зап. Минералог. общ., ч. 86, 1957, № 4, стр. 469—477.

Говоря о студенческих годах А. Н. Карножицкого, необходимо отметить его исключительно тяжелое материальное положение. В архивных материалах сохранились его неоднократные просьбы



А. Н. Карпожицкий (1867—1906).

об освобождении от платы за обучение и о назначении пособия и стипендии в связи с бедственным положением семьи. Несмотря на это, в 1889 г. А. Н. Карножицкий блестяще закончил университет с дипломом первой степени. Через два года, в 1891 г. он успешно сдал магистерские экзамены. В том же году появились его восемь



работ, посвященных оптическим аномалиям берилла, турмалина, диоптаза и апатита.

Попытка математического уточнения и расширения ерофеевской теории скучивания дана А. Н. Карножицким в монографии «О природе и происхождении вицинальных плоскостей кристаллов». Эта монография, премированная Минералогическим обществом, была представлена в качестве магистерской диссертации и защищена в Казанском университете осенью 1895 г.

С этого же времени А. Н. Карножицкий начал читать в качестве приват-доцента специальный курс кристаллографии и кристаллооптики в Петербургском университете. Однако руководство не нашло возможным включить его в штат. Он числился внештатным преподавателем, получая почасовую оплату. Такое положение отчасти объяснялось тем, что в это время по кафедре минералогии в университете, помимо профессора В. В. Докучаева, числились еще два доктора-минералога — С. Ф. Глинка и П. А. Землячченский. В связи с этим ходатайства Минералогического общества, заведующего кафедрой минералогии В. В. Докучаева и других о зачислении А. Н. Карножицкого на штатную должность остались безрезультатными. Совет факультета отказал А. Н. Карножицкому и в научной командировке за границу.

Из недавно опубликованной переписки Е. С. Федорова с И. В. Мушкетовым видно, что Е. С. Федоров хотел устроить А. Н. Карножицкого преподавателем кристаллографии в Горный институт. По этому поводу он писал следующее: «Можно было бы пригласить в качестве временного преподавателя, например, Карножицкого, который, конечно, года через 2—3 получит какое-нибудь назначение в одном из университетов. Ему бы можно было предложить чтение кристаллографии. Я надеюсь, что он не испортит этого дела, как его испортили гг. Г[линка] и З[емлячченский] в Петербургском университете, где, кажется, долго еще не дожидаться людей, достаточно подготовленных по этому предмету. Знания же Карножицкого проявились в дельных рефератах моих работ».<sup>44</sup> В последней фразе речь идет о рефератах русских кристаллографических работ, составлявшихся А. Н. Карножицким для известного журнала, издававшегося П. Гротом, — «Zeitschrift für Krystallographie».

Не имея средств к существованию, А. Н. Карножицкий вынужден был жить случайными заработками. Так, например, в 1896 г. по заданию университета он занимался комплектованием коллекции минералов для Минералогического кабинета. В летнее время его несколько поддерживали научные командировки на средства Минералогического общества и Общества естествоиспытателей с целью проведения полевых геологических исследо-

<sup>44</sup> Письма Е. С. Федорова к И. В. Мушкетову. Публикация Н. Н. Бархатовой и К. И. Шафрановского. Сб. «Кристаллография», вып. 3, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1955, стр. 183.

ваний в Витебской, Могилевской и Минской губерниях (1892—1893 гг.), в Абхазии (на месторождениях каменного угля) и Северном Иране (на месторождениях медных руд).

В 1894—1895 гг. А. Н. Карножицкий открыл группу чрезвычайно интересных в минералогическом отношении минеральных копей, названных им ЕвгениеМаксимилиановскими. Результаты изучения этих месторождений вошли в монографию «Евгение-Максимилиановские минеральные копи и некоторые другие новые или малоисследованные месторождения в области Среднего Урала» (1896 г.). Эта работа, премированная Минералогическим обществом по представлению Е. С. Федорова и других ученых, была защищена в качестве докторской диссертации в Казанском университете 25 января 1897 г. Однако ни получение докторской степени, ни интенсивная творческая работа в области минералогии и кристаллографии не улучшили материального положения ученого.

«Не только в настоящее время не имеется, но и в скольконбудь ближайшем будущем не предвидится возможности назначить из сумм университета г. Карножицкому какое-либо постоянное вознаграждение за исполнение добровольно принятых им на себя по званию приват-доцента обязанностей», — писал в 1896 г. ректор Петербургского университета.<sup>45</sup>

Именно в это время А. Н. Карножицкий начал чтение своего интереснейшего курса «Тератология кристаллов» (учение о несовершенствах в мире кристаллов). Только сейчас становится ясным, какое значение мог бы иметь этот курс для дальнейшего развития учения о реальных кристаллах. Однако, к сожалению, уже в 1900 г. А. Н. Карножицкий был вынужден прервать чтение лекций. Его попытки получить профессиуру в Казанском, а затем Юрьевском университетах потерпели крушение.

Сейчас трудно выяснить причины всех этих неудач. Сам А. Н. Карножицкий в одном из писем к Е. О. Романовскому называет себя «неуживчивейшим человеком в мире». Составитель его некролога Ф. Н. Чернышев ставит ему в вину «недостаток жизненной выдержки и умственной дисциплины».<sup>46</sup>

Думается, однако, что известную роль играла и необычайность тематики основных работ А. Н. Карножицкого, их резкое отличие от большинства общепризнанных кристаллографо-минералогических исследований того времени. Напомним, что в таком же положении долгое время находился и Е. С. Федоров, десятки лет ожидавший признания своих открытий.

Борьба с невыносимо тяжелыми жизненными условиями в конце подорвала здоровье А. Н. Карножицкого. В 1903 г. ученый попал в больницу для душевнобольных. В периоды ослабления болезни

<sup>45</sup> В. А. С а в и ц к и й и И. И. Ш а ф р а н о в с к и й. Новые данные о жизни и творчестве А. Н. Карножицкого, стр. 471.

<sup>46</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 44, 1906, Протоколы, стр. 30.

он пытался продолжать работу. Летом и осенью 1905 г. по поручению Минералогического общества им проводились исследования на Урале. Однако полного излечения так и не наступило. В марте 1906 г. А. Н. Карножицкий скончался в возрасте 39 лет.

В краткой некрологической заметке, помещенной в «Записках Минералогического общества», красноречиво описываются обстоятельства, сопровождавшие смерть ученого: «А. Н. скончался при самой трагической обстановке, в запертой квартире, при отсутствии каких бы то ни было людей, так что даже день его смерти остался неизвестен; квартира была открыта случайно зашедшим к нему близким знакомым, и, таким образом, обнаружилось, что хозяин квартиры скончался».<sup>47</sup> К этому, согласно устным сообщениям, можно лишь добавить, что квартира оказалась полностью лишенной обстановки. Исключение составлял лишь один единственный однокружный гониометр, тщательно сохранявшийся покойным.

Скорбные события жизни А. Н. Карножицкого ярко иллюстрируются серией его писем к уже упоминавшемуся выше ученику М. В. Ерофееву и ученому хранителю Минералогического кабинета Петербургского университета Е. О. Романовскому.<sup>48</sup> Эти письма прежде всего дают картину безысходной нужды, преследовавшей ученого. Приведем несколько отрывков, убедительно подтверждающих сказанное:

«Тысячу раз благодарю Вас за присылку денег — сегодня я, признаться, не рассчитывал обедать (как и вчера), потому что, к сожалению, буквально нечего заложить. Я начинаю надеяться, что провидение когда-нибудь сжалятся над бедной русской минералогией, ибо не могу не заметить его прямо непонятого вмешательства в мои дела; не в первый раз уже чувствую я себя доведенным до такого крайнего положения, как все эти дни, и не в первый раз уже после двух- или трехдневной (иногда месячной) голодовки оно невидимой рукой посылает мне обыкновенно неожиданную субсидию, вроде той, которую на этот раз посылает мне Ваше внимание» (письмо от 22 I 1895).<sup>49</sup>

«Придется, вероятно, еще полгода проголодать в Питере, что меня страшно пугает, потому что голодовки меня измучили до последней степени, силы решительно изменяют, а продолжать работу до безумия хочется» (20 II 1896).<sup>50</sup>

«Изумруды Евгение-Максимилиановских копей стоили мне страшно дорого: на этих изумрудах я страшно простудился и стал удушливо, даже с кровью каплять, и кашель этот до сего дня

<sup>47</sup> Там же.

<sup>48</sup> В. А. Савицкий и И. И. Шафрановский. Новые данные о жизни и творчестве А. Н. Карножицкого, стр. 469—477.

<sup>49</sup> Там же, стр. 472.

<sup>50</sup> Там же.

не ослабевает, несмотря на лучшие против обычных условий моей летней жизни. Страшно подумать, во что обратится мое нездоровье в Петербурге» (18 VII 1896).<sup>51</sup>

И все же, несмотря на жуткие лишения, А. Н. Карножицкий стремился всецело отдаться научным интересам. Он интересовался также и живописью и музыкой. «Не стоит заботиться о смерти, — читаем мы в одном из его писем (21 I 1895), — ибо в жизни еще есть много хорошего, например минералов, музыки и других вещей».<sup>52</sup>

Особый интерес представляют сохранившиеся в письмах высказывания А. Н. Карножицкого о кристаллах. В приводимом ниже отрывке речь идет о материалах, нужных для завершения его монографии «О природе и происхождении вицинальных плоскостей кристаллов». Характерна последняя фраза этого отрывка, показывающая отношение А. Н. Карножицкого к научному наследию М. В. Ерофеева: «Заклинаю Вас всеми богами поискать для меня в коллекциях Газберга и Ерофеева мельчайших кристаллов (1—1 $\frac{1}{2}$ —2 мм) везувиана, апатита и берилла с нештрихованными и абсолютно зеркальными плоскостями призмы (лишь бы только углы эти были аномальны, т. е., другими словами, химический состав не отвечал бы формуле). Если бы у меня было бы по паре таких кристалликов, то диссертация моя, или, вернее, та работа, о которой говорил я выше, была бы, к моему нравственному успокоению, за два месяца кончена, и я мог бы спокойно умереть, сознавая, что ерофеевская кристаллографическая школа получила достаточно точек опоры для дальнейшего спокойного (а не бродячего, как до сих пор) существования» (22 I 1895).<sup>53</sup>

Чрезвычайно характерным является приводящийся ниже отрывок, дающий понятие о тех сомнениях и затруднениях, которые испытывал А. Н. Карножицкий при оформлении своей монографии. Следует отметить, что эти сомнения не были необоснованными. Как увидим далее, слабые стороны работы А. Н. Карножицкого с предельной ясностью отметил Е. С. Федоров. Вместе с тем письмо А. Н. Карножицкого свидетельствует о горячем стремлении ученого не ограничиваться одними гониометрическими и кристаллооптическими измерениями, а добиваться широких обобщений, открытия законов в области кристаллогенезиса — «биокристаллографии»: «Вы не поверите, многоуважаемый Евгений Осипович, какое мрачное и безотрадное время я теперь переживаю. Бывает, что при таком тяжелом и мучительном настроении весна, молодость, поэзия, музыка яркой искрой промелькнут в сознании и на душе делается легче и светлее. Но и этих мимолетных моментов

<sup>51</sup> Там же, стр. 472—473.

<sup>52</sup> Там же, стр. 473.

<sup>53</sup> Там же. В одном из писем А. Н. Карножицкий обсуждает вопрос о возможности выделения особой разновидности турмаллина, которую он предполагал назвать «ерофеевитом».

давно уже у меня не было, и я сижу неподвижно и тупо над работой моей о скупивании, без надежд когда-нибудь кончить ее удовлетворительно для моего сознания.

«Временами чувствую головокружение, которое, как я боюсь, может служить предвещанием помешательства, хотя сознания я пока не теряю.

«Беспокоит меня нравственное сознание полной моей бесполезности и непригодности к научной работе, ибо одни измерения и описания кристаллов не составляют еще минералогии. Покойный Ерофеев прекрасно сознавал это, почему и создал учение о скупивании и написал работу, подобная которой еще не появлялась в кристаллографии и которая имеет в основании биокристаллографию.

«Таким образом, я в основу моей диссертации думал положить открытый мною в запрошлом году закон первичного скупивания, ибо на 100—150 страницах, конечно, не уместить бы все мои мелкие измерения, наблюдения и идиотские рассуждения о скупивании, нуждающиеся, сверх того, в сильном подтверждении.

«И вот, когда я сопоставил все данные, полученные мною для законов скупивания, то оказалось не более 120 угловых величин, на точность которых я мог вполне положиться, ибо на каждую было сделано минимум 10 отсчетов гониометра (итого 1200), причем цельных кристаллов оказалось обмерено не более 5—6, между тем как закон устанавливается сильнее на целиком изученных кристаллах. Всего же изучено в смысле этого закона 10—12 кристаллов берилла и 15 апатита. Спрашивается, смею ли я обосновывать на 120 точных цифрах закон, который великий гений Ерофеева побоялся вывести из 221.

«Хотя я два года свято верил открытому мной закону и гордился этим открытием более, чем другим чем-либо в моей жизни, однако эти дни я и сам начинаю сомневаться в нем, и вот здесь и лежит корень моего отчаяния» (6 III 1895).<sup>54</sup>

Приведенные отрывки из писем А. Н. Карножицкого свидетельствуют о его горячем поклонении таланту М. В. Ерофеева. В своих научных работах он стремился прежде всего уточнить и подвести под строгие математические законы теорию скупивания кристаллов. Это видно уже из первой кристаллографической работы А. Н. Карножицкого — «Об оптической аномалии берилла».

На образцах кристаллов оптически аномального берилла из Ильменских гор молодой исследователь пытался установить связь между вицинальными плоскостями и оптическими аномалиями. Наличие и тех и других объяснялось им влиянием изоморфных примесей. На основании оптических исследований А. Н. Карножицкий пришел к выводу, что кристаллы берилла начали расти

---

<sup>54</sup> Там же, стр. 473—474.

из чистого раствора. Этой стадии роста соответствуют центральные части кристаллов без оптических аномалий. Впоследствии в раствор поступили примеси изоморфных веществ. Ими и были вызваны отклонения от нормальных граней вицинальных плоскостей, а вместе с ними и оптические аномалии.

Та же тема, связывающая воедино отклонения от идеального роста и оптические аномалии кристаллов, развивается в большой статье «Кристаллооптические исследования турмалина» (1891 г.).<sup>55</sup> В начале этой статьи А. Н. Карножицкий подчеркивает связь своего исследования с творчеством М. В. Ерофеева: «Приступая к оптическому исследованию турмалина, я имел ближайшей целью определение оптической аномалии этого минерала. . . Такова была моя первая и ближайшая цель. С другой стороны, из замечательной работы покойного профессора М. В. Ерофеева не безызвестно мне было и то удивительное явление непараллельного срастания кристаллических индивидов, которое названный автор констатировал для турмалина и назвал „скупиванием неделимых“. К сожалению, работа эта прошла почти незамеченной за границей, так как написана на русском языке, не пользующемся, как известно, правами гражданства у западных ученых; даже Маляр не упоминает о сочинении Ерофеева, хотя оно прямо касается тех вопросов, которыми занимался Маляр.<sup>56</sup> Превосходная диссертация С. Ф. Глинки содержит некоторые факты, как бы подтверждающие и для альбита данные Ерофеева о „скупивании неделимых“. Естественно являлось желание определить отношения оптической аномалии турмалина к явлениям „скупивания неделимых“. Это и было моей второй задачей».<sup>57</sup>

Дальнейший текст статьи содержит подробное описание оптических аномалий, выявленных на пяти кристаллах турмалина. Затем рассматриваются явления скупивания на этих же кристаллах, причем подчеркивается их связь с оптическими аномалиями. Наконец, описывается слоистое строение исследованных турмалинов, обусловленное отложением слоев, параллельных плоскостям одной какой-либо формы. Попутно автор подвергает критическому разбору взгляды Э. Малиера и К. Клейна, рассматривавших сложные многогранники высшей симметрии как продукты срастания мельчайших полиэдров низших сингоний. По мнению А. Н. Карножицкого, все его наблюдения служат подтверждением ерофеевской теории скупивания кристаллов.

---

<sup>55</sup> Полный список работ А. Н. Карножицкого с кратким пересказом их содержания приведен в статье: В. А. Франк-Каменецкий. Основоположники учения о реальном кристалле, стр. 173—177.

<sup>56</sup> Э. Маляр (1838—1894) — известный французский минералог и кристаллограф.

<sup>57</sup> А. Н. Карножицкий. Кристаллооптические исследования турмалина. Зап. Минералог. общ., ч. 27, 1891, стр. 209.

Помимо двух вышеупомянутых работ, в списке трудов А. Н. Карножицкого значится ряд исследований, посвященных оптическим аномалиям диоптаза, апатита и других веществ. Наличие таких аномалий в кристаллах он пытался объяснить переходом слагающих их частиц в индивиду низшей симметрии.<sup>58</sup>

Обширный фактический материал, собранный в процессе изучения несовершенств реальных кристаллов, А. Н. Карножицкий обобщил в своей обширной магистерской диссертации «О природе и происхождении вицинальных граней кристаллов».<sup>59</sup>

В первой главе этого труда дается интересный исторический обзор имевшейся в то время литературы о вицинальных гранях. При этом резко разграничиваются два научных течения: «Большинство авторов, главнейше немецких, в том числе и величайшие деятели современной кристаллографии, ныне покойные, М. Вебский и М. Шустер, считают вицинальные плоскости кристаллов за плоскости закономерные, имеющие право выражаться вполне определенными показателями, хотя и довольно сложными, причем относят все простые и вицинальные плоскости некоторого кристалла к одному и тому же неделимому. Иначе смотрит на дело другая весьма немногочисленная школа авторов, во главе которой стоит покойный М. В. Ерофеев, один из несомненно талантливейших представителей нашей науки. Допуская известные закономерные отношения между „углами скучивания“, т. е. между величинами геометрических уклонов данного вещества, Ерофеев, однако, не считает возможным выражать вицинальные плоскости определенными параметрами, не считает их за истинные плоскости одного данного кристалла, но относит их к различным, слагающим данный кристалл, „скупенным“ неделимым».<sup>60</sup>

О том, какие задачи ставил перед собой в своем исследовании сам А. Н. Карножицкий, стремясь развить и уточнить учение М. В. Ерофеева, мы узнаем из следующей цитаты: «В предлагаемой работе, — пишет он, — я имею в виду:

«1. Дать по мере возможности естественную классификацию скупенных плоскостей, разбив скучивание на известные типы: геометрические и генетические.

«2. Показать, что даже самые небольшие величины наблюдаемых геометрических отступлений находятся между собой нередко (а быть может, и всегда) в простых рациональных отношениях, реализуя, таким образом, правило рациональных отношений для углов (тангенсов) скучивания, которое отнюдь не следует смешивать с законом рациональности параметров (законом простых рациональных индексов).

---

<sup>58</sup> А. Н. Карножицкий. Некоторые соображения о возможной причине оптических аномалий в кристаллах. Горн. журнал, 1892, № 10, стр. 98—121.

<sup>59</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 33. 1895, стр. 65—228.

<sup>60</sup> Там же, стр. 69.

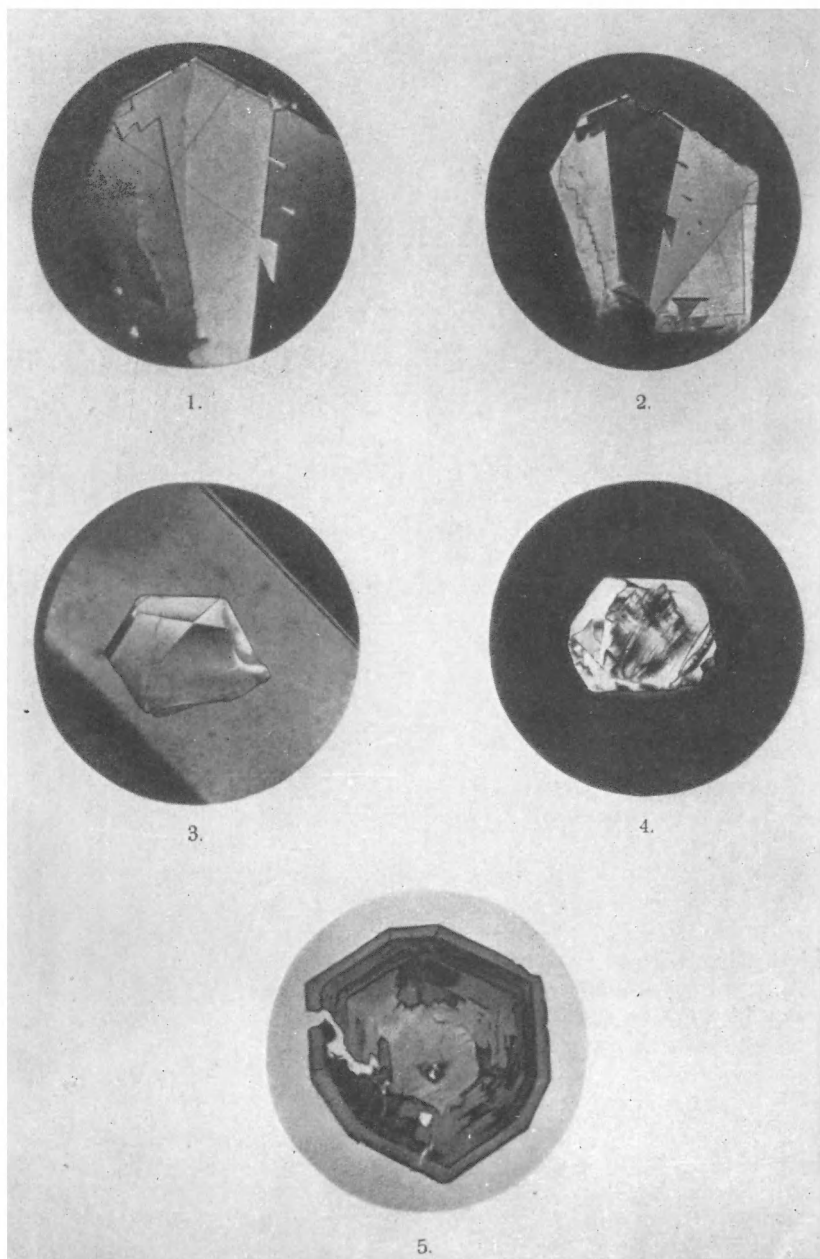


Рис. 37. Фотографии микроскопических препаратов берилла, турмалина, циркона, диоптаза и других, на которых видны резкие обособления отдельных неделимых, совпадающие с ребрами нарушенных углов в кристаллах, по А. Н. Карножицкому.





«3. Определить вероятное соотношение наблюдаемых уклонений с законом симметрии и приблизительно разграничить случаи, где этот закон, в той или другой форме, имеет силу для вицинальных плоскостей и где не имеет.

«4. Показать, что вещество, отложившееся параллельно различным плоскостям одного и того же аномального угла, весьма часто обнаруживает те или другие физические различия, отчего и возникает резкая пограничная линия двух секторов, идущая к вершине этого угла».<sup>61</sup>

Сформулировав цели своего исследования, А. Н. Карножицкий вместе с тем указывает и на чрезвычайно большие сложности, стоявшие перед ним: «Вицинальные плоскости представляют собой явление в высшей степени сложного характера; причины самые разнообразные, нет сомнения, одновременно влияют на их появление, и разграничить величину действия каждой из этих причин является делом величайшей трудности. Жизни одного исследователя мало, чтобы вырешить хотя бы половину вопросов, намеченных учением Ерофеева о скучивании неделимых или косвенным образом вытекающих из этого учения».<sup>62</sup>

Вторая глава монографии содержит «определения и классификацию вицинальных, или скученных, плоскостей». Вицинальными, или — что то же — «скученными», гранями А. Н. Карножицкий называет «всякие две плоскости, делающие между собой аномальный угол в пределах от 0 до  $180^\circ$ , причем за аномальный угол принимается всякий угол, не отвечающий, по-видимому, требованиям симметрии данного кристаллического вещества или кристаллографическим постоянным этого последнего».<sup>63</sup>

Приведем геометрическую и генетическую классификации типов скучивания, разработанные А. Н. Карножицким на основе его исследований.

Геометрически им были выведены следующие типы скучивания:

1. С к у ч и в а н и е п е р в и ч н о е. Наблюдается в том случае, когда аномальный угол образует между собой две простые грани двух кристаллов-индивидов, первичноскученных между собой. При этом получают первичноскученные плоскости.

2. С к у ч и в а н и е в т о р и ч н о е. Имеет место, когда две грани одной и той же вицинальной пирамидки («множественной плоскости») образуют между собой определенный угол скучивания. В результате имеем вторичноскученные плоскости.

3. С к у ч и в а н и е т р е т и ч н о е. Наблюдается в тех случаях, когда закономерно срastaются уже готовые (третичноскученные) сростки. Третичноскученные кристаллы содержат с геометрической точки зрения наибольшие нарушения, возможные

---

<sup>61</sup> Там же, стр. 84—85.

<sup>62</sup> Там же, стр. 86.

<sup>63</sup> Там же.

для данного кристаллического вещества. Согласно А. Н. Карножицкому, «преобладающее большинство возможных в природе кристаллов образует третичные кристаллы, тогда как кристаллы вторичные составляют величайшую редкость, быть может не меньшую, чем и нормальные кристаллы, т. е. состоящие из одного вполне развившегося первичного индивидуума».<sup>64</sup>

Параллельно с геометрической классификацией вицинальных граней делается также попытка классификации генетических типов скучивания. При этом выделяются следующие типы:

1. Обыкновенное скучивание. Вызывается «поверхностным натяжением», влиянием изоморфных примесей и другими причинами, действующими при кристаллизации.

2. Параморфическое скучивание. Возникает в псевдосимметричных кристаллах типа борацита. Нормальные углы в слагающих общее тело кристалла «параморфизационных неделимых» могут быть изменены под влиянием различных причин, связанных с процессами параморфизации.

3. Динамометаморфическое скучивание. Вызывается механическими нарушениями и приводит к некоторому искривлению кристаллических плоскостей (волнистое погасание кварца) или к образованию веерообразных сростков.

4. Ложное двойниковое скучивание. Обнаруживается в связи с наличием плоскостей двойникового положения оптически аномальных кристаллов. Такие плоскости не являются истинными плоскостями скучивания, но могут быть спутаны с ними морфологически.

Несомненный интерес представляет также следующая классификация геометрически закономерных окристаллизованных образований, предложенная А. Н. Карножицким:

1) одиночные кристаллы, образованные каждый одним вполне развившимся первичным индивидом;

2) параллельные сростки первичных индивидов (например, сросток нескольких призматических индивидов турмалина, соприкасающихся одинаковыми гранями призмы);

3) гетерогранные сростки первичных индивидов, срастающихся друг с другом плоскостями различных форм (например, сросток турмалина, у которого плоскость моноэдра одного индивида параллельна плоскости основного ромбоэдра другого);

4) двойники, образованные первичными индивидами;

5) псевдосимметрические параморфические кристаллы.

В ряде глав своей монографии А. Н. Карножицкий приводит данные измерений углов между скученными индивидами (с точностью до секунд !) и стремится на примерах берилла, апатита и турмалина доказать «закон, согласно которому углы скучивания могут быть выведены один из другого путем умножения некоторого

---

<sup>64</sup> Там же, стр. 89.

предельного угла на 0,  $1/2$ , 1,  $3/2$ , 2 и т. д.» Однако существование такого закона впоследствии не было подтверждено. Сейчас нам гораздо ценнее другая сторона его наблюдений. На основе гониометрических измерений и оптических исследований А. Н. Карножицкий весьма убедительно доказал связь неоднородного сложения кристаллов и их оптических аномалий с вицинальными образованиями. На микроскопических препаратах берилла, апатита, турмалина, циркона, диоптаза и других минералов им были обнаружены резкие обособления отдельных неделимых, отвечающие ребрам нарушенных углов в скученных кристаллах (рис. 37). Эти открытые им факты, зафиксированные на приложенных к работе фотографиях, несомненно заслуживают внимания и должны учитываться и сейчас при изучении кристаллов с вициналами. Именно эту сторону работы А. Н. Карножицкого высоко оценил в свое время Е. С. Федоров. Не случайно в своем «Курсе кристаллографии» (1901 г.), упоминая о явлениях скучивания в мире кристаллов, он наряду с автором этого понятия М. В. Ерофеевым называет также имя его последователя — А. Н. Карножицкого. Е. С. Федорову же принадлежит и развернутый отзыв о диссертации А. Н. Карножицкого, в котором справедливо отмечены как ее положительные, так и отрицательные стороны.<sup>65</sup>

Оценивая монографию в целом, Е. С. Федоров писал, что это сочинение «принадлежит к числу наиболее оригинальных работ, появившихся на русском языке в последнее время. Сама избранная тема отличается поразительной оригинальностью. Автор ищет правильности и законности там, где мы привыкли видеть хаос; он ищет правильности или законы в нарушениях основного закона геометрической кристаллографии».<sup>66</sup>

Далее Е. С. Федоров отмечал, что А. Н. Карножицкий, не ограничиваясь констатацией явлений скучивания, стремился дать их исчерпывающую математическую характеристику. Мы теперь знаем, что такие попытки в связи с недостаточной точностью имевшейся в то время аппаратуры не могли дать положительных результатов. Только сейчас точнейшие методы исследования позволяют намечать общие закономерности в строении несовершенных кристаллов. Гониометрические измерения дать таких результатов не могли. Вот почему совершенно прав был Е. С. Федоров, обратив особое внимание на величины вероятных погрешностей наблюдений в работе А. Н. Карножицкого. Приводя значения углов между гранями кристаллов, А. Н. Карножицкий оперировал с секундами и даже десятими секунд. В связи с этим Е. С. Фе-

<sup>65</sup> Е. С. Федоров. Рецензия на сочинения А. Н. Карножицкого 1) «О природе и происхождении вицинальных плоскостей кристаллов». 2) «Евгение-Максимилиановские копии». Зап. Минералог. общ., ч. 34, вып. 2, 1895—1896, стр. 70—84.

<sup>66</sup> Там же, стр. 71.

доров писал: «Так как вся работа автора основана на измерении весьма малых углов, то определение степени точности наблюдений является главнейшим и необходимейшим условием, для того чтобы выводы, основанные на таких наблюдениях, получили серьезное значение. Не соблюдено это условие — и все выводы покоятся на весьма шатком основании, их с одинаковой вероятностью можно принимать или не принимать. . . Вывод получится тот, что закон строится на измерении величин, находящихся в пределах точности наблюдений».<sup>67</sup>

Итак, попытка А. Н. Карножицкого установить общие законы скучивания оказалась преждевременной. Технические возможности той эпохи не позволяли улавливать закономерности, выходящие за пределы точности измерения. Однако сама попытка проникнуть в тончайший механизм образования вициналей, механизм, до сих пор не выясненный до конца, характеризует А. Н. Карножицкого как незаурядного ученого, предвосхитившего полвека тому назад проблемы современной генетической кристаллографии. Недаром Е. С. Федоров подчеркивал в своем отзыве, что «такие личности, как г. Карножицкий, ясно поставившие перед собой определенные научные вопросы, которые их волнуют, составляют несомненно выдающихся деятелей нашей минералогии».<sup>68</sup>

В 1909 г. Е. С. Федоров снова вспомнил выводы М. В. Ерофеева и А. Н. Карножицкого в статье «Экспериментальное решение вопроса о генезисе вициналоидов. Скучивание».<sup>69</sup>

Приводимые ниже цитаты характеризуют отношение великого ученого как к теории скучивания, так и к трудам ее создателей.

«Признать обыкновенное кристаллическое вещество за не вполне однородное, — пишет Е. С. Федоров, — есть дело логической необходимости. На это с самого начала обратили внимание первые русские исследователи этого явления Ерофеев и Карножицкий, которым и принадлежит термин *с к у ч и в а н и е*, до сих пор не вошедший во всеобщий обиход».<sup>70</sup> Далее Е. С. Федоров отмечает, что кристаллическая неоднородность обычно не улавливается оптическим путем вследствие ничтожности углов скучивания: «Однако в исключительных случаях углы эти накапливаются до таких величин, что констатирование становится возможным и для оптического метода. . . Оптическую неоднородность можно усмотреть и на фотографиях, приложенных к статье Карножицкого „О природе и происхождении вицинальных плоскостей“. Таким образом, становится просто непонятным, каким образом этот очевидный факт непрерывно игнорируется во всех странах,

---

<sup>67</sup> Там же, стр. 78—79.

<sup>68</sup> Там же, стр. 84.

<sup>69</sup> Зап. Горн. инст. . т. 2, вып. 3, 1909, стр. 255—256.

<sup>70</sup> Там же, стр. 255.

кроме России, если не считать намеченного Задебеком представления о гипопараллельных субиндивидах».<sup>71</sup>

В результате проведенных опытов по получению вициналоидов Е. С. Федоров считает доказанным самый факт скучивания, однако выдвинутый А. Н. Карножицким «закон рациональности углов скучивания» им не подтверждается. «Итак, — заключает он, — подтвердив до осязательной очевидности на прямом эксперименте факт скучивания, я считаю логически неизбежным признать его подчиняющимся статистическим законам отклонений или нестройности, а потому не могу согласиться с Карножицким в его заключениях о своего рода законе рациональности отклонений в углах скучивания, и таблицы, приводимые им, не говорят в пользу существования такого закона».<sup>72</sup>

Докторская диссертация А. Н. Карножицкого носит название «Евгение-Максимилиановские месторождения минералов в области Среднего Урала». Несмотря на чисто минералогический характер этой работы, в ней содержится ряд кристаллографических высказываний, представляющих незаурядный интерес. В частности, здесь разбирается вопрос «о штриховатости плоскостей и о связи этой штриховатости со слоистостью».<sup>73</sup> В результате изучения кристаллов турмалина, берилла и других минералов А. Н. Карножицкий выделил следующие три типа штриховатости:

1. Штриховатость первого типа, или гемизональная штриховатость. Представляет «выдающиеся выступы или выходы как бы слепо оканчивающихся на поверхности базиса слоев, параллельных плоскостям [ди]пирамиды, при отсутствии слоистости по базису».<sup>74</sup> Такая штриховатость наблюдается на пинакоиде (базисе) берилла. По мнению А. Н. Карножицкого, она лишь наполовину связана со спайностью.

2. Штриховатость второго типа, или экзональная штриховатость. Она вовсе не связана со слоистостью кристалла по тем или иным плоскостям. Сюда относится вертикальная штриховка на призматических гранях турмалина, параллельно которой слоистость не наблюдается. Слоистость наблюдалась А. Н. Карножицким параллельно плоскостям пирамид и моноэдров турмалина. Следовательно, «слепые выходы слоев кристалла здесь никоим образом не могли идти параллельно вертикальной оси кристалла», — заключает он.<sup>75</sup>

3. Штриховатость третьего типа, или синзональная штриховатость. Тесно связана со слоистостью по смежным плоскостям,

---

<sup>71</sup> Там же, стр. 256.

<sup>72</sup> Там же.

<sup>73</sup> А. Н. Карножицкий. Евгение-Максимилиановские копи... Зап. Минералог. общ., ч. 34, 1896, стр. 151.

<sup>74</sup> Там же.

<sup>75</sup> Там же, стр. 152.

ребро которых параллельно направлению штриховатости. Такую штриховку А. Н. Карножицкий наблюдал на кристаллах граната и кварца (рис. 38). На последнем горизонтальная призматическая штриховка обусловлена, по его мнению, слоистостью по призматическим и ромбоэдрическим плоскостям.

Три типа поверхностной или вицинальной штриховатости следует резко отделять от двойниковой штриховки, отличающейся пересекающимися системами штрихов (наблюдаются на кристаллах корунда и кальцита).

Исследования штриховок, проводившихся А. Н. Карножицким, получили совсем недавно очень высокую оценку в работе Г. Л. Вазбуцкого «Скульптура поверхности кристаллов берилла». Г. Л. Вазбуцкий считает, что А. Н. Карножицкий «сделал замечательное предположение», согласно которому штрихи на пинакоиде берилла представляют выходы обрывающихся слоев, параллельных плоскостям дипирамиды. Далее Г. Л. Вазбуцкий пишет: «Судя по его эскизам, для штриховок разного типа (см. рис. 38, — *И. III.*) были поставлены интересные вопросы о том, как понимать штриховку. Многие из них не разрешены до сих пор, несмотря на современную технику микроскопического и других методов изучения. Идеи А. Н. Карножицкого о связи штриховок роста со слоями роста тем более заслуживают внимания, что в более поздней статье В. И. Вернадского («О комбинационной штриховке кристаллических граней», 1907) образование комбинационной штриховки не связывается с явлением послыного нарастания кристаллических граней и даже не упоминается о существовании этого явления».<sup>76</sup> Мнение такого знатока скульптуры кристаллических граней, как Г. Л. Вазбуцкий, относительно взглядов А. Н. Карножицкого несомненно заслуживает особого внимания и должно быть учтено при оценке творчества ученого.

Большой интерес представляет попытка А. Н. Карножицкого выделить специальную ветвь кристаллографии — «тератологию кристаллов», т. е. науку об уродливых кристаллических формах, имеющих особое значение с точки зрения кристаллогенезиса и теории реального кристалла. В этом пункте он, как мы видим, расходился с В. М. Ерофеевым, рассматривавшим усложненные формы не как уродливые образования, а как непараллельные срастания нормальных кристаллов.

Введение читавшегося им курса по этой теме сохранилось в виде статьи «Уродливость в неорганическом мире».<sup>77</sup> В ней А. Н. Карножицкий сформулировал свои наиболее значительные взгляды на сущность современной ему науки о кристаллах:

<sup>76</sup> Г. Л. В а з б у ц к и й. Скульптура поверхности кристаллов берилла. Сб. «Кристаллография», вып. 5, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1956, стр. 69—70.

<sup>77</sup> А. Н. К а р н о ж и ц к и й. Уродливость в неорганическом мире. Научн. обозрение, 1896, № 2, стлб. 40—46; № 3, стлб. 70—76.

«Только исследование кристаллографических нарушений (тератология кристаллов) и параллельная теоретическая разработка основных вопросов кристаллографии (теоретическая кристаллография) дают нам возможность ввести свежую живительную струю в нашу науку, придать ей более жизненности и философского значения и сблизить ее с другими отраслями естествознания».<sup>78</sup>

В основе статьи А. Н. Карножицкого лежит мысль о том, что «вопрос минимальной при данном объеме поверхности окристаллизованного тела есть в то же самое время и вопрос об устойчивости кристалла в отношении к вредному влиянию внешних условий (растворителей, воды, газов, механических деятелей, а также света,

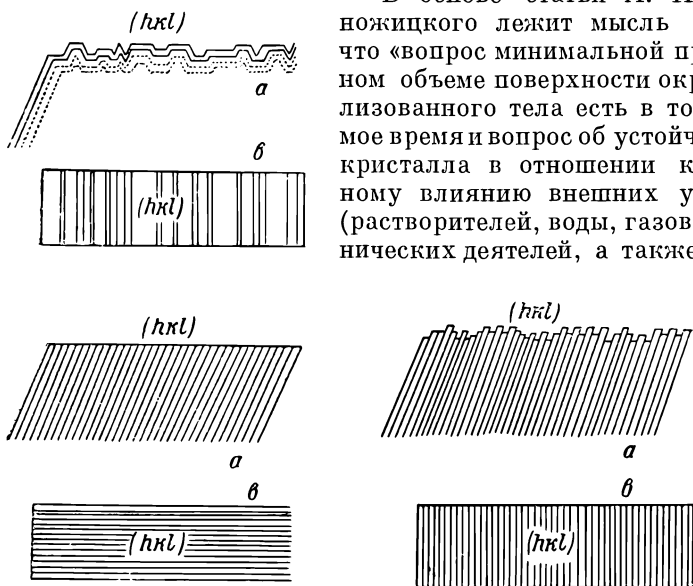


Рис. 38. Типы штриховок на кристаллах, по А. Н. Карножицкому.

теплоты и проч.) и, следовательно, вопрос о важнейшем геометрическом приспособлении индивидуума неорганической природы».<sup>79</sup> По его мнению, такая приспособляемость осуществляется либо путем образования кристаллов высшей симметрии, либо за счет их скупивания: «В настоящее время можно считать доказанным, что вицинальные и вообще аномальные плоскости возникают вследствие скупивания, т. е. непараллельного срастания (под весьма малыми углами) нескольких геометрических нормальных индивидуумов, которые при этом обыкновенно недоразвиваются. . . Изучая любой кристалл, покрытый вицинальными плоскостями, не трудно убедиться, что такие плоскости как бы стремятся закруглить углы и грани кристалла и, таким образом, приблизить его поверхность к шаровой или цилиндрической, ибо вписанный

<sup>78</sup> Там же, № 2, стлб. 40.

<sup>79</sup> Там же.



в шар выпуклый многогранник тем более приближает свою поверхность к шаровой, чем более граней имеет. . . В момент кристаллообразования вещество с помощью скучивания стремится принять шаровую или цилиндрическую форму, т. е. приблизиться к идеалу высшей симметрии, ибо сфера есть самое симметричное из всех геометрических тел. . . Резюмируя все сказанное о геометрическом приспособлении кристалла, приходим к заключению, что кристаллическое вещество в момент образования ради реализации принципа наименьших поверхностей стремится принять форму высшей симметрии, что достигается различными путями: или оно непосредственно принимает формы высшей симметрии, или путем скучивания имитирует последние, а также формы шаровую и цилиндрическую». <sup>80</sup>

В приведенных отрывках особенного внимания заслуживает выдвижение принципа минимальной поверхности у кристаллов. В этом вопросе А. Н. Карножицкий был одним из передовых кристаллографов своего времени.

Обзор опубликованных работ А. Н. Карножицкого показывает, что он отнюдь не замыкался в узком круге специальной тематики. С исключительной смелостью касался он вопросов, имеющих и сейчас самое животрепещущее значение в естествознании. Так, например, в 1894 г. на заседании Минералогического общества он выступил с сообщением о параллели между минеральным и органическим миром. По его мнению, жизнь могла зародиться в момент выделения кристаллического слоя из раствора благодаря подвижности химического состава и физических свойств. Отметим еще одно смелое высказывание А. Н. Карножицкого, представляющее интерес с современных научных позиций. Так, в статье «О симметрии и фигурах вытравливания кристаллов» им была высказана мысль о возможности кристаллов одного минерала (например, турмалина) кристаллизоваться при изоморфных замещениях в различных видах симметрии. <sup>81</sup>

Сейчас в кристаллографической литературе поднят вопрос о динамическом поведении одной и той же структуры в различных физико-химических средах. Неоднократно отмечалось, например, что структура хлористого натрия ведет себя как кубическая центрогранная решетка в активных средах и как простая кубическая решетка в нейтральных средах. <sup>82</sup>

Хорошо известно, что бесконечная симметрия двух вышеупомянутых кубических решеток неодинакова. Последнее безусловно сказывается и на внешнем ограничении кристаллов. Не-

<sup>80</sup> Там же, № 3, стлб. 70.

<sup>81</sup> А. Н. Карножицкий. О симметрии и фигурах вытравливания кристаллов. Научн. обозрение, 1896, № 9, стр. 270—275.

<sup>82</sup> В. И. Михеев и И. И. Шафрановский. О совпадении теоретических и генетических типов кристаллов цинковой обманки. Зап. Минералог. общ., ч. 77, 1948, № 4, стр. 262—271.

давно В. Клебер дал обобщенную сводку, посвященную гипоморфии кристаллов.<sup>83</sup> Гипоморфией им названо своеобразное явление, заключающееся в пониженной морфологической симметрии кристаллов по сравнению с их структурной симметрией. Классические примеры этого явления хорошо известны минералагам. Так, например, кристалломорфологическая симметрия вульфенита —  $L_4$ , тогда как структурная его симметрия —  $CL_4P$ . Явления гипоморфии В. Клебер объясняет влиянием среды, выражающимся в адсорбции гранями кристаллов чужеродных частиц с пониженной симметрией. Как видим, приведенные явления более или менее приближаются к гипотетическому случаю А. Н. Карножицкого. В некоторой степени его высказывания предвосхищают также современную теорию морфологических изменений.

Однако в его время подобные взгляды не могли не казаться необоснованными, фантастическими, противоречащими всем утвердившимся мнениям. Очевидно, именно такое отношение официальных авторитетов к трудам А. Н. Карножицкого и сыграло решающую роль в его печальной судьбе. Сейчас его начинания выступают перед нами в совершенно ином свете.

Нельзя не отметить еще одной замечательной попытки А. Н. Карножицкого, позволяющей его считать одним из самых первых русских кристаллографов-рентгенологов. В 1896 г. в соавторстве со знаменитым Б. Б. Голицыным А. Н. Карножицкий проводил первые опыты по изучению физических свойств рентгеновских лучей при прохождении их сквозь кристаллы турмалина.<sup>84</sup> К сожалению, эта попытка также оказалась преждевременной и не дала удовлетворительных результатов.<sup>85</sup>

В истории науки о кристаллах А. Н. Карножицкий должен занять свое особое место. Отойдя от классической описательной минералогии и вместе с тем не примкнув к новой кристаллографии Е. С. Федорова, посвященной строению идеального кристалла, А. Н. Карножицкий вслед за М. В. Ерофеевым пытался создать «биокристаллографию» — учение о реальном кристалле со всеми его несовершенствами, вызванными природными условиями образования.<sup>86</sup>

---

<sup>83</sup> W. K l e b e r. Über Hypomorphie. Wissenschaftl. Zeitschrift d. Humboldt-Universität, 1955—1956, № 1, стр. 1—13.

<sup>84</sup> Б. Б. Голицын и А. Н. Карножицкий. О центрах нахождения и о поляризации X-лучей. Научн. обозрение, 1896, № 28, стр. 867—879.

<sup>85</sup> Д. Б. Гогоберидзе. Физики — пионеры отечественной рентгенологии. Вестн. рентгенологии и радиологии, 1952, № 4, стр. 75—82.

<sup>86</sup> К А. Н. Карножицкому близко примыкал по своим научным интересам В. К. Агафонов (род. 1863 г.). Закончив Петербургский университет, В. К. Агафонов был оставлен проф. В. В. Докучаевым при кафедре минералогии. В списке его работ мы находим следующие статьи: «Теория кристаллических группировок Маляра», «Борацит как оптически аномальный кристалл», «О полиморфизме в минеральном царстве» и др. В 1902 г. В. К. Ага-

Только сейчас с помощью новых тончайших методов исследования — рентгенометрии, интерферометрии, электронной микроскопии, специальных киносъемок — стало возможным улавливать те скрытые детали в сложении реальных кристаллов, сущность которых стремились расшифровать М. В. Ерофеев и А. Н. Карножицкий.

Однако это не дает нам права забывать первые попытки этих ранних исследователей. Своими трудами они прокладывали пути для современного учения о реальном кристалле.

---

фонов защитил магистерскую диссертацию на тему «К вопросу о поглощении света кристаллами и о плеохроизме в ультрафиолетовой части спектра». В этой работе говорится об явлениях плеохроизма, установленных автором в ультрафиолетовой части спектра для шести кристаллических веществ. Вместе с тем автор считал, что плеохроизм не является общим свойством анизотропной среды. Позднее В. К. Агафонов работал преимущественно в области почвоведения.

---

## ХV. П. П. АНОСОВ И Д. К. ЧЕРНОВ. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ

Роль кристаллографии в истории развития металловедения требует специального исследования. Здесь мы ограничимся лишь краткими сведениями о кристаллографических данных, содержащихся в трудах двух выдающихся русских металлургов — П. П. Аносова и Д. К. Чернова.

С давних времен ученые проявляли повышенный интерес к кристаллическому строению металлов. Уже М. В. Ломоносов обращал особое внимание на кристаллографические особенности металлических осколков, на форму кристаллов самородного золота и т. п. Сподвижник Т. Ловица А. А. Мусин-Пушкин написал специальную статью «О способе кристаллизовать благородные металлы» (1797 г.). Теснейшим образом сочетались вопросы практической металлургии и теоретической кристаллографии в творчестве А. В. Гадолина. П. В. Еремеев изучал «внутреннее строение некоторых кусков литой стали» (1869 г.).

Со своей стороны и специалисты-металлурги неминуемо должны были касаться кристаллографических проблем. Уже знаменитый П. П. Аносов (1797—1851), впервые применивший микроскоп для исследования строения стали на полированных и травленых шлифах, подходил к изучению металла, по сути дела, как кристаллограф. При исследовании булата он тщательно изучал характерные узоры на металлической поверхности, обусловленные кристаллизацией (кристаллической текстурой). В результате им были выделены пять сортов булатов по характеру узора: полосчатому, струистому, волнистому, сетчатому и коленчатому. Лучшими свойствами обладал булат с коленчатым и сетчатым узорами; хуже всего были булатные клинки с полосчатым узором. Установив определенную зависимость между свойствами булата и его характерным кристаллическим узором, П. П. Аносов тем самым выявил огромное влияние кристаллизации на качество металла. Ему принадлежит «открытие важнейшего закона металловедения — зависимости свойств металла от его кристаллического строения».<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Д. А. Прокошкин, А. М. Самарин, Ю. Н. Сорокин. Павел Петрович Аносов. В кн.: П. П. Аносов, Собрание сочинений, Изд. АН СССР, М., 1954, стр. 13.

Существенный кристаллографический интерес представляют результаты проведенных П. П. Аносовым опытных плавок, показавших, что свойства булата зависят от количества добавленного углерода, независимо от его модификации и от «образа соединения углерода с железом». Этим П. П. Аносов объяснял и причину появления и характер узоров на булате: «Крупность и явственность или возвышенность над грунтом узоров определяет количество угля, а различное расположение их — различные степени совершенства в соединении угля с железом».<sup>2</sup>

Целый ряд очень важных кристаллографических наблюдений содержится в трудах знаменитого металлурга, основоположника металлографии как науки, — Дмитрия Константиновича Чернова (1839—1921).

В 1868 г. Д. К. Чернов опубликовал «Критический обзор статей гг. Лаврова и Калакуцкого о стали и стальных орудиях и собственные Д. К. Чернова исследования по этому же предмету». Эта классическая статья содержит описание знаменитых точек превращения стали («точек Чернова»). Основной вывод, полученный Д. К. Черновым, сводится к тому, что сталь при нагреве не остается неизменной. Существуют температуры, при которых строение и свойства стали существенно меняются. Эти критические температуры он назвал точками *a* и *b*. Особенно важное практическое значение имеет точка *b*. При нагревании до этой температуры любая сталь приобретает мелкозернистое (по Д. К. Чернову, аморфное) строение. Данный температурный предел (800—850° С для обычной стали) характеризуется красным матовым цветом нагреваемого металла. Значение этой температурной точки Д. К. Чернов описывает следующим образом: «Сталь, будучи нагрета ниже точки *b*, не изменяет своей структуры, медленно или быстро после того она охлаждается. . . как только температура стали возвысилась до точки *b*, масса стали быстро переходит из зернистого (или, вообще говоря, кристаллического) в аморфное (воскообразное) состояние, которое удерживает при дальнейшем нагревании до самой точки плавления».<sup>3</sup>

С точки зрения кристаллографии чрезвычайно любопытна аналогия, проводимая Д. К. Черновым в упомянутой статье, между металлом и кристаллизующейся солью. По этому поводу он пишет: «В этом состоянии масса стали обладает свойством несжимаемости и вместе с тем (относительно прочности аморфизма) имеет аналогию с чрезвычайно концентрированным раствором сильно кристаллизующейся соли».<sup>4</sup>

Эта мысль подробно развивается им в следующем отрывке: «Для большей ясности представим себе кристаллический кусок

<sup>2</sup> Там же, стр. 14.

<sup>3</sup> Д. К. Чернов. Критический обзор. . . Журн. Русск. металлург. общ., ч. I, 1868, № 1, стр. 27—28.

<sup>4</sup> Там же, стр. 28.

квасцов, положенный в стеклянную колбу. При осторожном нагревании мы увидим, что по достижении некоторой определенной температуры кусок делается как бы смоченным; отдельные



Д. К. Чернов (1839—1921).

кристаллы, составляющие данный кусок, будут как бы слипаться между собой, образуют одну общую расплывающуюся массу, которая, наконец, превращается в жидкость, представляющую раствор квасцов в своей кристаллизационной воде. Если вы теперь

начнете охлаждать эту жидкость, то соль начнет кристаллизоваться, и, смотря по условиям этого охлаждения, вы можете получить от самых крупных до самых мельчайших, едва заметных для глаза, кристаллов. Так, если жидкость останется в совершенном покое и будет охлаждаться весьма медленно, то получатся правильные, хорошо развитые, крупные кристаллы; если при таком же медленном охлаждении жидкость будет подвергаться постоянному сотрясению, взбалтыванию, то кристаллы получатся очень мелкими. При спокойном состоянии жидкости, но при быстром охлаждении кристаллы получатся также мелкими; наконец, наименее благоприятные обстоятельства для кристаллизации будут тогда, когда к быстрому охлаждению присоединится и сильное сотрясение жидкости. Одним словом, все зависит от того, большее или меньшее время и большую или меньшую свободу имеют частицы для своего перемещения и группирования в кристаллы; первое зависит от быстроты охлаждения, а второе — от спокойствия и большей или меньшей густоты кристаллизующейся массы.

«То же самое происходит и со структурой стали, нагретой выше точки *b*. Чем более нагрета сталь, тем более она размягчена, тем более, следовательно, свободы имеют ее частицы для группирования в кристаллы (если спокойствие массы не нарушается действием внешних сил) и чем большее время они для того имеют, тем медленнее температура понижается до точки *b*, ниже которой, как выше сказано, структура уже не изменяется. В этом случае можно провести аналогию между углеродом и кристаллизационной водой и тогда значение точки *b* становится удобопонятным».<sup>5</sup>

В приведенной цитате следует обратить внимание на положение, согласно которому все зависит от различных условий перемещения и соединения частиц в кристаллы. В примечании к статье, сделанном в 1914 г., Д. К. Чернов уже совершенно уверенно пишет: «Этот переход вполне аналогичен перемене агрегатного состояния». Через много лет, уже после смерти ученого, с помощью рентгеноанализа была доказана справедливость этих высказываний. В самом деле, при температурах, отвечающих точкам *a* и *b*, в стали происходит перестройка кристаллической структуры, связанная с полиморфными превращениями железа.

Общеизвестно практическое значение точек Чернова. Вот что пишет по этому поводу сам ученый: «Нужно стремиться достигнуть того, чтобы наши орудия были по возможности мелкозернистого сложения; для этого следует, как мы видели, после нагрева болванки до высокой температуры ковать ее до тех пор, пока она не остынет до температуры, обозначенной мной буквой *b*; тогда вместе с изменением куска в данную форму мы не дадим ему кри-

---

<sup>5</sup> Там же.

сталлизоваться и по возможности приблизим структуру его к аморфной массе».<sup>6</sup>

Для кристаллографов небезынтересно будет узнать, что на вышеупомянутую статью Д. К. Чернова, занявшего в 1889 г. кафедру в Артиллерийской академии, обратил внимание А. В. Гадолин, долгое время бывший профессором той же академии. А. В. Гадолин писал: «В сообщении г. Чернова мы встречаем замечательную попытку свести разные явления на общеизвестные физические законы и объяснить их число теоретически, научным путем».<sup>7</sup> Однако вместе с тем он указывал, что «Чернов зашел в этом далеко, стараясь объяснить такие факты, которые еще не могут быть подведены под известные нам законы физики».<sup>8</sup> В частности, А. В. Гадолин отметил спорные моменты, имеющие место в описании кристаллизации квасцов: «Так, для объяснения перехода стали из кристаллического в аморфное состояние и обратно г. Чернов приводит подобное явление, имеющее будто бы место при плавлении квасцов: он говорит именно, что. . . соль начинает кристаллизоваться, но достаточно взболтать раствор, чтобы кристаллы опять растворились при той же температуре. Такое явление противоречит всем известным законам кристаллизации. Мы знаем много примеров, что насыщенный раствор может охладиться ниже точки насыщения, не выделяя еще кристаллов, причем именно взбалтывание или мешание обуславливает сейчас кристаллизацию (как это замечается и с охлаждающейся ниже 0° водою), но обратное явление нам неизвестно».<sup>9</sup> Причину растворения кристаллов А. В. Гадолин объяснял повышением температуры: «Очевидно, что при взбалтывании жидкости слои различных температур должны были смешаться и те из них, в которых началась кристаллизация, нагрелись так, что нагревание, а не взбалтывание было причиной расплавления вновь кристаллов».<sup>10</sup>

В настоящее время все спорные моменты этой дискуссии могут быть решены. Это объясняется тем, что Д. К. Чернов и А. В. Гадолин ошибочно приписывали стали переход при температуре в аморфное состояние, тогда как на самом деле при этом образуется мелкокристаллическое сложение. Рецепт, данный Д. К. Черновым, позволяет получить мелкозернистые кристаллы, так как взбалтывание и быстрое охлаждение не дают им возможности разрастаться.

В 1878 г. была написана вторая классическая работа Д. К. Чернова — «Исследования, относящиеся до структуры литых сталь-

---

<sup>6</sup> Там же, стр. 37.

<sup>7</sup> Отзыв А. В. Гадолина о трудах Д. К. Чернова. Журн. Русск. металлург. общ., ч. I, 1915, стр. 51.

<sup>8</sup> Там же.

<sup>9</sup> Там же.

<sup>10</sup> Там же, стр. 51—52.



ных болванок».<sup>11</sup> В этой статье содержится теория кристаллизации и строения стального слитка, сохранившая свое значение и до настоящего времени. С точки зрения кристаллографии эта работа имеет и более широкое значение: она дает развернутую картину образования кристаллических скелетов и дендритов вообще. Именно с этой точки зрения недавно был дан подробный разбор этого труда в брошюре Д. Д. Саратовкина.<sup>12</sup>

Разбирая дефекты стальных слитков, Д. К. Чернов подробно останавливается на рассмотрении усадочных пустот внутри металла. Изучая стенки таких пустот, он заметил, что они покрыты друзами мелких, нагроможденных друг на друга стальных кристаллов. Скопления таких образований образуют внутри усадочных воронок рыхлые массы.

Приведем подробное описание этих кристаллических образований в том виде, как его дает сам Д. К. Чернов: «Рассматривая под микроскопом отдельные кристаллы, мы видим, что они принадлежат к разрывным кристаллам<sup>13</sup> с наибольшим разви-

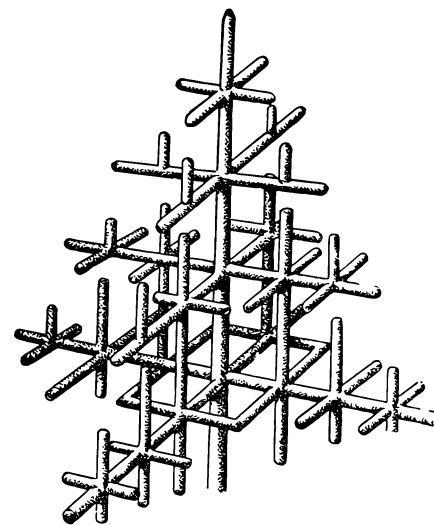


Рис. 39. Схематическое изображение дендрита, по Д. К. Чернову.

тием ростков по направлению октаэдрических осей, причем одна из них, по направлению главного роста кристалла, всегда оказывается длиннее двух других, так что каждый разрывной кристалл представляется в виде скелета вытянутого квадратного октаэдра. Кроме ростков по направлению октаэдрических осей, или ростков первого порядка, по мере удаления от вершины кристалла к его основанию мы встречаем сначала в зачатках, а затем все более и более развитые ростки второго, третьего и т. д. порядков, которые иногда образуют буквально сетчатые стропила октаэдрического кристалла. Схематическое изображение такого кристалла представлено на фиг. (рис. 39, — *И. Ш.*)».<sup>14</sup>

<sup>11</sup> Журн. Русск. металлург. общ., ч. I, 1915, № 1, стр. 91. Сообщено в имп. Русском техническом обществе 2 декабря 1878 г.

<sup>12</sup> Д. Д. Саратовкин. Дендритная кристаллизация. Металлургиздат, М., 1953.

<sup>13</sup> Так Д. К. Чернов называл скелетные кристаллы.

<sup>14</sup> Д. К. Чернов. Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок. Журн. Русск. металлург. общ., ч. I, 1915. № 1, стр. 97.

Отдельные кристаллики в большинстве случаев достигают 3 мм в длину и 1—1½ мм в поперечном сечении. Обычно они ориентированы непараллельно относительно друг друга, так что их оси удлинения перекрещиваются по всевозможным направлениям. В неко-

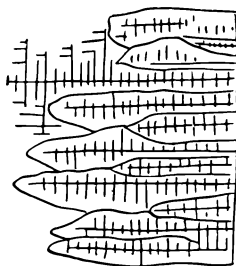


Рис. 40. Дендритное строение столбчатых кристаллов, по Д. К. Чернову.

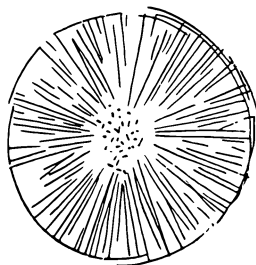


Рис. 41. Схема транскристаллизации слитка с круглым сечением, по Д. К. Чернову.

торых случаях они образуют сростки, внешне напоминающие двойники. Образование и развитие подобных кристалликов Д. К. Чернов описывает следующим образом: «Так как стенки всех усадочных пустот и всей рыхлости, окружающей центральный усадочный столб, постоянно образованы из более или менее развитых разрывных кристаллов, то мы имеем полное право заключить, что затвердевание стали идет не непрерывным нарастанием гладких слоев один на другой, а постоянным ростом разрывных кристаллов по направлению от охлаждающихся стенок изложницы к центру болванки, и притом главные оси роста кристаллов должны быть расположены нормально к охлаждающей поверхности, как изображено на фиг. (рис. 40, — *И. Ш.*). Это доказывается самым очевидным образом лучистым сложением в изломе наружного слоя болванок, когда сталь отлита в металлическую изложницу настолько горячей, что вовсе не образует наружных пузырей или только очень мало. Если диаметр круглой болванки незначителен (2—3 дюйма), в таком случае лучи проходят до самого центра болванки, как это изображено на фиг. (рис. 41, — *И. Ш.*); если сечение болванки квадратное. . . (рис. 42, — *И. Ш.*), то в изломе виден квадрат, с весьма ясно обозначающимися диагоналями, по которым происходит встреча вершин кристаллов, растущих

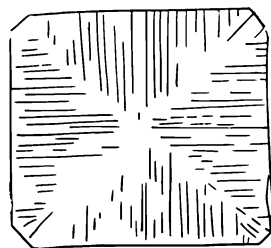


Рис. 42. Схема транскристаллизации слитка с квадратным сечением, по Д. К. Чернову.

нормально к наружной квадратной поверхности болванки.<sup>15</sup> По этим диагоналям располагаются так называемые плоскости слабости, которые так известны в отливках из закаленного чугуна. Нужно прибавить, что в усадках литейного чугуна встречаются разрывные кристаллы, весьма сходные с теми, о которых мы сейчас говорили, и что, следовательно, затвердевание жидкого чугуна идет таким же путем, как и затвердевание стали».<sup>16</sup>

В результате многочисленных наблюдений Д. К. Чернов установил, что скелетные кристаллы развиты тем яснее и отчетливее, чем тверже сталь и чем больше в ней углерода. Он предполагал, что существует тесная связь между способностью скелетных кристаллов правильно развиваться и способностью металла быстро переходить из жидкого состояния в твердое. Пустоту, образующуюся внутри металла, он объяснял ростом скелетных кристаллов. В замкнутых пространствах между ними жидкий металл продолжает служить материалом для дальнейшего роста замыкающих его кристаллических сростков. При этом металл сжимается и в результате в таком замкнутом пространстве остается усадочная пустота.

«Для уничтожения образовавшихся разрывных кристаллов, т. е. для полного растворения их в окружающей жидкой стали, достаточно, — писал Д. К. Чернов, — произвести сравнительно небольшое движение, так как всплытие газового пузыря и движение его между этими кристаллами уже достаточно для того, чтобы почти совершенно размыть их. Обстоятельство это приводит к заключению о возможности уничтожения игольчатого сложения наружных слоев стальных болванок, отлитых в металлическую изложницу, а также и о возможности уничтожения частых усадок и рыхлости внутренних частей стальных болванок. В самом деле, если при отливке стали в изложницу эту последнюю приводить в быстрое вращательное движение, тогда растущие нормально к поверхности изложницы разрывные кристаллы не в состоянии будут так сильно развиваться, как это имеет место при спокойном росте, и сталь будет нарастать гладкими, аморфного сложения слоями».<sup>17</sup>

Разбор замечательного труда Д. К. Чернова дает понятие об исключительной наблюдательности великого металлурга, его глубоко проникновении в сущность кристаллизации стали и умении применить сделанные наблюдения и выводы на практике. Все это дает полное основание считать его основоположником науки о кристаллизации металла.

Сказанным не исчерпываются кристаллографические данные, находящиеся в трудах Д. К. Чернова. Почти во всех учебниках

<sup>15</sup> В 1926 г. Ф. Ринне назвал это явление «ортотропией».

<sup>16</sup> Д. К. Чернов. Исследования, относящиеся до структуры литых стальных болванок, стр. 98.

<sup>17</sup> Там же, стр. 110.

по металлографии приводятся изображение и описание знаменитого «кристалла Чернова», найденного в усадочной раковине 100-тонного стального слитка. Этот уникальный параллельный сросток весил 3.45 кг и имел в длину 39 см (рис. 43).



Рис. 43. «Кристалл Чернова». Справа факсимиле Д. К. Чернова.

Существенный интерес представляют обнаруженные Д. К. Черновым в стали шестиугольные кристаллики корборунда, принятые им первоначально за алмаз.

Об особом интересе Д. К. Чернова к явлениям кристаллизации свидетельствуют и многочисленные факты, упоминаемые его биографами. Из них мы узнаем, что он долго и тщательно исследовал кристаллизацию самых разнообразных веществ, выращивал большие кристаллы поваренной соли и квасцов, с особым интересом следил за процессом замерзания воды. В его архиве сохранились фотографии оконных узоров льда, причем один из них, согласно

сделанной на нем надписи, был получен в 1915 г., когда ученому уже исполнилось 75 лет.<sup>18</sup>

Все приведенные выше данные показывают, что к вопросам образования металла великий металлург подходил прежде всего как кристаллограф, что и позволило ему заложить строго научные основы современного металловедения.

---

<sup>18</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Дмитрий Константинович Чернов. В кн.: Люди русской науки. т. 2, М.—Л., 1948, стр. 960—969.

---

## XVI. Г. Н. ВЫРУБОВ и А. Е. АРЦРУНИ. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ХИМИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Научная деятельность Г. Н. Вырубова (1843—1913) и А. Е. Арцруни (1847—1898) почти целиком протекала за границей. Их работы публиковались главным образом на страницах французских и немецких научных журналов. Говорить о влиянии этих ученых на развитие кристаллографии в России можно лишь с известными оговорками. Однако и Г. Н. Вырубов, и А. Е. Арцруни были тесно связаны со многими выдающимися представителями русской науки и культуры. Всю жизнь они живо следили за общественными событиями на родине и стремились по мере сил и возможности принимать в них активное участие. С горячим интересом воспринимались и пропагандировались ими за границей научные достижения русских ученых. Поэтому нельзя совершенно отрывать их деятельность от истории развития отечественной науки.

Крупные достижения, принадлежащие этим двум ученым в области химической кристаллографии, несомненно должны быть отмечены на страницах этой книги.

Григорий Николаевич Вырубов родился в 1843 г. в Москве.<sup>1</sup> Закончив Александровский лицей, он поступил на медицинский факультет Московского университета, где изучал медицину и естественные науки. Выше, в очерке о М. А. Толстопятове, уже упоминались интересные, хотя и не во всем справедливые, воспоминания Г. Н. Вырубова о студенческих годах и университетских профессорах; был отмечен также досадный инцидент, имевший место с его диссертацией. В связи с этим инцидентом Г. Н. Вырубов уехал защищать свою работу в Париж и остался там до конца жизни.

Будучи хорошо обеспеченным, молодой ученый совершил ряд путешествий по Европе и восточным странам. В Париже он тесно сошелся с кружком последователей Огюста Конта, французского буржуазного философа-агностика, основателя позитивизма, автора

---

<sup>1</sup> Л. Стр е к а л о в а. Г. Н. Вырубов (некролог). Природа, 1914, стр. 630—631. См. также: М. Н. С о р р а у х. G. Wyrouboff. Bull. de la Soc. française de Mineral., t. 37, 1914, стр. 44.

формальной, искусственной классификации наук. Вместе с учеником и последователем последнего — Литтре — Г. Н. Вырубов основал специальный философский журнал, став одним из его редакторов и постоянных авторов. В 1884 г. этот журнал прекратил свое существование и Г. Н. Вырубов всецело отдался науке. Несмотря на увлечение реакционной философией О. Конта, Г. Н. Вырубов близко стоял к передовым революционным деятелям того времени. Один из ближайших друзей А. И. Герцена, он после смерти последнего был издателем первого полного собрания его сочинений (Женева, 1870—1872 гг.).

В 1871 г., во время обороны Парижа, Г. Н. Вырубов, несмотря на свое иностранное происхождение, принял активное участие в организации санитарной службы. В 1877 г., во время русско-турецкой войны, он ездил в качестве представителя Красного Креста в Россию для управления санитарной службой Ереванского округа. Тяжело заболев лихорадкой и дезинтерией, он вынужден был, однако, уехать оттуда, не дождавшись окончания военных действий.

Его интересные воспоминания о А. И. Герцене, об осаде Парижа и Парижской коммуне были впоследствии напечатаны в русском литературном журнале «Вестник Европы».<sup>2</sup>

Г. Н. Вырубов был также и педагогом, он читал лекции по истории науки в «Collège de France» и руководил некоторыми работами в Сорбонне. В течение ряда лет он занимал пост председателя Французского минералогического общества. По воспоминаниям современников, Г. Н. Вырубов был исключительно интересным и многосторонне одаренным человеком. Вот что писал о нем автор русского некролога: «Блестящий оратор и полемист, человек прямой и искренний до глубины души, он подвизался на различных поприщах и вносил жизнь и содержание во всякое дело, к которому подходил близко. . . Его широкие взгляды, прекрасная душа, его разнообразная деятельность и большие научные заслуги — все это ставит его в ряды людей, которые не уходят бесследно, память о которых сохраняется надолго».<sup>3</sup>

Уже в первой своей научной работе о красящем веществе флюорита молодой исследователь объединил две свои любимые научные дисциплины — кристаллографию и химию. Будучи первоклассным химиком-аналитиком, Г. Н. Вырубов в то же время являлся и опытным физиком-экспериментатором, мастерски определявшим физические свойства кристаллов. Однако больше всего труда ученый посвятил исследованию кристаллических форм.

В свое время Г. Н. Вырубов был общепризнанным авторитетом по определению кристаллографических констант. Очень многие химики посылали ему для изучения полученные ими кристаллы.

<sup>2</sup> Вестник Европы, 1910, №№ 1, 2; 1911, №№ 1, 2; 1913, №№ 1, 2.

<sup>3</sup> Л. Стрелова. Г. Н. Вырубов (некролог), стр. 630—631.

Поэтому нет ничего удивительного в том, что в знаменитой «Химической кристаллографии» («Chemische Krystallographie») П. Грота имя его упоминается чуть ли не на каждой странице.



Г. Н. Вырубов (1843—1913).

Заинтересовавшись проблемой соотношения кристаллической формы и химического состава, Г. Н. Вырубов изучал не случайные кристаллы каких-либо отдельных соединений, а готовил целые серии солей одной и той же кислоты или одного основания. Он пытался проследить эволюцию кристаллических форм параллельно с изменением химического состава. Ясно, что особое его внимание должна была привлечь проблема изоморфизма.



Г. Н. Вырубов считал, что изоморфизм следует рассматривать как физическое явление, связанное с геометрией пространственных решеток, в виде которых тогда представляли кристаллические структуры. В связи с этим он различал два вида изоморфизма: истинный изоморфизм, который характеризуется тождественностью кристаллических решеток, и псевдоизоморфизм, отличающийся тем, что решетки соответствующих веществ являются лишь приблизительно тождественными. Много внимания уделялось Г. Н. Вырубовым и полиморфизму. Изучая механизм полиморфных превращений, ученый пришел к выводу о существовании двух типов полиморфизма. В одних случаях кристалл переходит в другой кристалл с сохранением граней внешней формы (такой переход является обратимым), в других — не существует никакой зависимости между первичным кристаллом и кристаллом, который из него получается; при этом происходит полное разрушение первоначальной кристаллической структуры и образование путем перекристаллизации совершенно новой структуры. Целая серия исследований Г. Н. Вырубова посвящена псевдосимметрии кристаллов.

Ряд работ относится к кристаллам, вращающим плоскость поляризации, и к оптическим свойствам растворов. Свой богатейший опыт по методике измерения кристаллов и вычислению кристаллографических констант Г. Н. Вырубов подытожил в «Практическом руководстве по кристаллографии» (*Manuel pratique de cristallographie*), изданном на французском языке в 1889 г. Эта большая книга содержит чрезвычайно полное описание техники кристаллографических измерений с помощью однокружного отражательного гониометра и вычислительных методов кристаллографии. В отдельных главах приводятся примеры вычислений для кристаллов различных сингоний. Отдельно описывается вычисление двойниковых образований. Детально объясняются способы вычерчивания кристаллов. В этой же книге мы находим и дальнейшее развитие и уточнение гониометрической методики, первые основы которой были заложены А. Я. Купфером. Однако «Руководство» Г. Н. Вырубова вскоре почти утратило свое значение. В 1889 г. Е. С. Федоров совершил полный переворот в области измерения кристаллов, создав свой теодолитный двукружный гониометр и свою новую методику кристаллографических исследований.

В 1899 г. вышел русский перевод «Минералогии» французского геолога Лаппарана с чень интересным предисловием Г. Н. Вырубова. В этом предисловии указывается необходимость отделения кристаллографии от минералогии. Вот как представлял себе Г. Н. Вырубов будущее этих двух наук: «Одна часть теперешней минералогии, часть чисто описательная, возвратится к своему прежнему положению и присоединится к геологии, где она составит вместе с геогнозией или петрографией особую главу. Для

такой науки не нужны никакие особые математические или физические теории: она пользуется всякими внешними признаками, взятыми из разных наук, так же как ботаник пользуется микроскопом или разными химическими реакциями, вовсе не интересуясь теорией оптических стекол или химических формул.

«Другая часть, заключающая в себе все то, что относится к форме, строению и свойствам кристаллизованного вещества, составит особый отдел физики, не имеющий ничего общего с описанием минералов и их месторождений. Для этих двух частей нужны совсем различные ученые, различные и по научной подготовке и по приемам мышления. Одни должны быть натуралистами и прежде всего геологами, другие — экспериментаторами и прежде всего физиками в самом обширном смысле этого слова. К несчастью, такое рациональное деление труда до сих пор еще не сознается, за немногими исключениями, ни учеными, ни педагогами. Отсюда происходит целый ряд самых прискорбных последствий, много мешающих успешному ходу развития науки. Минералоги, вместо того чтобы заниматься минералами, вмешиваются в решение самых сложных вопросов кристаллографии, без всякой для того научной подготовки. Математики продолжают вращаться в сфере чисто абстрактных соображений, из которых большая часть совершенно неприложима к конкретным фактам наблюдения. Масса труда теряется, таким образом, совершенно бесполезно, и не только не уясняются существующие вопросы, но значительно осложняются самые простые задачи. Из этого заколдованного круга только один выход. Надо, чтобы минералогия как часть землеведения преподавалась естественникам, а физика кристаллических веществ — слушателям, вполне знакомым с приемами высшей математики. Только этим путем образуется мало-помалу школа, в которой те и другие будут почерпать необходимые для них сведения».<sup>4</sup>

Исторический ход развития науки полностью подтвердил прогноз Г. Н. Вырубова. Лучшей иллюстрацией к сказанному может служить следующая цитата из недавно появившейся публикации акад. Н. В. Белова: «Кристаллография, как известно, лежит посередине треугольника: физика—химия—минералогия. До недавнего времени — в силу исторических причин — она была ближе всего к минералогической вершине, за последние же годы смещается к физической, что нашло свое внешнее выражение в переходе Института кристаллографии в Физико-математическое отделение Академии наук, внутреннее же — в заполнении большинства лабораторий института молодыми физиками».<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> См. предисловие Г. Н. Вырубова в кн.: Л а п п а р а н. Минералогия. М., 1899, стр. 12—13.

<sup>5</sup> Н. В. Белов. О курсе геометрической кристаллографии для физиков. Кристаллография, т. II, вып. 5, 1957, стр. 678.

Кристаллохимические исследования Г. Н. Вырубова по своей тематике близко совпадали с направлением научной работы А. Е. Арцруни. В центре внимания обоих ученых стоял вопрос о связи геометрических и физических особенностей кристаллов с их химическим составом.

Андреас (Андрей) Еремеевич Арцруни, армянин по национальности, родился в Москве в 1847 г. В 1863 г. он поступил в Петербургский университет, но вскоре перешел в Дерптский, а затем в Гейдельбергский университет. В течение ряда лет А. Е. Арцруни работал в Страсбурге ассистентом П. Грота, оказавшего большое влияние на научное творчество молодого ученого. Затем он стал приват-доцентом Берлинского университета, экстраординарным профессором Бреславльского университета и, наконец, ординарным профессором Технической высшей школы в Аахене. В последнем учебном заведении он и работал до конца своей жизни.

Сам А. Е. Арцруни не был удовлетворен своей профессурой. По этому поводу В. И. Вернадский писал: «Деятельность его в Германии сложилась не особенно благоприятно. Являясь одним из самых авторитетных, работающих и научно-образованных профессоров минералогии в Германии, он стоял вдалеке от университетских кафедр. Ему не удалось занять ни одной из них; на открывавшиеся вакансии избирались нередко лица, обладающие сравнительно малым научным авторитетом. Отчасти причиной этого было его положение как иностранца, которое он сохранил в Германии, кажется, до последних лет своей жизни. Но много влияла прямота и резкость его характера».<sup>6</sup>

К сожалению, окончилась неудачей и его попытка получить кафедру в России, куда он особенно стремился. О его горячем стремлении вернуться на Родину красноречиво свидетельствуют следующие слова П. В. Еремеева: «Находясь с давнего времени в близких отношениях с покойным Арцруни и пользуясь всегдашним его вниманием, считаю себя вправе заявить, что постоянным его желанием, можно сказать всегдашнею и заветною мечтою, было поселиться когда-нибудь навсегда в отечестве и приносить ему своими учеными трудами посильную помощь».<sup>7</sup>

Научная деятельность А. Е. Арцруни была тесно связана с Петербургским минералогическим обществом. По поручению последнего он несколько раз ездил на Урал с целью проведения минералого-геологических исследований и написания «Минералогии Урала», над которой он работал в последние годы жизни. Этот любимый труд ученого остался, к сожалению, незаконченным.

---

<sup>6</sup> В. И. Вернадский. Андрей Еремеевич Арцруни. В кн.: В. И. Вернадский. Очерки и речи, ч. II. Химико-техн. изд., Пгр., 1922, стр. 121.

<sup>7</sup> П. В. Еремеев. Речь, посвященная памяти А. Е. Арцруни. Зап. Минералог. общ., ч. 36, 1899, стр. 30—32.

Работая в Германии, А. Е. Арцруни был тесно связан с представителями русской науки и неоднократно пропагандировал их достижения. Эта сторона его деятельности была отмечена В. И. Вер-



А. Е. Арцруни (1847—1898).

надским в следующих словах: «Нельзя не упомянуть об его заслугах по отношению к русским исследователям: многие работы, напечатанные на русском языке, сделались известны в научной литературе только благодаря его стараниям и указаниям (напр., работы Сушина, Ерофеева и т. п.)». <sup>8</sup> В 1895 г. А. Е. Арцруни был избран членом-корреспондентом Петербургской Академии наук.

В следующем, 1896 г. он поехал в английскую Гвиану для оценки золотых месторождений. Поездка оказалась роковой. Вредный климат Гвианы пагубно повлиял на слабое здоровье

---

<sup>8</sup> В. И. В е р н а д с к и й. Андрей Еремеевич Арцруни, стр. 121.

ученого и ускорил его кончину. Умер А. Е. Арцруни в Германии в 1898 г.

Большинство научных работ А. Е. Арцруни, число которых достигает восьмидесяти, содержит описания минералов, а также результаты изучения отдельных месторождений. Им изучалась минералогия Южного и Среднего Урала, Кавказа и Закавказья, Германии, Египта, Южной Америки. В частности, им были описаны редчайшие уральские минералы: розовые топазы, изумруды, эвклазы, хромтурмалины и др.<sup>9</sup> В этих работах мы находим кристаллографические описания наряду со сведениями о физических и химических свойствах минералов. Нередко в них затрагиваются и вопросы кристаллохимического порядка (например, в работе «Связь между кристаллической формой и составом железного арсенопирита», 1883 г.).

Другая, наиболее интересная для нас линия творчества А. Е. Арцруни уже всецело относится к области химической кристаллографии. Результаты исследований в этой области ученый успел обобщить и суммировать в обширном труде «Физическая химия кристаллов» («Physikalische Chemie der Krystalle», 1893 г.).

Книга эта до сих пор является очень ценным справочным изданием по вопросам химической кристаллографии. С исключительным знанием дела А. Е. Арцруни сумел собрать в ней все известные в то время фактические данные по химии кристаллов. В небольшом введении автор знакомит читателя с геометрическими и физическими свойствами кристаллов. Далее следует основная часть труда под характерным заглавием «Связь между кристаллической формой и химическим составом», текст которой разбивается на три раздела: «Полиморфизм», «Изоморфизм» и «Морфотропия». Здесь рассматриваются все известные в то время кристаллические вещества, критически пересмотренные и систематически сгруппированные по трем вышеуказанным разделам.

Из выводов А. Е. Арцруни особенный интерес представляют установленные им на основе сопоставления огромного фактического материала «изоморфные ряды химических элементов».<sup>10</sup> Эти обобщения нашли свое дальнейшее развитие в трудах В. И. Вернадского. Сам В. И. Вернадский упомянул своего предшественника в следующих строках: «Кажется, в наиболее ясной форме идея изоморфных рядов была разработана Беданом, потом Мариньяком (1859 г.) и позже Андреем Еремеевичем Арцруни».<sup>11</sup>

Ниже приводятся десять изоморфных рядов элементов по А. Е. Арцруни:

<sup>9</sup> Е. О. Романовский и др. Arzruniana. Список ученых трудов А. Е. Арцруни. Зап. Минералог. общ., ч. 36, 1899, стр. 477—488.

<sup>10</sup> A. Arzruni. Physikalische Chemie der Krystalle. Braunschweig, 1893, стр. 98—120.

<sup>11</sup> В. И. Вернадский. Парагенезис химических элементов в земной коре. В кн.: Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей, М., 1910, стр. 73—91.

- I. H, K, Rb, Cs, Am, Tl, Na, Li, Ag.
- II. Be, Zn, Cd, Mg, Mn, Fe, Os, Ru, Ni, Pd, Co, Pt, Cu, Ca, Sr, Ba, Pb.
- III. La, Ce, Di, Y, Er.
- IV. Al, Fe, Cr, Co, Mn, Ir, Rh, Ga, In (Ti).
- V. Cu, Hg, Pb, Ag, Au.
- VI. Si, Ti, Ge, Zr, Sn, Pb, Th, Mo, Mn, U, Ru, Rh, Ir, Os, Pd, Pt, Te (?).
- VII. N, P, V, As, Sb, Bi.
- VIII. Nb, Ta.
- IX. S, Se, Cr, Mn, Mo, W, Te (?), As, Sb.
- X. F, Cl, Br, J, Mn, Cy.

Недавно С. Т. Тигранян заново пересмотрела ряды А. Е. Арцруни и сравнила их со знаменитыми восемью изоморфными рядами В. И. Вернадского.<sup>12</sup> Важно отметить, что А. Е. Арцруни уже усно признавал факт изменяемости изоморфных рядов под влиянием изменений температуры и давления. Это положение было им доказано на примерах барита, целестина, англезита и др.

Лучшая характеристика творчества А. Е. Арцруни в области кристаллографии, вместе с оценкой его обобщающего труда, находится в уже упоминавшейся выше статье В. И. Вернадского. Нельзя не привести из нее относящегося сюда отрывка: «По складу своего ума А. Е. Арцруни принадлежал к точным наблюдателям и экспериментаторам; он оставался в стороне и относился довольно холодно к различным теоретическим обобщениям, которые занимают такое важное и решающее место, особенно в кристаллографии. Результатом его многолетней работы является огромная масса кристаллографических и оптических измерений, химических анализов и точных парагенетических описаний. В этой массе совершенно теряются немногие обобщения, которые он решался делать. В кристаллографии с самого начала его интересовали вопросы химии кристаллов, т. е. зависимости физических и геометрических свойств твердого вещества от химического состава. Результаты его работы были соединены им в 1893 году в солидной обобщающей работе «*Physikalische Chemie der Krystalle*». Эта работа является монументальным памятником совершенно исключительного владения печатным материалом; она сохранит надолго значение необходимой справочной книги для всякого работника в этой области благодаря тщательной критике чрезвычайно полно собранного материала».<sup>13</sup>

Несколько иначе оценил книгу А. Е. Арцруни Е. С. Федоров. Замечательный теоретик, видевший сущность научного творчества в раскрытии общих глубочайших закономерностей, он не мог удовлетвориться одним эмпирическим подходом в вопросах о химизме кристаллов. Перечисляя крупнейшие сводки по кристалло-

<sup>12</sup> С. Т. Тигранян. Кристаллохимия XIX века в освещении А. Е. Арцруни и Е. С. Федорова. Доклад на Федоровской сессии. Архив Федоровского института при Ленинградском горном институте, 1949 г.

<sup>13</sup> В. И. Вернадский. Андрей Еремеевич Арцруни, стр. 122.

графии, к которым им была отнесена и книга А. Е. Арцруни, Е. С. Федоров писал: «Одни из этих сочинений, например Баумгауэра, блестят оригинальностью, но не отличаются полнотой, другие, например Арцруни, довольно полны, но носят компилятивный характер».<sup>14</sup>

В настоящее время, несмотря на отсутствие в книге А. Е. Арцруни глубоких теоретических обобщений, мы все же высоко ценим его труд, систематизировавший огромный материал по химии кристаллов и тем самым давший надежный фундамент для дальнейших теоретических построений в этой области.

---

<sup>14</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Реферат сочинения В. И. Вернадского «Явления скольжения (сдвига) кристаллического вещества». Ежегодн. по геологии и минералогии России, т. III, отд. 4, 1898—1899, стр. 9—11.

---

## **XVII. Р. А. ПРЕНДЕЛЬ, Б. З. КОЛЕНКО, К. Д. ХРУЦОВ И ДРУГИЕ. РАБОТЫ ПО КРИСТАЛЛОГРАФИИ МИНЕРАЛОВ И ИСКУССТВЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ**

В настоящем очерке дается обзор ряда кристаллографических работ различных авторов, работавших в конце прошлого и начале настоящего века. Основные интересы упомянутых ученых относились главным образом к области минералогии и петрографии, однако достигнутые ими успехи в изучении кристаллов заслуживают упоминания в истории кристаллографии.

Научная и педагогическая деятельность первого из них, Ромула Александровича Пренделя (1851—1904), была целиком связана с Новороссийским (ныне Одесским) университетом.<sup>1</sup> С 1863 по 1873 г. он был студентом этого университета, избрав своей специальностью геологию и минералогию. С 1878 г. Р. А. Прендель работал в качестве лаборанта, а затем приват-доцента на кафедре минералогии. В 1887 г. он защитил в Петербургском университете диссертацию «О вилуите» и получил степень магистра минералогии и геогнозии. В следующем году он был командирован за границу, где занимался в лаборатории Г. Чермака (Вена).

В 1890 г. Р. А. Прендель защитил докторскую диссертацию на тему «Об изодиморфной группе сурьмянистой и мышьяковистой кислот». В 1891 г. он был избран экстраординарным, а в 1897 г. — ординарным профессором Новороссийского университета. В 1904 г. он вышел в отставку и в том же году умер.

Помимо кристаллографических и минералогических работ, Р. А. Пренделю принадлежат геологические исследования окрестностей Одессы и Кавказа.

В последние годы жизни он особенно увлекался изучением метеоритов. Вот что писал по этому поводу автор некролога: «В этой области он заслужил себе неувядаемую славу как первый русский ученый-метеоритолог».<sup>2</sup> Им была собрана прекрасная коллекция метеоритов, хранящаяся в минералогическом каби-

---

<sup>1</sup> М. С и д о р е н к о. Профессор Р. А. Прендель (некролог). Ежегодн. по геол. и минералог. России, т. II, 1904—1905, стр. 103—106.

<sup>2</sup> Там же, стр. 104.



нете Одесского университета. По его же предложению в 1894 г. на заседании секции минералогии и геологии IX съезда русских естествоиспытателей и врачей в Москве было принято решение об издании особого распоряжения, по которому все найденные метеориты доставлялись бы в музеи высших учебных заведений.

В 1898 г. Р. А. Прендель был командирован за границу для изучения производства керамики. Его отчет об этой поездке сыграл известную роль при разработке проекта развития керамической промышленности в России.

В литературе, посвященной А. Е. Ферсману, можно встретить ряд отрицательных оценок педагогической деятельности Р. А. Пренделя. В одной из статей мы читаем: «Лекции по минералогии читал проф. Прендель, типичный представитель господствовавшего тогда описательного направления в этой науке. Лекции его были сухи, скучны, совершенно не освещали вопросов генезиса минералов и не могли удовлетворить запросов и интересов А. Е. [Ферсмана]». <sup>3</sup> И во второй: «В конце концов в Одессу попал Прендель, скучнейший профессор, который чуть не отвратил на всю жизнь от минералогии А. Е. Ферсмана, когда тот поступил в Одесский университет». <sup>4</sup> «Лекции по геологии и минералогии, которые читал проф. Р. А. Прендель, — пишет автор третьего отзыва, — были скучны, формальны и могли только расхолодить живого слушателя». <sup>5</sup> Наконец, в последнем отзыве говорится: «Нет основания предполагать, что Прендель поднимался на университетскую кафедру с заранее обдуманном намерением задуть у своих учеников стремление заниматься минералогией. Достаточно было того, что он излагал этот предмет в меру своего собственного разумения. . . Минералогия в его глазах представляла собой не что иное, как подробное описание минералогических образцов, привязанных к географическим координатам. . . В сущности, вся вина Пренделя в том, что он — кроткий, седой, улыбающийся — был начетчиком в своей науке». <sup>6</sup>

Думается, что не все в этих отзывах вполне справедливо. Конечно, Р. А. Прендель не мог удовлетворить А. Е. Ферсмана, страстно интересовавшегося «жизнью» минералов — условиями и особенностями их генезиса. Однако в его лекциях очень подробно и серьезно разбирались физико-химические свойства кристаллов.

---

<sup>3</sup> В. А. В а р с а н о ф ь е в а. Александр Евгеньевич Ферсман. Бюлл. Моск. общ. испытателей природы, отд. геолог., т. 21, 1946, стр. 66.

<sup>4</sup> В. А. В а р с а н о ф ь е в а. К истории русской науки. Борис Захарович Коленко. Бюлл. Моск. общ. испытателей природы, отд., геолог., т. 22, 1947, стр. 105.

<sup>5</sup> Д. И. Щ е р б а к о в. Александр Евгеньевич Ферсман и его творчество. В кн.: А. Е. Ф е р с м а н. Кристаллография алмазов. Изд. АН СССР, М.—Л., 1955, стр. 492.

<sup>6</sup> О. П и с а р ж е в с к и й. Александр Евгеньевич Ферсман. Изд. «Молодая гвардия», М., 1955, стр. 28—29.

Недаром Е. С. Федоров считал Р. А. Пренделя «самым подготовленным из университетских преподавателей».



Р. А. Прендель (1851—1904).

Р. А. Прендель одним из первых пытался ввести в преподавание федоровскую методику, но не смог этого сделать из-за недостатка в средствах.<sup>7</sup> Он же впервые высоко оценил «Курс кри-

<sup>7</sup> Письма Е. С. Федорова к И. В. Мушкетову. Сб. «Кристаллография», вып. 3, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1955, стр. 178.

сталлографии» Е. С. Федорова, назвав его «учебником будущего». В «Воспоминаниях» почетного академика Н. Ф. Гамалея мы читаем: «Доцент Прендель читал кристаллографию. Я помню, что старался строить в уме различные кристаллографические системы, но это удавалось мне только для наиболее простых».<sup>8</sup>

Переходя к кристаллографическим трудам Р. А. Пренделя, отметим прежде всего ряд изданных им учебников. В 1884 г. им был опубликован второй после курса кристаллографии Н. И. Кокшарова оригинальный русский учебник по морфологической кристаллографии, а в 1896 г. появились литографированные

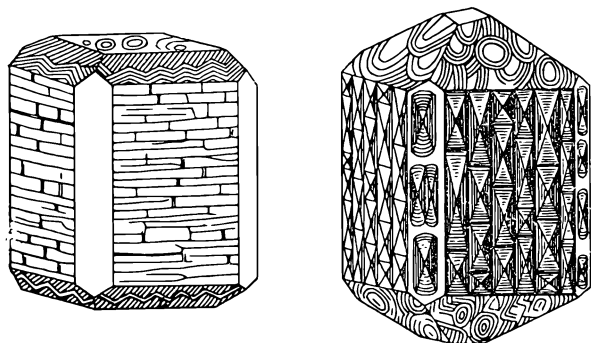


Рис. 44. Скульптура на гранях вилуита, по Р. А. Пренделю.

«Лекции по кристаллофизике и кристаллохимии». Из оригинальных работ Р. А. Пренделя наиболее примечательна диссертация «О вилуите».<sup>9</sup> В ней описаны результаты кристаллографического, оптического и химического изучения кристаллов вилуита, а также интересные вицинальные образования на гранях этого минерала. Опубликованные им рисунки впоследствии неоднократно помещались в учебниках минералогии и кристаллографии (рис. 44).

Особое внимание Р. А. Пренделя привлекло различие в физических свойствах центральных и периферических частей кристаллов вилуита, которое сказывается и на их химическом составе: «Центральная часть содержит более закиси железа, периферическая же — сравнительно более окиси».<sup>10</sup> Помимо этого, он считал возможным и «различие в молекулярном строении вещества центральной и периферической частей вилуита»: «С оптической точки зрения мы вправе считать центральную часть за обладающую свойствами тетрагональной системы, периферическую же — за

<sup>8</sup> Н. Ф. Гамалея. Воспоминания. Изд. АН СССР, М.—Л., 1947, стр. 19.

<sup>9</sup> Р. А. Прендель. О вилуите. Зап. Новороссийск. общ. естествоиспытателей, т. 12, вып. 2, 1887.

<sup>10</sup> Там же, стр. 40.

имеющую характерные оптические признаки ромбической системы».<sup>11</sup> В разрезах кристаллов Р. А. Прендель обнаружил пирамиды роста и дал их описание и изображение: «Кристаллы вилуита не представляя внутри сливной массы, а состоят из двоякого рода вещества: одного, идущего к центру от плоскостей призм, и другого, вдающегося от конечных пинакоидов и плоскостей призм».<sup>12</sup> Он внимательно изучил физические и химические особенности этих частей кристаллов: «Часть кристалла вилуита, построенная из первого вещества, обладает большим углом оптических осей, чем часть, состоящая из второго вещества. . . Удельный вес вилуита в различных частях его неодинаков. Части кристалла, вдающиеся конусом от плоскостей пинакоида и пирамид, имеют меньший удельный вес, чем части, отходящие от плоскостей призм».<sup>13</sup>

«При охлаждении нагретых кристаллов вилуита, — пишет он далее, — все вещество конусов, идущих от плоскостей пинакоидов и пирамид, заряжается положительным пироэлектричеством, вещество же частей, отходящих внутрь кристалла от плоскостей призм, проявляет при этом отрицательное пироэлектричество».<sup>14</sup>

Приведенные цитаты показывают, как тщательно и разносторонне подходил Р. А. Прендель к изучению открытых им на вилуите пирамид роста. Напомним, что знаменитая работа Ф. Бекке, описывающая строение кристаллов из таких пирамид, была опубликована лишь в 1894 г.

В 1891 г. А. Н. Карножицкий дал следующую оценку монографии Р. А. Пренделя: «Превосходная работа о вилуите Р. А. Пренделя, который первый у нас в России начал заниматься кристаллофизикой оптически аномальных веществ, доказала для вилуита тот род структуры, который немецкие авторы называли „Структурой песочных часов“».<sup>15</sup>

Докторская диссертация Р. А. Пренделя «Об изодиморфной группе сурьмянистой и мышьяковистой кислот» всецело относится к области кристаллохимии.<sup>16</sup> В результате исследования кристаллов, относящихся к вышеупомянутым кислотам, ученый пришел к выводу о постоянном наличии среди полиморфных модификаций одного наиболее устойчивого представителя. Кроме того, он отметил стремление полиморфных веществ переходить в модификации, обладающие более симметричной структурой.

Среди небольших кристаллографических заметок Р. А. Пренделя заслуживают упоминания «Несколько слов о кристалличе-

<sup>11</sup> Там же, стр. 40—41.

<sup>12</sup> Там же, стр. 47.

<sup>13</sup> Там же.

<sup>14</sup> Там же, стр. 47—48.

<sup>15</sup> А. Н. Карножицкий. Кристаллооптические исследования турмалина. Зап. Минералог. общ., ч. 27, 1891, стр. 263.

<sup>16</sup> Зап. Новороссийск. общ. естествоиспытателей, т. 15, вып. 1, 1889; вып. 2, 1890.

ской форме льда» (1890 г.), где устанавливается кристаллизация воды в двух модификациях гексагональной и кубической.<sup>17</sup> Р. А. Пренделю же принадлежит и первое описание кавказских скрученных кристаллов кварца.<sup>18</sup> Все эти работы сыграли свою роль в деле развития кристаллографии в России и не должны быть забыты.

Из учеников Р. А. Пренделя следует упомянуть Михаила Дмитриевича Сидоренко (1859—1927), профессора минералогии и кристаллографии Одесского университета.

М. Д. Сидоренко известен как один из первых исследователей осадочных образований в нашей стране. Вместе с тем в списке его работ мы находим также ряд статей кристаллографического характера. В частности, им были описаны кристаллические формы градин (1899 г.), двойниковые образования гипса (1906 г.), искусственные кристаллы пропионового иттрия (1910 г.) и др.

Из более крупных работ отметим статью «Уругвайский аметист».<sup>19</sup> Автор ее установил, что при нагревании выше 300° кристаллы аметиста теряют свою окраску и становятся прозрачными. Если нагревание длится недолгое время, то окраска при охлаждении восстанавливается; в случае длительного нагревания окраска не возвращается, при этом изменяется и удельный вес (с 2.8 до 2.6). Пластинки, вырезанные из аметиста перпендикулярно главной оси, показывают оптическую двуосность. Фигуры травления на гранях аметиста, вызванные действием плавиковой кислоты, не похожи на соответственные фигуры на гранях кварца. Все эти наблюдения привели М. Д. Сидоренко к выводу, что аметист, имея наружную форму кварца, на самом деле принадлежит к кристаллическим формам ромбической симметрии (ромбо-тетраэдрический вид?) и, следовательно, является миметическим минералом.

В результате нагревания в аметисте происходит молекулярная перегруппировка, переводящая его в нормальный кварц.

Свою статью М. Д. Сидоренко заключает следующими словами: «На основании всего вышеприведенного аметист должен быть признан за совершенно самостоятельную разность кристаллического кремнезема, равноправную с кварцем и тридимитом».<sup>20</sup>

Несомненной заслугой М. Д. Сидоренко является издание в 1912 г. русского перевода «Введения в химическую кристаллографию» П. Грота (под его редакцией и с его предисловием).<sup>21</sup>

<sup>17</sup> Вестн. естествозн., 1890, № 8.

<sup>18</sup> Р. А. Прендель. Заметка о горном хрустале с горы Казбек. Ежегодн. по геолог. и минералог. России, т. 3, 1898—1899.

<sup>19</sup> М. Д. Сидоренко. Уругвайский аметист. Зап. Новороссийск. общ. естествоиспытателей, т. 15, вып. 2, 1890.

<sup>20</sup> Там же, стр. 57.

<sup>21</sup> В. Л. Мильгевская - Рутковская. М. Д. Сидоренко. (К 100-летию со дня рождения). Минералог. сборник Львовск. геолог. общ., № 14, 1960, стр. 380—385.

Борису Захаровичу Коленко (1856—1946) принадлежит лишь одна кристаллографическая работа — «Полярное электричество кварца по отношению к его кристаллографическому характеру. Гемиморфизм, гемиздрия» (1884 г.). Однако эта работа, представлявшая в свое время существенный интерес, не должна быть забыта в истории кристаллографии.

Уроженец г. Кишинева, Б. З. Коленко после окончания классической гимназии в 1875 г. поступил в Петербургский университет. Здесь он избрал своей специальностью геологию и был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию. Вскоре, разочаровавшись в руководстве профессора геологии А. А. Иностранцева, мало интересовавшегося своими учениками, он покинул университет и уехал во Владикавказ в качестве гимназического преподавателя географии и естествознания.

В 1882 г. он едет за границу, чтобы получить научную специальность, воспользовавшись для этой поездки оставленным ему отцом небольшим наследством. Более полутора лет Б. З. Коленко пробыл в Страсбурге, где прослушал курсы кристаллографии и минералогии у знаменитого П. Грота и прошел курс практической физики у А. Кундта, хорошо ознакомившись с измерительными приборами.

П. Грот предложил работать ему в области кристаллографии — над темой «Редкие грани на кварце». Б. З. Коленко решил не ограничиваться этой чисто описательной, узкой темой. Применяв метод опыления А. Кундта, он занялся изучением вопроса распределения электрических зарядов на кристаллах кварца. Полученные им результаты подробно разобраны ниже. Параллельно с этой работой им проводились петрографические исследования изверженных пород Новой Зеландии.

В 1884 г. Б. З. Коленко вернулся в Россию, сдал магистерские экзамены и успешно защитил в Петербургском университете диссертацию на тему «Полярное электричество кварца по отношению к его кристаллографической форме». Несмотря на то что диссертация получила высокую оценку и обратила на себя внимание, попытки Б. З. Коленко занять кафедру минералогии сперва в Одесском, а затем в Варшавском университете потерпели неудачу. С этого времени Б. З. Коленко навсегда отошел от кристаллографии и минералогии. Он снова стал гимназическим преподавателем, сперва в Екатеринодаре, а позднее в Пятигорске и Кутаисе. Лишь урывками, по временам занимался он геологией и петрографией. Так, в 1907—1909 гг. им изучались разрезы по Кругобайкальской железной дороге и собирался материал для «Петрографических эскизов».

Только после революции Б. З. Коленко получил возможность целиком отдаться научной работе и заняться преподавательской деятельностью в высшем учебном заведении. Он становится стар-

шим петрографом в Институте минерального сырья и преподавателем Московской горной академии (1918—1924 гг.). Последние годы жизни Б. З. Коленко занимался преимущественно петрографией. Для его исследований, по словам акад. Д. С. Белянкина, характерны «всесторонний охват изучаемого предмета, изящество и точность работы, логичность и убедительность теоретических построений».<sup>22</sup> Почти до самой смерти Б. З. Коленко продолжал научную работу. Свои микроскопические исследования он прекратил лишь тогда, когда совсем ослабело зрение.

В мае 1946 г. геологическая общественность Москвы отметила замечательный юбилей — девяностолетие со дня его рождения. В декабре того же года Б. З. Коленко скончался.

Остановимся подробнее на единственной кристаллографической работе Б. З. Коленко — «Полярное электричество кварца по отношению к его кристаллографическому характеру. Гемиморфизм. Гемиздрия».<sup>23</sup> Это сочинение подразделяется на две существенно различные части.

Первая часть содержит результаты экспериментальных исследований пьезоэлектрических свойств кварца. Исследования производились по известному способу А. Кундта. Нагретый сперва до температуры 40—50° и затем охлаждаемый кристалл кварца посыпался из кожного меха порошковой смесью сурика и серы. Понижение температуры вызывало в кварце появление электрических зарядов. При этом желтый порошок отрицательно заряженной серы притягивался положительно заряженными участками кварца, а красный порошок электрически положительного сурика покрывал участки, заряженные отрицательно. Пользуясь такой методикой, Б. З. Коленко установил несколько важных кристаллографических закономерностей и внес ясность в ряд вопросов, вызывавших споры между иностранными учеными — Ганкелем, П. Кюри, Фриделем и др. Прежде всего он нашел, что в монокристаллах кварца электрические зоны распределяются вдоль ребер гексагональной призмы, причем их границы проходят параллельно этим ребрам. Далее им было установлено, что три ребра гексагональной призмы, притупленные гранями тригональной дипирамиды и трапецоэдра, всегда обнаруживают при охлаждении с поверхности отрицательное электричество. Чередующиеся с ними остальные три ребра гексагональной призмы электризуются при этом положительно.

Отсюда вытекает важное следствие, согласно которому распределение полярного электричества относительно граней кварца позволяет разделить кристаллы его на правовращающие и левовращающие плоскость поляризации. Все сказанное относится

---

<sup>22</sup> Д. С. Б е л я н к и н. О петрографических работах Б. З. Коленко. Изв. АН СССР, 1939, № 3, стр. 142.

<sup>23</sup> Горн. журнал, 1884, № 9, стр. 395—439; № 10, стр. 72—102.

к простым кристаллам. Однако, как известно, для кварца такие кристаллы являются исключительной редкостью. Подавляющее же большинство кристаллических образований этого минерала представляет сложные двойниковые образования. Относительно последних Б. З. Коленко сформулировал следующее важное положение: «Всякий кристалл, на котором даже без внешних признаков его двойникового срастания распределение электрических полярных зон оказывается аномальным (не чередующимся), бесспорно есть двойник».<sup>24</sup> Так было установлено, что пирозлектрические исследования позволяют просто и точно изучать двойники кварца. Описанию таких исследований и посвящена значительная часть работы ученого.

Б. З. Коленко подробно исследовал и установил кристаллографические законы, относящиеся к пирозлектрическим явлениям на кварце — как на однородных кристаллах кварца, так и на кварцевых двойниках.

Первая часть его труда получила в свое время самое широкое признание и вошла в историю кристаллографии как одна из славных ее страниц.

Вторая часть сочинения Б. З. Коленко носит чисто теоретический характер. Изучение нескольких редких двойниковых образований побудило его пересмотреть вопрос о симметрии самого кварца и одновременно заново проанализировать вопрос о видах симметрии для кристаллов вообще. Напомним, что гемиморфными в то время назывались кристаллы, обладающие полярными направлениями. Гемиморфизм представлял собой один из типов гемиздрии, при котором число граней полногранных форм уменьшалось вдвое.

В связи с этим, несмотря на наличие уже имевшегося и известного ему вывода 32 видов симметрии А. В. Гадолина, Б. З. Коленко решил заново пересмотреть возможные подразделения кристаллографических систем (сингоний). С этой целью он пошел не по пути А. В. Гадолина, исходившего из совокупностей элементов симметрии, а обратился к старинному способу К. Ф. Наумана, базировавшегося на рассмотрении наиболее полногранных форм каждой сингонии, и путем закономерного уменьшения числа граней пытался вывести неполногранные формы общего типа. При этом он считал, что «пропускание в законном порядке плоскостей полногранной формы есть не механический прием построения геометрической формы кристаллов — оно выражает собой в действительности тот путь, каким формы полногранные недоразвиваются в гемиздричные».<sup>25</sup> В результате такого подхода Б. З. Коленко нашел все те формы, которые мы называем общими для всех видов симметрии. Однако, очевидно в связи с недоучетом дей-

---

<sup>24</sup> Там же, № 9, стр. 422.

<sup>25</sup> Там же, № 10, стр. 83.



ствия элементов симметрии, он рассматривал пинакоид как комбинацию двух моноэдров, ромбическую призму как совокупность двух диэдров и исключил гемиедрию моноклинной сингонии (планальный вид симметрии  $P$ ) и гемиедрию триклинной сингонии (примитивный вид симметрии —).

Такое разногласие с выводами А. В. Гадолина Б. З. Коленко пытался обосновать рассуждениями о внутреннем строении кристаллов. Им выдвигалась ничем не обоснованная гипотеза, согласно которой изменение химического состава влечет за собой изменение кристаллографической системы (сингонии), а изменение физических условий может переводить полногранные формы в гемиедричные в пределах одной и той же системы.

Современного читателя не может не удивить отрицание Б. З. Коленко двух вышеупомянутых видов симметрии, твердо установленных А. В. Гадолиным в его непогрешимо строгом выводе 32 подразделений кристаллографических систем. Однако не следует забывать, что во время выхода в свет работы Б. З. Коленко этот вывод, несмотря на свою 15-летнюю давность, еще не дошел до сознания всех кристаллографов. Лишь после появления работ Е. С. Федорова стало ясно значение для кристаллографии математического учения о симметрии. Сам же Б. З. Коленко, ссылаясь на авторитеты заграничных ученых — Наумана, Либипа, Грайлиха, указывал, что вопреки А. В. Гадолину большинство кристаллографов «говорит о гемиморфизме скорее как о любопытном, необыкновенном явлении, чем о правильном, следующем законе кристаллографии».<sup>26</sup> Даже такой крупный специалист-кристаллограф, как П. Грот, считал невозможной выведенную А. В. Гадолиным гексагональную «пирамидальную гемиморфию» (т. е. гексагонально-примитивный вид симметрии —  $L_6$ ).

Эта часть работы Б. З. Коленко побудила молодого Е. С. Федорова выступить со специальной критической статьей. В ней прежде всего дается высокая оценка первой части труда: «Чрезвычайно простой и наглядный способ Кундта, который применен автором в его исследованиях, дал ему возможность сделать важный шаг в изучении структуры кварца. . . Его опыты еще раз подтвердили взгляды кристаллографов, руководящихся идеей тесной связи геометрических и физических свойств кристаллов».<sup>27</sup> Однако Е. С. Федоров подчеркивает, что упомянутая идея, служившая «путеводной звездой» при многих кристаллографических исследованиях, «только тогда выступает во всем своем значении, когда вполне уяснены сами относящиеся сюда математические законы».<sup>28</sup> «Между тем, — пишет он далее, — в среде кристалло-

---

<sup>26</sup> Там же, стр. 73.

<sup>27</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Заметка по поводу статьи Б. Коленко «Полярное электричество кварца». Горн. журнал, 1884, № 12, стр. 349.

<sup>28</sup> Там же, стр. 349—350.

графов далеко еще не установилось отчетливое понимание основных математических законов кристаллографии, и, хотя лучшее выражение этих законов, сделанное в классической статье Гадолина, дано было ученому миру еще в 1869 году, многие даже первоклассные ученые до сих пор не уяснили себе вполне выводов этого замечательного труда». <sup>29</sup>

Путь Б. З. Коленко, решившего осуществить пересмотр результатов А. В. Гадолина не математически, а на основе случайных опытных данных, будто бы не согласующихся с данными последнего, Е. С. Федоров категорически осуждает. Осуждает он и обращение Б. З. Коленко по поводу данного вопроса к иностранным авторитетам: «Из того, что даже многие знаменитые иностранные кристаллографы не знакомы с выводами Гадолина и потому поднимают мнимый вопрос о гемиморфизме, вовсе не следует, я полагаю, чтобы этот вопрос уже не был разрешен. Напротив того, решение его уже было сделано в 1869 году». <sup>30</sup>

Категорически восстает Е. С. Федоров и против метода, избранного Б. З. Коленко для проверки имеющихся подразделений кристаллографических систем (видов симметрии): «Это тот самый метод, который привел к неверным результатам и спутал даже замечательных минералогов и хороших математиков, как например Наумана». <sup>31</sup> Е. С. Федоров считает этот метод неосновательным по существу, так как он базируется на опытном понятии о кристаллографических системах, и неоднократно подчеркивает, что классификация видов симметрии по сингониям не является строго математической, а основывается лишь на опытных данных, главным образом на оптических свойствах кристаллов. Особенно резко выступает Е. С. Федоров против двух вышеупомянутых пунктов, в которых Б. З. Коленко разошелся с А. В. Гадолиным: «Эти пункты, — пишет он, — для читателя представляют ничем необъяснимую загадку». <sup>32</sup>

В критических высказываниях по поводу работы Б. З. Коленко Е. С. Федоров выступает как горячий защитник вывода А. В. Гадолина и как резкий противник исследований в духе ползучего эмпиризма, имевших в то время широкое распространение. Критика Е. С. Федорова вызвала ответную статью Б. З. Коленко, пытавшегося отстаивать свои ошибочные позиции. Однако опровергнуть положений Е. С. Федорова он не смог. <sup>33</sup>

Современная оценка работы Б. З. Коленко целиком согласуется с мнением Е. С. Федорова. Несмотря на теоретическую ошибочность второй ее части, мы высоко ценим ее первый раздел, содер-

---

<sup>29</sup> Там же, стр. 350—351.

<sup>30</sup> Там же, стр. 351.

<sup>31</sup> Там же.

<sup>32</sup> Там же, стр. 352.

<sup>33</sup> Б. Коленко. Ответ на заметку горного инженера Е. Федорова по поводу моей статьи. Горн. журнал, 1885, № 8, стр. 218—226.

жащий описания экспериментальных данных и устанавливающий законы распределения пьезоэлектричества на кварце. В деле познания электрических свойств кварца, имеющих сейчас столь важное практическое значение, работа Б. З. Коленко сыграла весьма значительную роль.

Среди русских кристаллографов второй половины прошлого столетия следует упомянуть проф. Александра Спиридоновича Брио, возглавлявшего в течение многих лет кафедру минералогии в Харьковском университете.

В 1863 г., по окончании университета в Харькове, А. С. Брио представил кандидатскую диссертацию на тему «О псевдоморфозах минерального царства». К тому же времени относится и его чисто кристаллографическая работа — «Рассмотрение и вычисление форм гексагональной системы, рассматриваемой как видоизменение ромбической». Сочинение это не было опубликовано, несмотря на то что Н. И. Кокшаров дал о нем хороший отзыв.

В 1865 г. А. С. Брио отправился в заграничную командировку. В Берлине он занимался кристаллографией у Г. Розе и химией у Раммельсберга; в Вене им изучались кристаллофизика у В. Ланга и минералогия у Г. Чермака.

В 1867 г. А. С. Брио вернулся в Харьков и защитил магистерскую диссертацию на тему «Кристаллографические и кристаллооптические исследования некоторых искусственных кристаллов».

Сам А. С. Брио охарактеризовал содержание своего труда следующим образом: «Кроме определения кристаллографических и кристаллооптических констант исследованных веществ, автор предложил новый прием оптического ориентирования главных осей упругости в кристаллах триклинической системы, подобный приему оптического ориентирования, примененного Деклуазо при исследовании триклинических полевых шпатов. Здесь же указан прием определения основных оптических направлений по способу переворачивания кристаллических пластинок к определенному кристаллографическому ребру на особо устроенном поляризационном микроскопе по способу, аналогичному с подобного рода определениями при помощи ставроскопа Кобелля и Бржезина».<sup>34</sup> Объектами его исследований были кристаллы щавелевокислого аммония, кислого виннокислого натрия и др.

В 1868 г. А. С. Брио был утвержден доцентом, а в 1871 г. получил степень доктора минералогии за диссертацию «Химико-минералогические исследования некоторых представителей днепровских кристаллических пород». В дальнейшем на протяжении многих лет своей профессорской деятельности он больше не опубликовывал научных работ. По этому поводу В. И. Вернадский с сожалением писал: «В Харькове А. С. Брио давно перестал

---

<sup>34</sup> Физико-математический факультет Харьковского университета за первые сто лет его существования (1805—1905). 1908, Харьков, стр. 146.

лабораторно работать, хотя он (ученик В. фон Ланга в Вене) имел хорошую кристаллографическую подготовку».<sup>35</sup>

Крупная кристаллографическая монография описательного характера, посвященная турмалинам Цейлона, принадлежит талантливому, безвременно скончавшемуся минералогу В. И. Воробьеву (1875—1906).

Уроженец Краснодара, Виктор Иванович Воробьев уже с детства увлекался естествознанием. По окончании Петербургского университета он уехал в Мюнхен, где под руководством П. Грота и К. Рентгена работал над своим большим сочинением о турмалинах. Вернувшись в Россию, он стал хранителем минералогического собрания в Геологическом музее Академии наук. В 1906 г. молодой ученый отправился в экспедицию на Кавказ, где трагически погиб, упав в трещину ледника. В лирическом отрывке, посвященном В. И. Воробьеву, А. Е. Ферсман пишет: «Личное счастье, наука, уважение, сама жизнь ему улыбалась! Он только что кончил замечательный труд о турмалине; его доклады, блестящие по содержанию и замечательные по форме, привлекали к нему молодежь во всех научных собраниях; он заведовал прекрасным Минералогическим музеем в стране, наследием кунсткамеры Петра; его сборы минералов на Урале обещали открыть совершенно новые горизонты в изучении Уральских цепей».<sup>36</sup>

Описав затем трагическую кончину 32-летнего ученого, А. Е. Ферсман заканчивает свою характеристику следующими словами: «Это был Виктор Иванович Воробьев — один из лучших молодых минералогов старой дореволюционной России. Память о нем осталась не только в его детище — Минералогическом музее Академии наук, но и в названном в честь него минерале — воробьевите, столь же жизнерадостном и светлом, как и он сам».<sup>37</sup>

Монография В. И. Воробьева «Кристаллографические исследования турмалина с Цейлона и из некоторых других месторождений» (1901 г.)<sup>38</sup> является, по выражению Е. С. Федорова, плодом огромного труда и колоссального трудолюбия автора. В результате кристаллографического изучения турмалина В. И. Воробьев определил 160 форм, причем 129 из них были отмечены впервые. Отмечая это в своем отзыве на сочинение В. И. Воробьева, Е. С. Федоров между прочим указывает, что «часто введение в качестве новых форм сомнительных не только не составляет прогресса в науке, но скорее является ее вредным грузом, так как вызывает лишний труд оценки степени вероятности в проявлении

---

<sup>35</sup> В. И. Вернадский и С. М. Курбатов. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. Объединен. научно-техн. изд., М.—Л., 1937, стр. 28.

<sup>36</sup> А. Е. Ферсман. Воспоминания о камне. Изд. АН СССР, М.—Л., 1945, стр. 30.

<sup>37</sup> Там же, стр. 31.

<sup>38</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 39, вып. 1, 1901, стр. 35—328.

означенной формы и вообще лишние сомнения в фактическом материале». <sup>39</sup>

В работе В. И. Воробьева весьма ценно то, что найденные новые формы были подвергнуты строго научной критической оценке. Открытые им формы нельзя не признать достоверно установленными. Единственный упрек, предъявленный Е. С. Федоровым автору исследования о турмалине, заключался в том, что В. И. Воробьев, следуя старинным традициям, приводил углы между нормальными к граням, а не их сферические координаты. Поэтому таблицы с результатами его измерений, которые можно было уместить на 2—3 страницах, занимают 43 страницы.

Несмотря на этот дефект, Е. С. Федоров весьма высоко оценил работу Воробьева: «Это подробнейшая монография турмалина, какая только появлялась до сего времени. . . Рассматривая труд Воробьева с разных сторон, я могу дать о нем только самый одобрительный, почти восторженный отзыв. . . Гораздо красноречивее я уже выразил свое мнение об этом труде тем, что поместил главнейшие его результаты в третьем издании своего элементарного руководства „Курс кристаллографии“. Каждому понятно, что если результаты монографической работы приводятся в руководстве такого рода, то это показывает, что автор руководства не мог найти в ученой литературе более совершенного выполнения той задачи, о которой трактуется в руководстве». <sup>40</sup>

Из других работ В. И. Воробьева, имеющих кристаллографическое значение, следует упомянуть статью «Об оптическом строении граната из Евгение-Максимилиановских копей» (1898 г.).

Совершенно особняком в истории нашей науки стоит научное творчество К. Д. Хрущева. Для нас оно особенно интересно в связи с попытками ученого искусственно получить кристаллы различных минералов.

Напомним, что эксперименты по искусственному получению драгоценных камней велись русскими учеными уже в XVIII в. (выше упоминались работы А. М. Карамышева и его «Яхонтовая литейка» при Горном училище в Петербурге). В 1841 г. известный общественный деятель и ученый В. Н. Каразин (1773—1842) в статье «О сжигании угля с расчетом» сообщил о своих опытах по «алмазотворению», т. е. по синтезу искусственных алмазов. <sup>41</sup> В результате улавливания продуктов сухой перегонки угля В. Н. Каразин получил особое вещество, названное им «пирогононом» (сейчас трудно восстановить, какой именно продукт перегонки

---

<sup>39</sup> Е. С. Федоров. Отзыв о работе В. И. Воробьева «Кристаллографические исследования турмалина с Цейлона и из некоторых других месторождений». Зап. Минералог. общ., ч. 40, 1902—1903, стр. 102.

<sup>40</sup> Там же.

<sup>41</sup> Б. Я. Иоффе-Смирнова и И. И. Шафрановский. Забытые опыты В. Н. Каразина по «алмазотворению». Минералог. сборник Львовск. геолог. общ., 1954, № 8, стр. 360—362.

угля соответствует этому веществу). Из «пирогонона» ему удалось получить кристаллы, очень близкие к алмазу. В результате «особливо долговременного действия на него весьма постепенно усиливаемого огня, который напоследок был доведен даже до белого каления, — писал В. Н. Каразин, — случилось мне добыть не только род антрацита, но и другое чрезвычайно твердое вещество в кристаллах, которое профессор Сухомлинов почел подходящим еще ближе к алмазу. Это было в январе 1823 года, следовательно несколькими годами ранее опытов алмазотворения гг. Каньяр-Латура и Ганналя». <sup>42</sup>

Само собой разумеется, что полученные В. Н. Каразиним и упомянутыми им французскими учеными кристаллы не являлись настоящими алмазами. Очевидно, В. Н. Каразин нашел вещество из группы углеводородов с малым содержанием водорода, представляющих твердые и тугоплавкие тела. По словам Д. И. Менделеева, «в них до некоторой степени видно приближение к свойствам алмаза». <sup>43</sup> Но ведь и знаменитые искусственные алмазы Муассана и ряда других последующих исследователей также в конце концов были отнесены к карбидам. Следовательно, В. Н. Каразин должен считаться пионером в деле «алмазотворения», до сих пор привлекающем внимание. Конечно, вышеупомянутые опыты носили случайный и незавершенный характер. Первым ученым в России, систематически занимавшимся проблемами искусственного получения минералов, был К. Д. Хрущов.

Уроженец Харькова, Константин Дмитриевич Хрущов (1852—1912) уже в 12-летнем возрасте был отправлен для получения образования за границу. Закончив классическую гимназию в Штутгарте, он поступил в Бреславльский университет, откуда затем перешел в Вюрцбургский университет. Здесь он особенно увлекся геологией.

В 1872 г. К. Д. Хрущов предпринял большое путешествие по Северной и Южной Америке. После 4-летнего пребывания в Америке ученый вернулся в Германию и опубликовал около 50 работ по геологии, петрографии и минералогии.

В 1889 г. К. Д. Хрущов переселился в Петербург, где продолжал очень энергично работать в области минералогии, геологии и химии. В 1894 г. Харьковский университет удостоил его ученой степени доктора геологии и геогнозии. В том же году он стал профессором минералогии и геологии Военно-Медицинской академии. Скончался он в 1912 г.

Мы не будем касаться многочисленных работ ученого по геологии и петрографии, а остановимся лишь на главнейших ре-

---

<sup>42</sup> В. Н. Каразин, Сочинения, письма и бумаги. Изд. Харьковск. унив., Харьков, 1910, стр. 503.

<sup>43</sup> Д. И. Менделеев. Основы химии, т. I, Изд. 10-е, Л., 1931, стр. 397.

зультатах его опытов по синтезу трудно кристаллизующихся минералов.<sup>44</sup>

Свой опыты К. Д. Хрущов проводил с помощью двух изобретенных им аппаратов: герметически запираемого стального цилиндра для работы с высоким давлением при нагревании до темно-красного каления и толстостенной груши для нагревания жидкостей до высоких температур (до 500°).

В 1870 г. ученому удалось получить небольшие кристаллики искусственного кварца (для этого он нагревал в течение нескольких месяцев в толстостенной стеклянной груше раствор гидрозоля). Отдельные кристаллы кварца достигали 0.5 мм в длину и представляли комбинацию гексагональной призмы, двух ромбоэдров и тригональной дипирамиды {1121}. Был даже получен двойник японского типа.

Помимо кварца, К. Д. Хрущову удалось синтезировать магнезиальную слюду (1887 г.), роговую обманку (1891 г.), циркон (1893 г.) и другие минералы.

В 1893 г. он получил путем кристаллизации из расплавленного серебра прозрачные и темные осколки, которые царапали корунд и сгорали в кислороде, образуя углекислоту. Естественно, что К. Д. Хрущов их принял за алмазы.<sup>45</sup>

Его опыт по времени почти совпал со знаменитыми опытами Г. Муассана по искусственному получению алмаза. К. Д. Хрущов показывал акад. Н. Н. Бекетову свои «алмазы» на следующий день после получения сообщения об опытах французского ученого. Этот факт указывает на то, что открытие К. Д. Хрущова было сделано вполне самостоятельно, независимо от работ Муассана.

Одним из первых ученых, усомнившихся в успехе как Муассана, так и К. Д. Хрущова, был известный впоследствии советский минералог П. Н. Чирвинский (1880—1955). Свои сомнения он изложил в брошюре «Трактат по минеральной химии Муассана с минералогической точки зрения» (1907 г.).

Однако, несмотря на это, в книге «Искусственное получение минералов в XIX столетии» П. Н. Чирвинский дает высокую оценку опытам К. Д. Хрущова. В синтезах К. Д. Хрущова он ценит главным образом стремление решать вопросы, выдвигаемые геологией. К. Д. Хрущов старался получать петрографически важные минералы и притом в условиях, приближающихся по возможности к природным. Описание его опытов и полученных кристаллов всегда отличается строгой научностью и точностью.

Одновременно с К. Д. Хрущовым экспериментальное направление в минералогии и петрографии развивали профессор Вар-

---

<sup>44</sup> Детальный обзор этих работ дан в кн.: П. Н. Чирвинский. Искусственное получение минералов в XIX столетии. Киев, 1903—1906.

<sup>45</sup> Журн. Русск. физ.-хим. общ., т. 25, вып. 3, 1893, стр. 105 (протоколы).

шавского университета А. Е. Лагорио (1852—ок. 1925) и его ученики.<sup>46</sup> Однако в отличие от опытов К. Д. Хрущева работы представителей варшавской школы имели преимущественно петрографическое, а не кристаллографическое направление.

Большой кристаллографический материал содержится и в уже упоминавшейся известной книге П. Н. Чирвинского, составленной еще в годы его студенчества, — «Искусственное получение минералов в XIX столетии» (1903—1906 гг.). Все эти достижения явились предпосылками для блестящего расцвета экспериментальной кристаллографии и минералогии, наступившего уже в советский период.

Настоящий раздел не был бы полным без упоминания имен нескольких крупнейших русских ученых, широко известных в области других научных дисциплин, но способствовавших вместе с тем и развитию кристаллографии.

К ним прежде всего относится знаменитый «отец русской геологии» Александр Петрович Карпинский (1847—1936). В его трудах рассеяны многочисленные данные, представляющие существенный интерес и с точки зрения науки о кристаллах. Такой материал находится, например, в статьях «О нахождении в минеральных веществах жидкого угольного ангидрида» (1880 г.), «Образование кристаллов поваренной соли с крестообразными фигурами на двух противоположных гранях» (1896 г.), «О снеге, граде и льде» (1902 г.) и др.

Интересные описания и зарисовки кристаллов различных минералов содержатся в работах «Описание некоторых горных пород Туркестана» (1878 г.) и «О некоторых метаморфических породах Урала» (1887 г.). В последней работе описаны и изображены замечательные скелетные образования внутри граната (сейчас мы бы назвали такие образования «реберными формами»).

Необходимо напомнить, кроме того, о том, что А. П. Карпинский был в России одним из пионеров исследования минералов и горных пород с помощью поляризационного микроскопа. В 1885 г. им были опубликованы «Материалы для изучения способов петрографических исследований», содержащие, в частности, и обширный список литературы по кристаллооптической методике.<sup>47</sup>

Выдающийся физико-химик акад. Н. С. Курнаков (1860—1941) начал свою научную деятельность как исследователь с ярко выраженным кристаллографическим уклоном. Еще в 1880 г., будучи студентом Горного института, он выступил с сообщениями «О кристаллических формах квасцов» и «О кристаллических

---

<sup>46</sup> К их числу принадлежал и выдающийся польский геолог и петрограф И. А. Морозевич (1865—1941), синтезировавший ряд минералов и написавший несколько популярных статей о симметрии и внутреннем строении кристаллов.

<sup>47</sup> Все перечисленные выше работы А. П. Карпинского вошли в третий том его собрания сочинений, изданного Издательством АН СССР в 1941 г.



формах соли Шлиппе ( $\text{Na}_2\text{SbS}_4 + 9\text{H}_2\text{O}$ )». В первом докладе отмечалось распадение октаэдра алюмо-калиевых квасцов на два тетраэдра, судя по наличию перемежающихся граней с гладкими и иштрихованными поверхностями. Во втором сообщении указывалось на одновременное присутствие на кристаллах соли Шлиппе двух пентагон-додекаэдров: {120} и {210}. Впоследствии в своих капитальных физико-химических трудах, посвященных сплавам, солям, органическим веществам и силикатам, Н. С. Курнаков всегда широко пользовался кристаллографическими данными. Созданный им физико-химический анализ, являющийся общим методом для изучения химических превращений, представляет собой глубокое сочетание химии, физики и геометрии. «В работах Н. С. Курнакова, как правило, всегда фигурировала кристаллография», — справедливо подчеркивал проф. Г. Б. Боккий.<sup>48</sup>

Ряд трудов по кристаллографии принадлежит акад. Ф. Ю. Левинсону-Лессингу (1861—1939), знаменитому петрографу и геологу.

Будучи профессором сперва Юрьевского университета, а затем Петербургского политехнического института и Ленинградского университета, Ф. Ю. Левинсон-Лессинг составил ряд руководств по кристаллографии, пользовавшихся в свое время большим распространением: «Ключ для определения классов кристаллов» (1895 г.), «Руководство для оптического исследования кристаллов под микроскопом» (1909 г.), «Учебник кристаллографии» (1911 г.). Большой его заслугой явилось издание перевода классической книги П. Грота «Физическая кристаллография» (1897 г.), сыгравшей большую роль в развитии кристаллографических знаний. Самому Ф. Ю. Левинсону-Лессингу принадлежит и ряд оригинальных исследований по кристаллографии, по преимуществу связанных, однако, с его петрографическими интересами. К ним относятся следующие статьи: «Заметка о деформации кристаллов под влиянием давления»,<sup>49</sup> «К вопросу о кристаллических двойниках»,<sup>50</sup> «Опыты над перекристаллизацией горных пород в твердом состоянии»<sup>51</sup> и др.

Ряд работ по петрографии с кристаллографическим уклоном был опубликован до революции и акад. Д. С. Белянкиным (1876—1953). Однако в основном творчество этого ученого, так же как и значительная часть творческих достижений его старших товарищей по Петербургскому политехническому институту — академиков Н. С. Курнакова и Ф. Ю. Левинсона-Лессинга, относится уже к советскому времени.

---

<sup>48</sup> Г. Б. Боккий. Кристаллографические методы исследования солей и металлов. Успехи химии, т. 5, вып. 7—8, 1936, стр. 1076.

<sup>49</sup> Изв. Политехн. инст., т. 3, 1905, стр. 1—2, 115—121.

<sup>50</sup> Там же, т. 11, вып. 3, 1908, стр. 511—524.

<sup>51</sup> Там же, т. 15, вып. 2, 1911, стр. 578—582.

## XVIII. Е. С. ФЕДОРОВ

Творчество Е. С. Федорова (1853—1919) является кульминационным пунктом в развитии отечественной кристаллографии до 1917 г. Всеобщее признание получило оно и в истории мировой науки. Е. С. Федоров решительно покончил с устаревшим формально-описательным направлением, рассматривавшим кристаллические формы в отрыве от их внутреннего строения, т. е. кристаллической структуры. С его именем связан новый этап в науке о кристаллах, в течение которого были разработаны математические основы для современной структурной кристаллографии. Само собой разумеется, что жизнь и творчество этого замечательного ученого требуют более подробного рассмотрения.<sup>1</sup>

Евграф Степанович Федоров родился 10 декабря 1853 г. в Оренбурге в семье генерал-майора инженерных войск. Вскоре после его рождения семья Федоровых переехала в Петербург.

Огромное влияние на развитие ученого оказала мать его Юлия Герасимовна, урожденная Ботвинко. Под ее руководством мальчик с ранних лет пристрастился к чтению. Горячо любя своих детей, Юлия Герасимовна вместе с тем строго следила за их воспитанием, приучая к труду и дисциплине. Впоследствии Е. С. Федоров утверждал, что своей исключительной работоспособностью он целиком обязан матери.

Математические способности будущего ученого развились очень рано: уже в пятилетнем возрасте он хорошо владел арифметическими правилами, а в десять лет в два дня с увлечением проштудировал от начала до конца учебник элементарной геометрии Шульгина. Вот как описывает сам Е. С. Федоров это событие в недавно обнаруженной интереснейшей автобиографической записи, носящей заглавие «И[мператорская] П[етербургская] Академия наук»: «В 1863-м году мне как-то попала на глаза элементарная геометрия Шульгина — небольшой учебник, написанный для кадетских корпусов. По этой книжке готовил уроки мой старший брат Евгений, шедший двумя классами выше меня. Я шутя начал читать первые страницы этого учебника, но содер-

---

<sup>1</sup> Детальный обзор жизни и творчества Е. С. Федорова дан в кн.: И. И. Шафрановский. Е. С. Федоров. Изд. АН СССР, М.—Л., 1951.

жание этих страниц с самого начала вызвало такое созвучие струн моей психики, что я был буквально увлечен этим чтением; каждое слово, каждая фраза учебника с такой силой отпечатались в моем уме, что непрерывно и без всякой остановки, так сказать запоем прочтя эту книжонку, я на всю жизнь усвоил все, что там было написано».<sup>2</sup>

С 1862 г. Е. С. Федоров учился в Анненском реформатском училище. Однако в 1866 г., после смерти отца, в связи со стесненными материальными условиями ему пришлось перейти на казенный счет во Вторую военную гимназию. Здесь он примкнул к небольшой группе товарищей, усиленно изучавших естествознание и философию. В то же время Е. С. Федоров самостоятельно изучал математические дисциплины, которые, по его собственным словам, всегда были «облечены в его представлении ореолом особой красоты».

В 1869 г., не закончив гимназии, он блестяще выдержал конкурсный экзамен в Петербургское военное инженерное училище. Обширные познания Е. С. Федорова настолько поразили экзаменаторов, что его приняли в училище, хотя он еще и не достиг требуемых по уставу шестнадцати лет.

В военном училище будущий ученый особенно увлекался математикой. В то же время он был деятельным участником одного из нелегальных кружков самообразования, члены которого под влиянием сочинений Д. И. Писарева жадно изучали труды материалистов-естественников.

В 1872 г. Е. С. Федоров закончил курс училища и в чине подпоручика саперного батальона уехал служить на Украину. Однако уже в следующем году он возвратился в Петербург, а в 1874 г. вовсе уволился с военной службы. В результате увлечения естественными науками, столь характерного для передовой молодежи того времени, Е. С. Федоров становится вольнослушателем Военной медико-хирургической академии. Однако стать студентом-медиком ему не удалось в связи с появлением циркуляра министра просвещения, требовавшего при поступлении в Медицинскую академию представления аттестата зрелости. Е. С. Федоров, как не окончивший классической гимназии, лишался права быть студентом Академии. Сдав соответствующие экзамены, он поступил на второй курс Технологического института, где основное внимание уделял изучению физики и химии. Выполнив до конца лабораторные работы, он оставил институт. Уже в это время все его помыслы и интересы были направлены в сторону глубоких теоретических проблем в области физико-математических дисциплин.

В упоминавшейся выше автобиографической записи Е. С. Федорова находятся следующие сведения о первых шагах ученого в области научного творчества: «В этот период меня особенно ин-

---

<sup>2</sup> Архив АН СССР, ф. 831, оп. 1, № 22, лл. 12—55.

тересовала физика и прежде всего учение об электричестве. Мной была составлена довольно большая рукопись по теории электричества, которую я, однако, не считал возможной к опубликованию, пока не удалось бы решительными опытами сделать очевидной



Е. С. Федоров в 1883 г.

правильность составленной теории. Но судьба мне решительно не благоприятствовала; не представлялось случая воспользоваться оборудованием Физического института, и мало-помалу физика стала мной забываться. И только в начале нового, теку-

щего столетия, ознакомившись с новейшими учебниками физики, я увидел, что составленная мной за четверть столетия теория есть в сущности теория электронов. Но, попав на линию чисто геометрических исследований, я стал делать быстрые успехи, не требовавшие опытной проверки. К 1879 году мной составилась рукопись обширной книги, впоследствии напечатанной под заглавием „Начала учения о фигурах“.<sup>3</sup>

В те же годы Е. С. Федоров начал заниматься революционной деятельностью. В 1876 г. он стал членом народнической партии «Земля и воля». В 1877 г. ему дали партийное задание: наладить связь с заграничными революционными организациями. С этой целью Е. С. Федоров объехал Францию, Бельгию, Германию, работая то наборщиком в типографии, то носильщиком на железной дороге, то молотобойцем в кузнице. Возвратившись на родину, он женился на Л. В. Панютиной, самоотверженно помогавшей ему в его научной и революционной деятельности.<sup>4</sup>

В квартире Федоровых помещалась подпольная типография, где печаталась нелегальная газета «Начало», впоследствии переименованная в «Землю и волю». Позднее под влиянием усвоенных социал-демократических идей Е. С. Федоров отошел от народников. К этому периоду относятся его усиленные занятия геометрией, в результате которых и была написана большая монография — «Начала учения о фигурах». Эта первая крупная научная работа Е. С. Федорова уже касается ряда вопросов симметрии и теории кристаллического строения, впоследствии подробно развитых в главнейших его трудах. Недаром, по мнению ряда ученых, как русских, так и иностранных, «Начала учения о фигурах» заложили основу современной теоретической кристаллографии. Разработка теории математических многогранников натолкнула Е. С. Федорова на вопросы, относящиеся к природным многогранникам — кристаллам. Таким образом, он подошел к той науке, которая заняла главное место в его творчестве, — к кристаллографии.

В связи с увлечением кристаллографией Е. С. Федоров решил избрать себе специальность, ближе всего соприкасающуюся с этой наукой, и в 1880 г., в возрасте 27 лет, поступил на третий курс Горного института. Сам он так описывает этот момент из своей биографии: «В 1886 году я. . . после продолжительной отставки, многолетних и усиленных научных занятий, с толстой рукописью в руках вступил в качестве слушателя на третий курс Горного института. . . Для внешнего мира я был только студентом Горного института, а моя рукопись „Начала учения о фигурах“ не нахо-

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> После смерти ученого Л. В. Федорова написала воспоминания, содержащие ценные сведения о жизненном пути великого кристаллографа.

дила доступа в печать».<sup>5</sup> Больше всего в институте привлекал его преподававшийся здесь обширный курс кристаллографии и связанной с ней минералогии. Однако официальный представитель этих наук в Горном институте, проф. П. В. Еремеев, не сумел понять своего выдающегося ученика. Не оценил его и знаменитый математик П. Л. Чебышев, отказавшийся принять рукопись «Начала учения о фигурах», мотивируя свой отказ тем, что «этим отделом современная наука не интересуется». Лишь по настоянию акад. А. В. Гадолина замечательный труд Е. С. Федорова, написанный в основном уже в 1879 г., увидел свет в 1885 г. в «Записках Минералогического общества».

Полный курс Горного института Е. С. Федоров закончил в 1883 г. первым по списку, с занесением его имени на мраморную доску института. Несмотря на это, Е. С. Федоров, уже имевший ряд опубликованных работ, не был оставлен при кафедре кристаллографии и минералогии из-за полного непризнания его достижений. Основную роль при этом сыграло то обстоятельство, что молодой ученый выступил как смелый новатор и реформатор кристаллографии и минералогии. Нельзя не привести отрывка из протокола заседания Минералогического общества от 15 ноября 1883 г., где кратко сформулированы новые положения Е. С. Федорова, резко расходившиеся с позициями описательной науки того времени: «Действительный член, горный инженер Е. С. Федоров, бросив общий взгляд на предшествующую историю минералогии, из которого выходит, что до сих пор предметом исследования в этой области было главным образом лишь становившееся все более и более точным описание минералов, выражает мнение, что этот формальный период науки уже завершился и что теперь усилия ученых должны обращаться к выяснению действующих причин, для чего потребовалась выработка более отвлеченных понятий и содействие математики. Есть даже отделы последней, которые специально разрабатывались для целей минералогии (как, например, тетартоздрия Юнгханны). Референт желает указать теперь на значение другой области математики для минералогии, а именно теории проективности, составляющей важный отдел так называемой новой геометрии, предмета, бывшего до сих пор предметом исследования чистых математиков».<sup>6</sup>

Тяжелые материальные условия заставили Е. С. Федорова, уже в то время отца троих детей, принять предложение Горного департамента участвовать в экспедиции по исследованию Северного Урала. Геологические исследования на Северном Урале он проводил в исключительно трудных условиях в течение шести лет. За это время территория в 15 000 км<sup>2</sup> была им густо покрыта марш-

---

<sup>5</sup> Е. С. Федоров. Иван Васильевич Мушкетов. Ежегодн. по геол. и минералог. России, т. 6, вып. 1, 1902, стр. 1.

<sup>6</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 19, 1884, Протоколы, стр. 216—217.

рутами. На основании их Е. С. Федоров составил геологическую карту в масштабе 5 верст в дюйме. Остальная площадь, около 43 000 км<sup>2</sup>, исследованная менее детально, была нанесена на карту в масштабе 20 верст в дюйме.

Возвращаясь на зимнее время в Петербург, Е. С. Федоров в течение десяти лет занимал должность делопроизводителя и консерватора Геологического комитета с окладом 75 рублей в месяц. В этот период вышли в свет его самые замечательные работы по кристаллографии, создавшие эпоху в науке.

В частности, им был опубликован ряд статей по теории симметрии, увенчивающийся знаменитым трудом «Симметрия правильных систем фигур» (1890 г.). В этом сочинении Е. С. Федоров дал первый вывод 230 пространственных групп — 230 геометрических законов, по которым могут располагаться атомы внутри кристаллов. Годом позже немецкий математик А. Шенфлис дал свой вывод этих же групп. Однако он принужден был признать приоритет Е. С. Федорова и исправить ряд ошибок, указанных ему русским ученым. Все значение этого гениального труда, совершенно непонятого и незамеченного в момент его появления, выяснилось лишь 20 с лишним лет спустя, когда открытие рентгеноанализа кристаллов показало, что законы, установленные Е. С. Федоровым, лежат в основе всех реальных кристаллических структур.

Е. С. Федоровым была сконструирована модель двукружного гониометра и «федоровского столика» для микроскопа, в корне изменивших методику гониометрического и оптического изучения кристаллов. Свои открытия в этой области он суммировал в классической монографии «Теодолитный метод в минералогии и петрографии» (1893 г.). Однако и этот труд не обратил на себя в свое время достаточного внимания.

В 1894 г. из-за материальных затруднений Е. С. Федоров покинул с семьей Петербург и переехал на Урал, в Богословский горный округ, в качестве руководителя разведочных работ. Свой отъезд на Урал Е. С. Федоров мотивировал также тем, что его работы, представленные в Академию наук, не были премированы, а сам он был забаллотирован при выборах в Академию. Вот что писал он сам по этому поводу: «В результате этого забракования (ввиду подрастания детей) я дальше не мог уделять своего времени (нечем кормить детей) науке и в 1894 г., ровно в 25-й год своей научной деятельности, должен был уехать на Урал в качестве практического инженера».<sup>7</sup>

В Богословском округе Е. С. Федоров провел геологическую съемку, составил подробнейшую геологическую карту, организовал замечательный геологический музей при Турьинском руднике. В то же время он продолжал разрабатывать свой теодолит-

---

<sup>7</sup> И. И. Шафрановский. Е. С. Федоров, стр. 103—104.

ный метод в микроскопии, положив его в основу изучения горных пород.

В 1895 г. Е. С. Федоров был приглашен на должность профессора геологии в Московский сельскохозяйственный институт. Десять лет, проведенных им в Сельскохозяйственном институте в Петровско-Разумовском под Москвой, сам ученый считал счастливейшим периодом своей жизни. С этого времени начинается признание его научных трудов.

Труды Е. С. Федорова обратили на себя внимание заграничных ученых, и в 1896 г. он был избран членом Баварской Академии. С 1896 по 1900 г., оставаясь профессором Сельскохозяйственного института, Е. С. Федоров одновременно читал лекции в Горном институте, приезжая для этого из Москвы в Петербург два раза в неделю.

В 1901 г. он был избран адъюнктом Академии наук по кафедре минералогии. Однако препятствия, возникшие при организации Минералогического института, заставили Е. С. Федорова уйти из Академии. В связи со своим уходом он пишет следующее чрезвычайно резкое и смелое письмо великому князю К. К. Романову, занимавшему пост президента Академии.

«Ваше императорское высочество!

«Когда накануне моего выбора в члены-корр. Баварской Академии наук, поставленный при своем непреодолимом научном влечении в безвыходное положение, но полный сил, имея весьма неправильное представление об императорской СПб. Академии наук, я обратился к ней за помощью, она меня грубо оттолкнула. Она пожелала привлечь меня в качестве „адъюкта“, т. е. начинающего ученого, когда я стал инвалидом. Было так устроено, что, приняв выбор, я остался бы без средств для научных занятий и даже без средств к жизни. Конечно, зная теперь, что такое Академия, я должен был отказаться от этого выбора, но, пока еще были остатки сил, мой отказ мог со стороны потомков вызвать справедливый упрек, что я не сделал попытки вынудить Академию оказать помощь делу русского просвещения устройством Минералогического института. Ваше императорское высочество изволили видеть, что моя попытка вызвала со стороны Академии попытку запачкать мое имя, побудив принять участие в противозаконном дележе казенного пирога. Такова пропасть в воззрениях, целях, задачах скромных людей науки, подобно мне, и господ академиков, важных представителей нашей бюрократии, той самой бюрократии, которая как своих особо выдающихся представителей выдвигает Биронов, Аракчеевых, Дм. Толстых, Плеве.

«Не могу допустить для себя чести принадлежать к этому сословию, почему и решаюсь всепокорнейше просить Ваше императорское высочество дать моему прошению об увольнении из Академии, представленному в мае 1903 года, законный ход и считать меня окончательно выбывшим из Академии не только без



оставления в какой-либо должности при ней, но даже без всякого звания, какое могло бы напоминать мне об Академии и тем отвратить духовный покой, столь необходимый в последние годы научной деятельности.

«Если бы Академия была действительно рассадником просвещения, теперь с моей стороны было бы безнравственно занимать в ней место, так как при ослабших силах я уже не мог бы быть на этом месте полезным деятелем и только заграждал бы дорогу более к тому пригодным».<sup>8</sup>

Этот ценный документ является весьма характерным для Е. С. Федорова. Всецело погруженный в научную деятельность, он в то же время неизменно оставался передовым, прогрессивным ученым. Всякая несправедливость и насилие глубоко возмущали его. Неоднократно выступал он на защиту революционного студенчества. Во время англо-бурской войны Е. С. Федоров ответил резким отказом на приглашение прочитать лекцию в Лондонском королевском обществе, ссылаясь на то, что не может уважать государство, которое воспользовалось силой для лишения независимости маленьких бурских республик. В 1914 г., после нападения Германии на Сербию, он отказался от публикаций своих работ на немецком языке.

После революции 1905 г. ряд высших учебных заведений получил право самостоятельно выбирать себе директора. В связи с этим ученый совет Петербургского горного института обратился к Е. С. Федорову с просьбой занять директорскую должность. В том же году семья Федоровых переезжает в Петербург, и Е. С. Федоров становится первым выборным директором Горного института. Время его директорства характеризуется исключительным расцветом научной работы не только среди преподавательского персонала института, но и среди студенчества. По его инициативе был основан журнал «Записки Горного института», заполнявшийся трудами самого Е. С. Федорова и его учеников.

По истечении трех лет пребывания Е. С. Федорова в должности директора Совет института единогласно переизбрал его и на следующее трехлетие. Однако вторичное избрание Е. С. Федорова встретило отказ со стороны министра Тимашева, видевшего в нем опасную личность, способствующую процветанию революционных студенческих настроений. В своей автобиографии сам ученый так описывает конец своего директорства: «За спасение здания Горного института и его драгоценных коллекций от пожара, за избавление того же учреждения от свирепствовавших в нем эпидемий устройством канализации, за учреждение разведочно-геологического отделения, за подъем научного духа, выразившийся появлением многочисленных работ студентов и журнала „Записки Горного института“, и за ряд других прогрессивных

---

<sup>8</sup> Там же, стр. 160—162.

нововведений в институте я был устранен от должности директора, вопреки единогласному выбору Совета института».<sup>9</sup>

В дальнейшем Е. С. Федоров оставил за собой в институте лишь кафедры кристаллографии и петрографии, во главе которых он и оставался до самой смерти. Несмотря на беспокойства и неприятности, омрачавшие последний период его административной деятельности, ученый ни на минуту не прерывал своей интенсивной научной работы. Основное внимание уделялось им развитию кристаллохимического анализа, позволяющего по внешней форме кристалла определить его вещество и схему внутреннего строения. В то же время им разрабатывались некоторые отделы новой (проективной) геометрии. В этот период заслуги Е. С. Федорова получили мировое признание. Для изучения его достижений к нему съезжались специалисты не только со всех концов нашей страны, но и из Англии, Германии, Швейцарии и Японии (Т. Баркер из Оксфорда, Л. Дюпарк из Женевы, Джимбо из Токио и др.). Многочисленные иностранные академии и научные общества избирали его своим членом.

Величайшим торжеством идей Е. С. Федорова, подтвердившим реальное значение выведенных им пространственных групп, явилось открытие в 1912 г. М. Лауе дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, а также первые расшифровки У. Л. и В. Л. Браггами кристаллических структур на основе рентгеноанализа.

О том, какое радостное удовлетворение испытывал Е. С. Федоров, узнав об открытии М. Лауе, свидетельствует следующее недавно открытое письмо его к другу, знаменитому революционеру и ученому Н. А. Морозову:  
«1912, октября 2.

«Глубокоуважаемый Николай Александрович!

«Ваше письмо кончается словами о том, что человеческий глаз никогда не увидит атомов. Вы писали его приблизительно в то время, когда люди увидели атомы собственными глазами, если не сами атомы, то вызванные ими фотографические изображения. Как это достигнуто? Очень просто. Делительной машиной мы можем на стекле провести тысячу параллельных прямых на толщине одного миллиметра; это будет дифракционная решетка, которая дает ряд чудных дифракционных спектров, и по этим спектрам легко различать число делений на стекле.

«Но тонкая кристаллическая пластинка сама по себе представляет две пересекающиеся дифракционные решетки, в которых линии проведены не на тысячных, а на десятиллионных частях миллиметра. Световые волны слишком грубы, чтобы дать дифракционные спектры. Но имеются лучи Röntgen'a, длина волны которых в миллионы раз меньше, чем световых. И вот несколько

---

<sup>9</sup> Там же, стр. 175.

недель тому назад в лаборатории Röntgen'a такие дифракционные спектры от атомов были сфотографированы через посредство лучей Röntgen'a. Косвенно люди увидели непосредственный эффект, вызываемый атомами, то есть, в сущности, собственными глазами увидели атомы.

«Для нас, кристаллографов, это открытие первоклассной важности, потому что теперь впервые с полной наглядностью воспроизведено то, что нами лишь теоретически клалось в основу представления о структуре кристаллов, на чем, в частности, основан и кристаллический анализ. Полагаю, что Вам будет очень приятно узнать об этом.

«Сердечный Вам привет от меня и всей семьи.

Е. Федоров».<sup>10</sup>

В одной из статей того времени Е. С. Федоров писал: «Не могу воздержаться от заявления, что я никак не думал дожить до действительного определения расположения атомов в кристаллах, предусмотренного в прежних моих сочинениях. В письме к профессору Гроту я писал, что, пожалуй, детальные применения систем, предусмотренных в этих сочинениях, начнут совершаться еще через сто лет.

«В 1891 году упомянутое русское сочинение, предусматривающее возможные расположения атомов, или, скорее, законы этих расположений, я представил в и[мп.] СПб. Академию наук на соискание Макарьевской премии того года; но оно не только не удостоилось самой премии, но найдено не заслуживающим упоминания и даже не попало в длинный список работ, представленных на соискание этой премии».<sup>11</sup>

Опытные подтверждения результатов математического вывода 230 пространственных групп Федорова, опубликованного за 20 с лишним лет до открытия М. Лауе, произвели большое впечатление на ученых всего мира. По этому поводу английский кристаллограф Т. Баркер (1881—1931) писал Е. С. Федорову: «В докладе я особо рассматриваю Вашу работу о правильном выполнении пространства... а также работу по рентгеновскому исследованию кристаллов. Последняя работа произвела сенсацию в нашем научном мире».<sup>12</sup>

Великая Октябрьская социалистическая революция произвела глубокое впечатление на Е. С. Федорова. С восторгом приветствовал он известие о поражении Германии и последовавшем

<sup>10</sup> Рукописные материалы Е. С. Федорова в Архиве Академии наук СССР. Составители И. И. Шафрановский и Н. М. Раскин. Изд. АН СССР, М.—Л., 1957, стр. 140.

<sup>11</sup> Е. С. Федоров. Первое констатирование опытным путем асимметричной правильной системы. Зап. Горн. инст., т. 5, 1914, стр. 54—56.

<sup>12</sup> Письма Т. Баркера, Г. Майерса, Л. Спенсера и У. Брега к Е. С. Федорову. Сб. «Кристаллография», вып. 3, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1955, стр. 230.

там перевороте: «Я переживаю восторженное состояние. Явно на глазах у всех гибнет злейший враг человечества — немецкий милитаризм».<sup>13</sup>

В 1919 г. Е. С. Федоров изъявил согласие стать членом обновленной, советской Академии наук, стремясь все свои силы при-



Е. С. Федоров (1853—1919).

нести на пользу освобожденной родине. Но ему не удалось осуществить этого. В конце зимы 1919 г. он заболел воспалением легких. 21 мая 1919 г. великого ученого не стало.

Вскоре после смерти Е. С. Федорова были опубликованы набранные еще при его жизни, огромные по объему и по своему научному и практическому значению сводные таблицы по кристаллохимическому анализу — «Царство кристаллов» («Das Krystallreich»).

<sup>13</sup> Там же, стр. 182.

Научно-литературное наследие Е. С. Федорова поражает своим богатством и исключительной многогранностью. Список его научных работ содержит свыше 500 названий. На первом месте по количеству стоят труды по кристаллографии, далее следуют работы по геометрии; меньше работ относится к минералогии, геологии и петрографии. Кроме того, имеется ряд статей общего характера, посвященных философским вопросам, педагогике, истории наук и др. В среднем в течение 40-летнего периода своей научной деятельности Е. С. Федоров публиковал около 12 работ в год.

Изучение трудов Е. С. Федорова показывает, что, будучи прежде всего кристаллографом, он в то же время по складу своего ума был ярко выраженным геометром. Не случайно к числу его первых работ относится большая монография «Начала учения о фигурах», а его последние статьи трактуют вопросы новой проективной геометрии. Математика лежит в основе всего федоровского научного творчества. Трудно отделить друг от друга работы Е. С. Федорова, относящиеся собственно к геометрии и к другим разрабатывавшимся им дисциплинам, в особенности к кристаллографии. Исходя из своих геометрических построений, ученый разработал классификацию кристаллических многогранников, теорию строения и симметрии кристаллов. В тесной связи с этими проблемами стоят вопросы из области физической и химической кристаллографии. Даже в описательных статьях, касающихся кристаллических форм и оптических свойств некоторых минералов или искусственных соединений, сказывается все то же стремление подчинить наблюдаемые факты геометрическим законам, объяснить их сущность теорией строения кристаллов.

Е. С. Федоров неоднократно повторял, что «венец сознательной деятельности человеческого разума — решение стоящих перед ним вопросов путем математического анализа».<sup>14</sup> Свои теоретические выводы в области геометрии он применял также в петрографии, минералогии, химии и даже горном деле при разработке задач, относящихся к горному искусству.

Несколько особняком стоят труды ученого по геологии. Однако, несмотря на то, что в основе их лежат главным образом материалы и наблюдения, собранные в результате экспедиционных работ, мы все же и здесь находим широкие обобщения и детали, почерпнутые из той же теоретической сокровищницы.

Первый крупный труд Е. С. Федорова, «Начала учения о фигурах», является по сути дела чисто геометрической работой.<sup>15</sup> «Пришел я к этой теме, — писал сам автор, — исходя из на-  
слаждений, испытанных мной при ближайшем изучении изящных

---

<sup>14</sup> Там же, стр. 225.

<sup>15</sup> Е. С. Федоров. Начало учения о фигурах. Зап. Минералог. общ., ч. 21, 1885, стр. 1—279.

соотношений между геометрическими фигурами. Изучение же было вызвано отчетливым сознанием аналогии между тем, что мы называем телесными, или пространственными, фигурами (трех измерений) и фигурами на плоскости (двух измерений)».<sup>16</sup>

Впоследствии Е. С. Федоров так охарактеризовал содержание своего труда: «Сочинение это не требует никаких предварительных сведений, кроме элементарной геометрии, и составляет, в сущности, не что иное, как дополнительный курс этой науки, упускавшийся, по странной нелогичности истории науки, в течение столь многих столетий. В основе всего изложения лежит понятие об измерении телесного угла, совершенно аналогично тому, как выводы планиметрии имеют в основании понятие об измерении плоских углов. Кроме общих оснований учения о фигурах, здесь изложены начала учения о симметрии, о поясах, о выполнении плоскости и пространства равными фигурами и о многогранниках высшей степени. Сочинение это излагает между прочим все те части учения о фигурах, которые составляют основание современной кристаллографии.»<sup>17</sup>

Е. С. Федоров подчеркивал, что чисто геометрические разделы его книги должны входить в элементарные курсы геометрии и преподаваться в средних учебных заведениях. В то же время он неоднократно отмечал, что только практические требования кристаллографии и минералогии вызвали дальнейшую разработку математических вопросов, рассмотренных в «Началах учения о фигурах».

В этом отношении интересна следующая, во многом автобиографическая, цитата из статьи Е. С. Федорова, написанной им в связи с сорокалетием со времени начала его творческих исканий: «Кристаллографы не нашли у чистых математиков разработанными многие из тех отделов, без которых не могла обойтись кристаллография в своем поступательном движении, и волей-неволей им приходилось самим браться за разработку таких отделов. Достаточно указать на учение о фигурах вообще и в особенности на учение о симметрии, учение о сингонии, учение о правильном выполнении плоскости и пространства — все учения чисто математические, но оставшиеся мало или отчасти абсолютно не затронутыми чистыми математиками. Не только значительные части этих учений были вообще разработаны кристаллографами, но некоторым из них этими специалистами положены первые основные камни».<sup>18</sup>

Любопытно проследить, как проблемы, затронутые в отдельных разделах сочинения Е. С. Федорова, развивались в его последую-

---

<sup>16</sup> Е. С. Федоров. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904, стр. 2.

<sup>17</sup> Е. С. Федоров. Курс кристаллографии. СПб., 1897, стр. 6.

<sup>18</sup> Е. С. Федоров. Кристаллография за 40 лет. Зап. Горн. инст., т. 2, вып. 5, 1909, стр. 369.

щих трудах и какое они имеют значение в современной кристаллографии. С этой целью кратко охарактеризуем содержание основных отделов «Начал учения о фигурах».

Первый отдел «Начал» посвящен открытым фигурам, т. е. таким пространственным фигурам, которые не могут самостоятельно образовать замкнутый многогранник. В нем приводятся определения, касающиеся телесных углов, и их измерения. Вскрывается аналогия между свойствами плоских и телесных углов (гоноэдров). Рассматриваются различные типы гоноэдров и дается способ их измерения. По мысли Е. С. Федорова, как уже отмечалось выше, эти геометрические сведения должны входить составной частью в курс элементарной геометрии и преподаваться в средней школе.

Во втором отделе «Начал» рассматриваются пространственные фигуры, отвечающие замкнутым многогранникам. В основу изложения автор кладет понятия о типических и подтипических многогранниках; он вводит новые понятия — «изоэдр» и «изогон». Изоэдром, по Федорову, называется такой многогранник, все грани которого симметричны или равны между собой, а изогоном — такой, у которого все телесные углы (гоноэдры) равны или симметричны. Автором дается полный вывод всех возможных изогонов, типических изоэдров и их классификация.

Изогоны разделяются, согласно этой классификации, на тригоноэдрические, тетрагоноэдрические и т. д. Соответственно изоэдры называются тригональными, тетрагональными и т. д. Оригинальные обозначения, впервые введенные и объясненные Е. С. Федоровым в «Началах», широко используются им и в последующих работах.

Третий отдел книги Е. С. Федорова посвящен разбору учения о симметрии в приложении к пространственным фигурам. В нем помещен оригинальный вывод всех возможных видов симметрии конечных фигур. Среди них, как частные случаи, имеются и 32 вида симметрии, свойственные кристаллическим многогранникам. В связи с этим интересно следующее высказывание Е. С. Федорова в письме к немецкому математику А. Шенфлису относительно примененного им в «Началах учения о фигурах» вывода всех геометрических систем: «Обращаю Ваше внимание на то, что в этой работе выводятся не только кристаллографические, но и все геометрические системы симметрии, среди которых кристаллографические представляют только частный (простейший) случай. Этот полный вывод в моей книге появляется в первый раз,<sup>19</sup> так как сама книга была сдана в печать в 1883 г., что видно из протокола заседаний имп. Минералогического общества от 7 января 1884 г.; вывод Кюри появился только в 1884 г. Таким образом, и в обработке правиль-

---

<sup>19</sup> Впоследствии вопрос о приоритете вывода точечных групп отпал в связи с открытием в 1892 г. труда Гесселя, опубликованного еще в 1830 г.

ных систем фигур (не только точечных систем) приоритет принадлежит моему вышеозначенному труду; не говоря о том, что в работе Кюри вопрос о возможных новых системах только упоминается, а не разрабатывается. Мой метод основывается на положении 3, стр. 124, моих „Начал учения о фигурах“ и на выводе всех изогенов и типических изоэдров в 5-й главе там же, а особенно на формулах 30, а, б, с, стр. 71. От других методов мой метод, следовательно, существенно отличается своим строго элементарным характером. Подразделения, выведенные Гадолиным, выводятся из бесконечных геометрических систем, охватывающих полностью параллелоэдры, а стереоэдры являются лишь частями параллелоэдров, разделенных по закону симметрии. Так как полные геометрические системы симметрии совершенно не связаны с принципами образования групп вращения, я считаю Ваше мнение о том, что метод, примененный Кюри, „приблизительно тот же самый“, ошибочным». <sup>20</sup>

Излагаемое в четвертом отделе учение о выполнении плоскости и пространства особыми фигурами, которые соответственно названы параллелогонами и параллелоэдрами, послужило основой для последующей разработки Е. С. Федоровым его теории кристаллической структуры и непосредственно вытекающей из нее классификации всего мира кристаллов.

Действительно, в этом отделе Е. С. Федоров впервые в полном виде рассматривает законы выполнения пространства. Он выводит телесные фигуры (моногранники), которые целиком выполняют пространство, будучи равными, параллельно расположенными и смежными по целым граням. Называя такие фигуры параллелоэдрами, он устанавливает, что мыслимы только четыре типа таких многогранников: трипараллелоэдры (кубы и продукты их однородных деформаций), тетрапараллелоэдры (гексагональные призмы и продукты их деформаций), гексапараллелоэдры (ромбические додекаэдры и продукты их деформаций) и гептапараллелоэдры (кубооктаэдры и продукты их деформаций). С математической точки зрения удлинённый гексапараллелоэдр рассматривается отдельно как пятый тип. Под однородными деформациями здесь подразумеваются сдвиги и растяжения.

Решив задачу о выполнении пространства параллелоэдрами, Е. С. Федоров перешел впоследствии к созданию своей теории структуры кристаллов. Заполняя пространство параллелоэдрами и беря внутри их соответствующие точки, он выводит возможные типы решеток (рис. 45).

Параллелоэдры не представляют конечного предела деления кристаллического пространства. Их можно разделить на такие

---

<sup>20</sup> Из переписки Е. С. Федорова с А. Шенфлисом и Ю. В. Вульфом. Публикация Г. Б. Бокля и И. И. Шафрановского. Науч. наследство, т. 2, 1951, стр. 320—321.



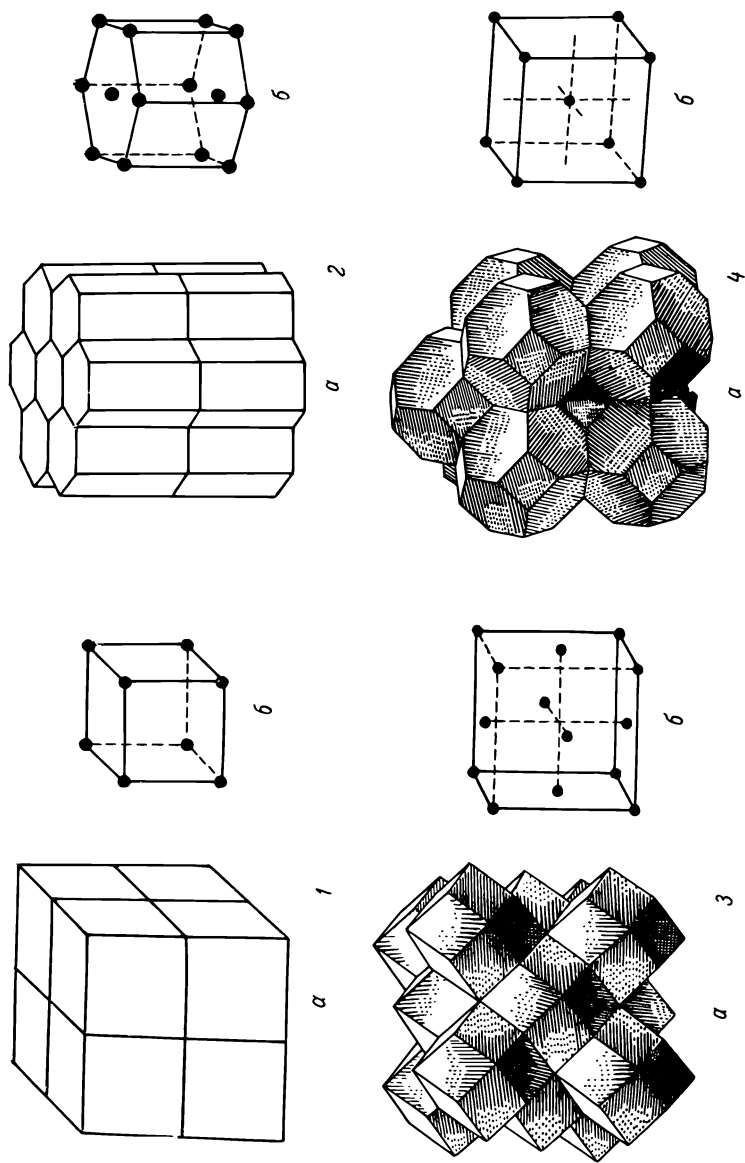


Рис. 45. Параллелоэдры Е. С. Федорова и соответствующие им пространственные решетки.  
 1 — трипараллеледры (а) и гексаэдрическая решетка (б); 2 — тетрапараллеледры (а) и тригматическая решетка (б);  
 3 — гексапараллеледры (а) и додекаэдрическая решетка (б); 4 — гептапараллеледры (а) и додекаэдрическая решетка (б).

части, которые заполняют пространство не в параллельном положении. Такие части Е. С. Федоров называл стереоэдрами.

Решая задачу о мыслимых способах размещения параллелоэдров и стереоэдров в кристаллических телах, Е. С. Федоров сформулировал понятия о правильной системе фигур и правильной системе точек.

Его представления о правильных системах существенно отличаются от соответствующих понятий Л. Зонке.<sup>21</sup> В примечаниях к «Началам учения о фигурах» Е. С. Федоров, четко формулируя свои понятия, отмечает ошибки, допущенные Л. Зонке в этом вопросе. Немецкий кристаллограф недоучел того, что в правильных системах могут присутствовать, кроме элементов симметрии первого рода, также элементы симметрии второго рода (плоскости скользящего отражения, плоскости симметрии, инверсионные оси). В результате он вывел всего 65 пространственных групп симметрии, которые содержат лишь элементы симметрии первого рода (оси симметрии и винтовые оси).

Понятия, впервые сформулированные Е. С. Федоровым в «Началах», впоследствии легли в основу вывода 230 пространственных групп симметрии кристаллов — правильных систем фигур.

В настоящее время первая книга Е. С. Федорова прочно заняла почетное место в истории кристаллографии.

В 1936 г. швейцарский кристаллограф В. Новацкий в статье «50 лет общей теории структуры кристаллов» начинает с этой работы Е. С. Федорова обзор развития современной структурной кристаллографии.<sup>22</sup> По поводу федоровского вывода параллелоэдров советский геометр, член-корр. АН СССР, Б. Н. Делоне писал: «Традиция приписывает Платону открытие пяти правильных выпуклых многогранников, Архимеду — 13 выпуклых полуправильных многогранников, Кеплеру и Пуансо — четырех правильных невыпуклых многогранников, а Федоров нашел пять параллелоэдров. Во втором издании „Большой советской энциклопедии“ имеются прекрасные таблицы важнейших многогранников — тел Платона, Архимеда, Кеплера и тел Федорова».<sup>23</sup>

В 1953 г. «Начала учения о фигурах» были переизданы Академией наук СССР в серии «Классики науки». В этом издании В. А. Франк-Каменецкий дал обстоятельный анализ книги Е. С. Федорова, заканчивающийся следующей справедливой характеристикой: «Таким образом, мы можем с полным основанием сказать, что два основных отдела современной кристаллографии,

---

<sup>21</sup> Л. Зонке (1842—1898) — немецкий физик-кристаллограф, автор известной книги «Развитие одной теории кристаллической структуры» (L. Sohncke. Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur, Leipzig, 1879).

<sup>22</sup> П. Ниггли. Стереохимия. Изд. иностр. лит., М., 1949, стр. 317.

<sup>23</sup> Б. Н. Делоне. Е. С. Федоров как геометр. Труды Ист. истории естествозн. и техники, т. 10, 1956, стр. 12.

имеющих дело с кристаллическим многогранником (макрокристаллография) и атомным строением кристаллов (микроструктурология), опираются на основы, которые разработаны во второй половине прошлого века нашим выдающимся соотечественником — крупнейшим кристаллографом Евграфом Степановичем Федоровым и впервые отражены им в „Началах учения о фигурах“.<sup>24</sup>

Следующим по времени капитальным трудом Е. С. Федорова являются его «Этюды по аналитической кристаллографии» (1885—1887 гг.), связывающие учение о кристаллах с детерминантами и новой геометрией. В них описывается проективная связь, существующая между кристаллическими фигурами, излагается система упрощенных кристаллографических вычислений, основанная на этой связи, даются многочисленные выражения основного закона кристаллографии — закона Гаюи.

Далее следует серия работ, впоследствии объединенных под общим названием «Начала анализа симметрии». Открывается эта серия отдельной брошюрой «Основные формулы аналитической геометрии в улучшенном виде» (1888 г.). По определению самого автора, брошюра эта «составляет азбуку анализа симметрии». В ней обращается внимание на то, что в общем случае при решении задач удобно иметь больше трех необходимых координат, с тем чтобы в каждом данном случае можно было выбирать из них те, которые приведут к простейшему решению. Для этого предлагается через постоянную точку в пространстве, отвечающую началу координат, проводить  $n$  координатных осей. При помощи специальных уравнений можно всегда перейти от  $n$  косоугольных координат к трем координатам. Такие приемы имеют особое значение в кристаллографии. Так, например, среди симметрично-равных направлений, перпендикулярных какой-либо оси симметрии, нет никаких оснований предпочитать одно перед другим для выбора координатных осей. Поэтому Е. С. Федоров принимает как самую ось симметрии, так и перпендикулярные ей симметрично-равные направления за координатные оси.

Второй работой этой серии является «Симметрия конечных фигур» (1889 г.), содержащая, помимо полного вывода видов симметрии, их алгебраические уравнения, полученные по вышеописанному способу.

Завершается данный цикл работ классическим трудом «Симметрия правильных систем фигур», содержащим первый вывод 230 пространственных групп.<sup>25</sup> Отдельные оттиски этой работы появились в 1890 г. Кроме того, в 1890 г. в протоколах Минералогического общества был опубликован ее реферат. Вот как пере-

---

<sup>24</sup> В. А. Франк-Каменецкий. «Начала учения о фигурах» Е. С. Федорова и их значение для кристаллографии. В кн.: Е. С. Федоров. Начала учения о фигурах. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М.—Л., 1953, стр. 390.

<sup>25</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 28, 1891, стр. 1—146

дает сам Е. С. Федоров содержание своего труда: «Здесь дается полный вывод всех правильных систем точек и намечен вывод возможных видов структуры кристаллов. Системы Зонке находятся в числе других систем лишь как особый частный случай и называются простыми системами. Каждая система строго определяется алгебраическими уравнениями».<sup>26</sup>

Приведем несколько определений самого Е. С. Федорова, дающих понятие о том, что он называл правильными системами фигур и точек: «Под правильной системой фигур я подразумеваю такую бесконечную во всех направлениях совокупность конечных фигур, что если мы приведем по законам симметрии в совмещение две из фигур, входящих в состав системы, то совместятся сами системы»;<sup>27</sup> «Если в одной из фигур системы мы возьмем некоторую точку, а затем определим положение всех соответственных точек как в той же самой фигуре, так и во всех остальных фигурах, то получим правильную систему точек».<sup>28</sup> В настоящее время известно, что однородные атомы внутри кристаллических структур образуют правильные системы точек в федоровском их понимании. Симметрия таких бесконечно протяженных систем отличается от симметрии конечных фигур наличием трансляций, винтовых осей симметрии и плоскостей скользящего отражения. В них мы всегда имеем «семейства» параллельных между собой осей и плоскостей симметрии. Общее число совокупностей элементов симметрии для правильных систем фигур или точек, согласно выводу Федорова, равно 230. Мы знаем, что эти 230 случаев отвечают единственно возможным законам расположения атомов внутри кристаллов. Подразделение федоровских групп на симморфные, гемисимморфные и асимморфные и их связь с теорией параллелоэдров разбираются ниже. Предложенный Е. С. Федоровым способ их графического изображения с незначительными видоизменениями применяется и в наши дни (рис. 46).

Здесь уместно привести высказанные по этому поводу замечания акад. Н. В. Белова: «Итак, всякий раз, когда структурщик обращается к совершенно ему необходимой при работе диаграмме пространственной группы в Интернациональных таблицах, он должен помнить, что перед ним диаграмма нашего величайшего кристаллографа. Постоянно повторяемые нами детали этих чертежей — паукообразные изображения осей разных порядков и т. д. и т. п. — это буквальный миллион, размененный на гривенники, и нам, советским работникам, должно это твердо помнить и потребовать, чтобы этого не забыли вольно и невольно и другие слишком забывчивые их потребители».<sup>29</sup>

<sup>26</sup> Там же, стр. 4.

<sup>27</sup> Там же, стр. 10.

<sup>28</sup> Там же, стр. 11.

<sup>29</sup> Н. В. Белов. Великий русский кристаллограф и его детище. В кн.: Е. С. Федоров. Симметрия и структура кристаллов. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М.—Л., 1949, стр. 580—586.

История федоровского вывода правильных систем фигур теснейшим образом переплетается с выводом пространственных групп, осуществленным почти в одно время с Е. С. Федоровым немецким математиком Артуром Шенфлисом. Первые две статьи А. Шенфлиса по этому вопросу появились в 1888 г. Вот что писал Е. С. Федоров по этому поводу: «Недавно я познакомился со статьями Шенфлиса, появившимися в Геттингенском ученом журнале. Мне доставило удовольствие видеть повторение всех существенных оснований моей теории кристаллической структуры в этих работах, хотя и в менее обработанном виде». <sup>30</sup> Далее он привел несколько параллельных цитат из статей А. Шенфлиса и из «Начал учения о фигурах», отмечая общее сходство результатов и ряд преимуществ в своих выводах.

Годом позже А. Шенфлис опубликовал статью, содержащую описание 227 пространственных групп. Е. С. Федоров в это время уже закончил и представил к печати свой труд «Симметрия правильных систем фигур». Однако и его вывод не дал еще окончательного числа пространственных групп — 230. Появление статьи А. Шенфлиса побудило русского ученого приложить к протоколу заседания Минералогического общества от 21 ноября 1889 г. предварительную таблицу выведенных им правильных систем фигур в числе 228.

Как уже отмечалось нами, отдельные оттиски «Симметрии правильных систем фигур» Е. С. Федорова увидели свет в 1890 г. Работа эта вошла в состав 28-го тома «Записок Минералогического общества», опубликованного в 1891 г. В таблице, завершающей статью, находим всего 229 правильных систем. Однако в списке опечаток, помещенном в конце упомянутого тома, приводятся поправки и дается общее число систем, равное 230. Кроме того, те же поправки находятся в протоколе заседания Минералогического общества от 13 ноября 1890 г., опубликованном ранее. <sup>31</sup> Таким образом, общая сумма всех систем оказалась равной 230.

В 1891 г. была напечатана известная книга А. Шенфлиса «*Krystallsysteme und Krystallstruktur*». Автор ее неоднократно цитирует Е. С. Федорова, указывая на его первенство в ряде вопросов, касающихся теоретической кристаллографии.

Выход в свет книги А. Шенфлиса побудил Е. С. Федорова опубликовать ряд статей в международном кристаллографическом журнале «*Zeitschrift für Krystallographie*». В них он сопоставил свои результаты с результатами А. Шенфлиса, детально изложил учение о правильных системах фигур, широко развил свою теорию строения кристаллов. Особенно важны среди статей Е. С. Фе-

---

<sup>30</sup> Е. С. Федоров. Заметка об успехах теоретической кристаллографии за последнее десятилетие. Зап. Минералог. общ., ч. 26, 1890, стр. 374—375.

<sup>31</sup> Зап. Минералог. общ., ч. 27, 1890, стр. 448—449.

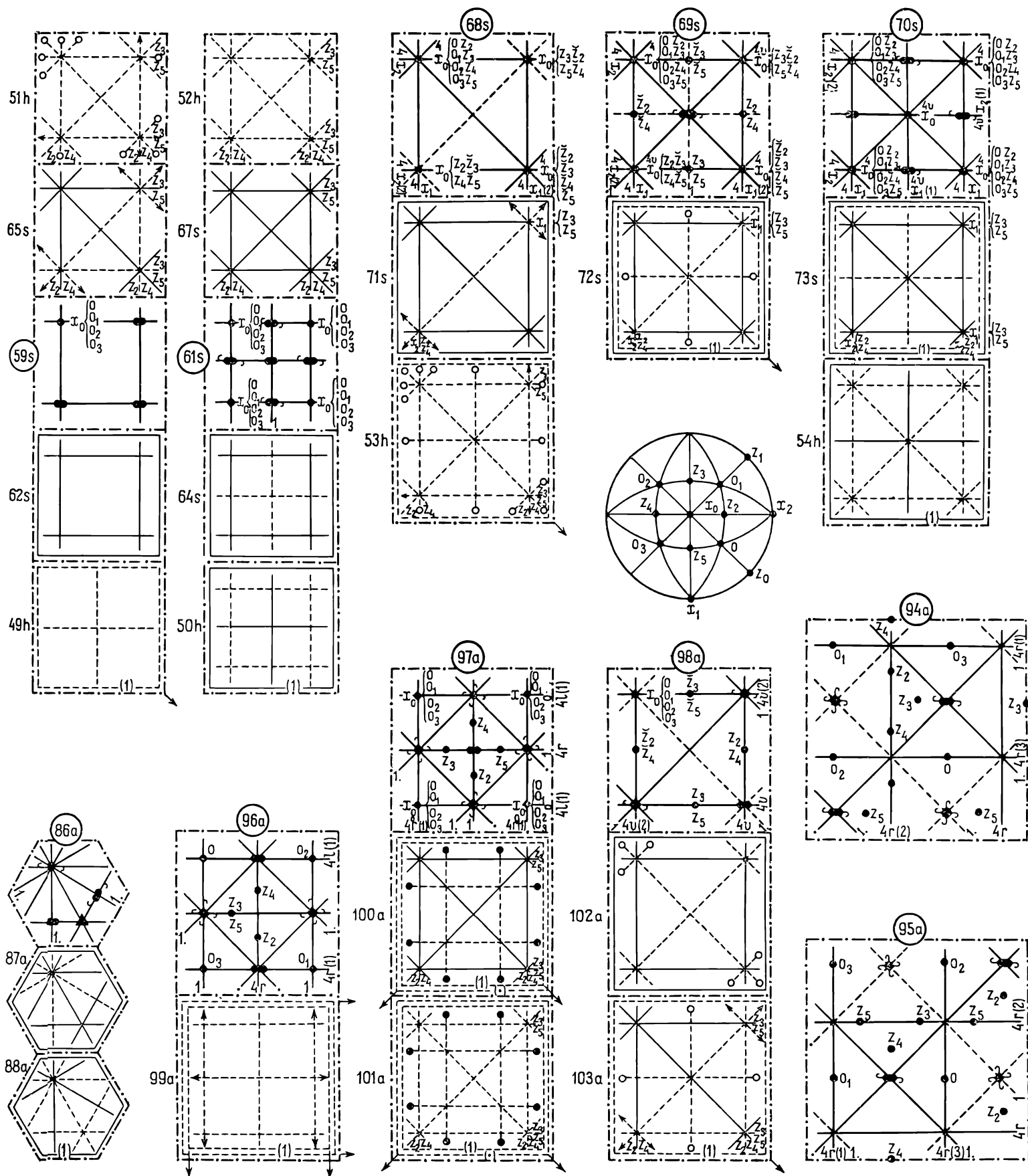


Рис. 46. Часть таблицы с диаграммами пространственных групп Федорова.



дорова «Теория кристаллической структуры» (1884—1905 гг.), «К зональной кристаллографии» (1900—1901 гг.), а также работы, посвященные учению о сингониях (1896—1906 гг.). В последних дается строго математическое подразделение 32 видов симметрии на шесть сингоний, сохранившее свое значение и в настоящее время. В основу этого подразделения положены количества единичных и симметрично-равных направлений в кристаллах. Путным вводятся понятия об изотропных, ортогональных и косых поясах. Указанная классификация послужила основой для разработки новой номенклатуры сингоний и видов симметрии, принятой во всем мире и известной под названием «номенклатуры Федорова—Грота».

Большое значение придавал Е. С. Федоров сформулированному им самим понятию эллипсоида сингонии, получающегося из шара, вписанного в основной куб кубического кристалла при преобразовании последнего в соответственный параллелоэдр какой-либо другой сингонии.

К этому же периоду относится его большая монография «Reguläre Plan- und Raumtheilung» (1899—1900 гг.), содержащая полное решение вопроса о правильном выполнении плоскости параллелограммами и пространства параллелоэдрами. В ней же подробно разобрана связь систем параллелоэдров с правильными системами точек и дан новый вывод 230 пространственных групп, основанный на упомянутой связи.

Остановимся подробнее на федоровской теории строения кристаллов и на роли параллелоэдров в этой теории.<sup>32</sup>

По Е. С. Федорову, параллелоэдр представляет собой геометрический участок пространства, занятый группой атомов — кристаллической молекулой. Кристаллическая молекула тоже не является какой-либо физической частицей. Вводя это понятие, Е. С. Федоров представлял, что кристаллическая молекула может состоять из многих химических молекул и атомов. По сути дела, его кристаллическая молекула соответствует современному понятию содержания элементарной ячейки, тем более что элементарная ячейка является одним из видов параллелоэдров Е. С. Федорова.

Понятие частицы со времени Е. С. Федорова претерпело ряд изменений, что, к сожалению, привело к ряду недоразумений, вызвавшему даже дискуссии в научной печати.

В работах раннего периода Е. С. Федоров писал, что параллелоэдры (кристаллические частицы) прикладываются друг к другу как «подлинные строительные кирпичики кристаллического вещества». При помощи параллелоэдров он объяснял спайность кристаллов, их рост, двойникование и т. д. «Все параллелоэдры

---

<sup>32</sup> В. И. Михеев и И. И. Шафрановский. Кристаллографические законы Е. С. Федорова. Сб. «Кристаллография», вып. 3, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1955. стр. 97—112.



одной части кристалла, — писал он, — должны отделяться по одному и тому же закону от другой его части».<sup>33</sup>

В реальных структурах нет таких физически раздельных частиц. Кристаллическое пространство непрерывно. Для его подразделения мы пользуемся «стенками» параллелоэдров или элементарных ячеек как чисто геометрическими вспомогательными построениями. Здесь хорошо иллюстрируется основное положение диалектического материализма о прерывности и непрерывности материи. Действительно, кристаллическое пространство является непрерывным и в то же время входящие в него частицы физически раздельны (атомы, ионы, молекулы) и потому оно прерывно.

Существование 230 пространственных групп симметрии представляет собой один из важнейших геометрических законов современной кристаллографии. С исторической точки зрения любопытно отметить, что сам Е. С. Федоров, понимая важность сделанного им вывода, не рассматривал его как самостоятельный закон. Это, по-видимому, происходило потому, что, согласно ранним взглядам ученого, не все пространственные группы удовлетворяют требованиям сформулированного им «основного закона кристаллографии». Он считал необходимым, чтобы параллелоэдры, как «строительные кирпичики» кристаллического вещества, были параллельно ориентированными. Однако пространственные группы симметрии приводили к правильным системам фигур, в которых отдельные фигуры не были обязательно параллельными.

Пространственные группы симметрии, по Е. С. Федорову, подразделяются, как уже отмечалось, на симморфные, гемисимморфные и асимморфные.

Симморфной называется такая пространственная группа, в которой параллельно каждой оси симметрии соответствующего вида симметрии проходят оси симметрии (или оси симметрии вместе с винтовыми осями), а параллельно каждой плоскости симметрии — плоскости симметрии (или плоскости симметрии вместе с плоскостями скользящего отражения). При этих системах все пространство можно заполнить параллелоэдрами, имеющими ту же конечную симметрию, что и вся система в целом.

Если параллельно хотя бы одной плоскости симметрии соответственного вида симметрии в пространственной группе проходят не плоскости симметрии, а плоскости скользящего отражения, то группа называется гемисимморфной. Такие системы характеризуются общностью только элементов совмещения параллелоэдров и всей системы.

Если параллельно хотя бы одной оси симметрии соответствующего вида симметрии в пространственной группе симметрии про-

---

<sup>33</sup> Е. С. Федоров. Приложение роста кристаллической структуры к явлениям спайности и роста кристаллов. Зап. Мипералог. общ., ч. 18. 1883, стр. 281.

ходят не оси симметрии, а только винтовые оси, то такая пространственная группа называется асимморфной. Асимморфная система не имеет ни одного элемента совмещения, общего с параллелоэдром.

Легко понять, что в асимморфных пространственных группах не все фигуры, образующие правильную систему, находятся в параллельном положении. В то же время из федоровской

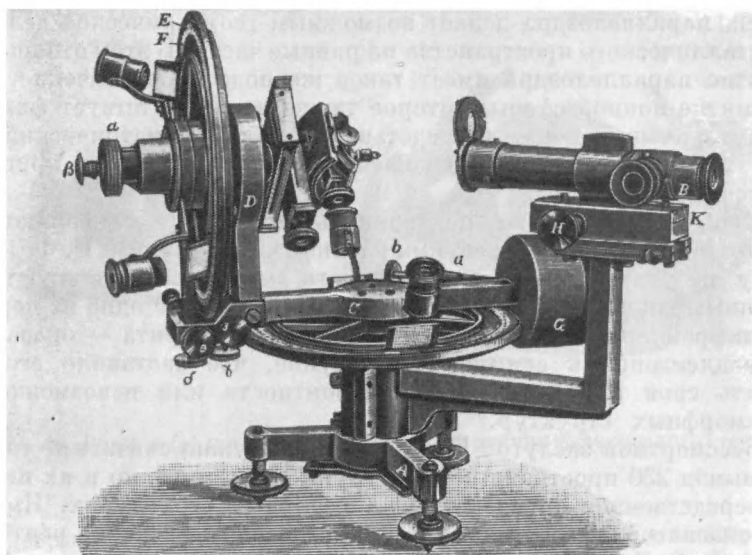


Рис. 47. Двукружный отражательный гониометр Федорова.

теории параллелоэдров следует, что все «строительные кирпичики» (параллелоэдры, кристаллические молекулы, частицы Федорова) должны быть в параллельном положении. Видимо, поэтому Е. С. Федоров, не дооценив значения асимморфных систем, не придавал практического значения всем 230 пространственным группам и не приписал своему важнейшему результату по исследованию симметрии кристаллов значения закона.

До работ по рентгенометрии кристаллов Е. С. Федоров видел лишь один путь определения структуры — с помощью параллелоэдра. Поэтому он занялся исследованием связи между параллелоэдрами и элементами симметрии пространственных групп, рассчитывая вывести все возможные роды структур кристаллов. Всего им было выведено 1182 возможных вида структур, из которых только 246 он считал вероятными.

Увлеченный идеей возможности определения реальной структуры кристаллов по их внешним формам, Е. С. Федоров, предвос-

хищая будущие достижения науки, придавал большее значение выведенным им гипотетическим видам структур, чем своим 230-пространственным группам и правильным системам. Этому способствовало также его представление о параллелоэдре как «строительном кирпичике», основанное на современном ему понятии элементарной частицы.

Как отмечалось выше, понятие частицы со времени Е. С. Федорова коренным образом изменилось и по необходимости должно было измениться также и понятие федоровского параллелоэдра. Форма параллелоэдра делает возможным геометрическое деление кристаллического пространства на равные части. В этом отношении понятие параллелоэдра имеет такое же подсобное значение, как и понятие ионной сферы, которое также не соответствует физическому значению иона, а представляет собой геометрический образ, характеризующий соотношение между частицами кристаллической структуры.

Необходимо, однако, подчеркнуть, что в 1914 г., ознакомившись с первыми расшифровками реальных структур, Е. С. Федоров сразу же указал на их подчиненность выведенным им пространственным группам. Его не остановило даже то, что одна из первых расшифрованных структур — структура пирита — оказалась принадлежащей к асимметричной группе, что заставило его изменить свои взгляды о малой вероятности или невозможности асимметричных структур.<sup>34</sup>

Бессмертной заслугой Е. С. Федорова нужно считать не только его вывод 230 пространственных групп симметрии, но и их первое непосредственное определение на реальных структурах. Именно это оказало огромное влияние на дальнейшее развитие рентгеноструктурного метода и позволило применить математический аппарат, созданный Е. С. Федоровым, для определения структур кристаллов.

Одновременно с разработкой вопросов теоретической кристаллографии, тесно связанной с развитием чисто геометрических разделов о симметрии и морфологии многогранников, Е. С. Федоров интенсивно трудился над созданием универсального теодолитного метода в гониометрии и кристаллооптике. В конце 1889 г. он сделал доклад на заседании Минералогического общества о своем проекте двукружного (теодолитного) гониометра для измерения углов на кристаллах.<sup>35</sup> Этот прибор был им вскоре сконструирован (рис. 47).

---

<sup>34</sup> Е. С. Федоров. Первое констатирование опытным путем асимметричной правильной системы. Зап. Горн. инст., т. 5, 1914, стр. 54—56.

<sup>35</sup> В Минералогическом музее Кембриджского университета (Англия) хранится двукружный гониометр, сконструированный в 1875 г. известным кристаллографом В. Миллером (1801—1889) из двух однокружных гониометров Волластона. Описание этого прибора дал в 1882 г. ученик Миллера В. Левис. Этот единственный экземпляр гониометра остался совершенно незамеченным в кристаллографической литературе и был неизвестен как

От старого однокружного гониометра он отличается двумя осями вращения. В последующие годы Е. С. Федоров опубликовал несколько статей, касающихся методики измерения и обработки результатов измерения на новом гониометре.

Изобретение двукружного гониометра и разработка способов его применения произвели полный переворот в методике исследования кристаллов. Позднее сходные конструкции были предложены В. Гольдшмидтом и С. Чапским. В настоящее время однокружный гониометр, употреблявшийся до федоровского изобретения, почти

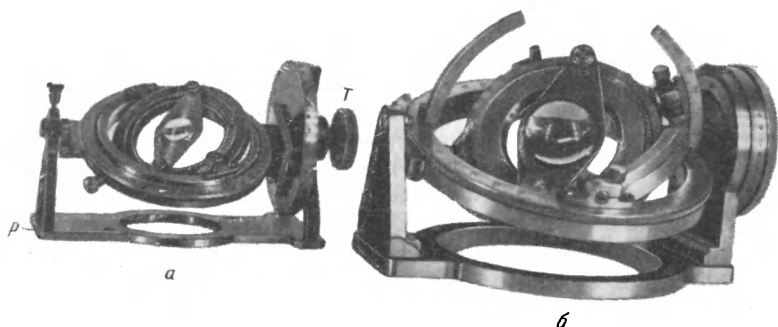


Рис. 48. Ранняя (а) и современная (б) конструкции федоровского столика для микроскопа.

совершенно оставлен. Кристаллографы всего мира работают исключительно на двукружных гониометрах. Впоследствии Е. С. Федоров неоднократно возвращался к вопросам гониометрического исследования кристаллов, отыскивая пути упрощения вычислений. В этом отношении особенно важны созданные им методы проективных символов и биполярных координат или зональных вычислений. Попутно коренной переработке подверглась теория кристаллографических проекций и был предложен новый способ изображения кристаллов при помощи федоровской стереографической сетки, лишь впоследствии отступившей на второй план перед широко известной сеткой Вульфа (см. рис. 52).

В мае 1891 г. Е. С. Федоров обратился к Геологическому комитету с предложением осуществить постройку универсального оптического столика, ныне именуемого «федоровским столиком». Спустя немногим более полугода, 7 января 1892 г., он уже сообщил в Минералогическом обществе о сконструированном им универсаль-

---

самому Е. С. Федорову, так и его продолжателям — В. Гольдшмидту и С. Чапскому (см.: В. А. Франк-Каменецкий. К истории создания теодолитного гониометра. Сб. «Кристаллография», вып. 3, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1955, стр. 139—145).

ном столике (рис. 48), предназначенном «для более точного изучения оптических свойств кристаллических пластинок под микроскопом».<sup>36</sup> В 1893 г. в «Трудах Геологического комитета» была напечатана его знаменитая монография «Теодолитный метод в минералогии и петрографии».

Оптический столик Федорова представляет собой прибор, привинчивающийся к обычному столику поляризационного микроскопа. Исследуемый с его помощью препарат помещается внутри стеклянного шара, вращающегося вокруг четырех осей. Эта конструкция дала возможность рассматривать под микроскопом любое кристаллическое зерно в препарате по различным направлениям и производить в нем необходимые измерения.

По своему содержанию федоровский оптический метод является чисто кристаллографическим, но его значение особенно велико для минералогов и петрографов, а также для физико-химиков, так как он позволяет изучать закономерности, связывающие оптические константы кристаллов и их химический состав. Этот метод был применен Е. С. Федоровым для изучения непрерывного ряда кальциево-натровых полевых шпатов (плаггиоклазов). Применение нового метода при исследовании уральских горных пород и слагающих их минералов дало ученому материал для цикла статей «Universal methode und Feldspatstudien» (1896—1898 гг.). В них, помимо описания основных приемов универсального метода оптических исследований, содержатся специальные диаграммы, позволяющие определить по оптическим данным химический состав плаггиоклазов и символы их кристаллографических элементов.

Из всех достижений Е. С. Федорова универсальный метод пользуется наибольшей популярностью. Во всем мире студентам-минералагам и петрографам читаются о нем специальные курсы. Детальному изложению универсального метода посвящена обширная классическая монография выдающегося ученика и помощника Е. С. Федорова — проф. В. В. Никитина (1867—1942).

В. В. Никитин с 1901 по 1922 г. был профессором минералогии в Петербургском, а затем Ленинградском горном институте (на этом посту он сменил проф. Г. Г. Лебедева, автора известного «Учебника минералогии»). Ряд научных работ был им выполнен совместно с Е. С. Федоровым. В. В. Никитин развил федоровский теодолитный кристаллооптический метод и составил обширную монографию «Универсальный метод Федорова. Систематический ход определения оптических констант кристалла» (три выпуска, 1911—1915 гг.). Заслуга В. В. Никитина состоит также в популяризации идей Е. С. Федорова. Им же была написана первая биография Е. С. Федорова с приложением списка его работ.<sup>37</sup> Специальные исследования и руководства по федоровскому методу были опубли-

<sup>36</sup> И. И. Шафрановский. Е. С. Федоров, стр. 126.

<sup>37</sup> В. В. Никитин. Е. С. Федоров. Изв. Геол. комит., т. 38, 1919. № 4—7.

кованы рядом иностранных авторов (Дюпарк, Рейнхард, Берек, Кандель-Вила и др.). Широкое распространение этого метода во всем мире красноречивее всего говорит о его значении. Недаром неоднократно отмечалось в литературе, что одного этого изобретения было бы достаточно для того, чтобы обессмертить имя его создателя.

Помимо своего столика, Е. С. Федоров ввел в практику оптических исследований слюдяной компенсатор, стеклянные сегменты, предложил новый метод определения показателей преломления в зернышках микроскопических препаратов, описал и теоретически объяснил явления псевдохроизма, псевдодихроизма, псевдоабсорбции и т. д.

Более поздний период федоровского творчества был посвящен главным образом разработке кристаллохимического анализа, который дает возможность определить, исходя из гониометрического изучения кристалла, его вещество. По мысли Е. С. Федорова, с помощью этого анализа мы можем получить и наиболее вероятные, хотя и схематические, представления о внутреннем строении исследуемого кристаллического вещества.

Кристаллохимический анализ базируется, с одной стороны, на законе постоянства кристаллических углов, а с другой — на теории строения кристаллов самого Федорова, в основном разработанной уже в «Началах учения о фигурах». Исходя из выполнения пространства параллелоэдрами, Е. С. Федоров пришел к заключению, что все простые кристаллические решетки можно при помощи растяжений или сдвигов вывести из четырех решеток, соответствующих четырем типам идеальных параллелоэдров. Три из них — гексаэдрическая (простая), октаэдрическая (центрированная) и додекаэдрическая (центрогранная) — являются кубическими, четвертая, призматическая, — гексагональной. Согласно известному федоровскому закону кристаллографических пределов, весь мир кристаллов делится на два типа — кубический и гексагональный. По О. Браве, на кристаллах статистически доминируют те грани, плоскости которых наиболее густо усажены элементарными частицами. Ясно, что вышеуказанным четырем типам решеток будут соответствовать различные доминирующие грани (для гексаэдрической —  $\{100\}$ , для октаэдрической —  $\{110\}$ , для додекаэдрической —  $\{111\}$ ). Отсюда и вытекает возможность по внешним формам кристаллов предугадать типы их решеток. Для достижения этой цели кристаллам следует придавать правильную установку. Теория такой установки, тщательно разработанная Е. С. Федоровым, описана в ряде его статей. Весь колоссальный, накопленный в литературе материал по измерению кристаллов был с этой точки зрения им критически пересмотрен и расположен в виде единого стройного ряда. Такой ряд положен в основу монументального труда «Царство кристаллов» («Das Kristallreich»), содержащего таблицы по кристаллохимическому ана-

лизу. Пользуясь этой книгой, можно определять вещество ограниченных кристаллов. Для этого нужно измерить кристалл на гониометре, придать ему правильную установку и вычислить символ комплекса (ряд характерных угловых величин). Далее путем сравнения полученных данных с данными, помещенными в «Царстве кристаллов», исследуемое вещество отождествляется с соответствующим веществом, находящимся в книге.

Само собой разумеется, что такой метод анализа имеет ряд преимуществ. В самом деле, вещество при исследовании не уничтожается, для анализа достаточно одного маленького кристаллика, время исследования не превышает нескольких часов. Вместе с тем этот анализ имеет и недостатки: определение возможно только при наличии хорошо образованных кристаллов; кубические и изоморфные вещества с равными углами между гранями одинаковых форм гониометрически неотличимы; анализ может быть произведен лишь для веществ, помещенных в таблицы.

Метод Е. С. Федорова, как указывалось выше, помимо определения вещества, позволяет установить, хотя и весьма схематически, тип внутренней структуры по внешнему ограничению кристаллов. До открытия рентгеноанализа это был единственный метод определения кристаллической структуры. Рассмотрим, в каких именно случаях федоровский кристаллохимический анализ дает возможность правильно определить тип решетки или даже всей структуры в целом. Оказывается, это может быть сделано лишь при условии, когда вся структура сводится к одной из пространственных федоровских решеток. Так как все узлы такой решетки должны быть совершенно одинаковыми, то это будет наблюдаться лишь у кристаллов элементов, кристаллическая структура которых образует одну федоровскую решетку. К ним, например, относятся кристаллы самородной меди, золота, серебра и платины.

Методом Федорова эта структура может быть безошибочно определена по преобладанию октаэдрических граней на кристаллах. При более сложных структурах особо благоприятные условия для определения федоровской решетки возникают в тех случаях, когда в связи с воздействием активной среды на общем фоне структуры выдвигаются по своему значению на первый план ионы одного сорта. Если эти ионы слагают одну решетку, тип ее также может быть безошибочно определен по федоровскому методу. Именно это и наблюдается у октаэдрических кристаллов хлористого натрия, выросших из растворов, содержащих мочевины (ионы  $\text{Cl}$  или ионы  $\text{Na}$  по отдельности образуют кубическую центрогранную решетку).

Наконец, следует упомянуть еще один случай, когда совокупность атомов структуры образует как бы одну суммарную решетку, в которой разнородные атомы могут рассматриваться как одинаковые. Такова простая кубическая решетка поваренной соли

при условии одинаковой раскраски на модели ионов натрия и хлора (рис. 49). При наличии нейтральной среды такие атомы должны вести себя как одинаковые, образуя обычную кубическую форму NaCl. В этом случае метод Федорова дает понятие о пространственном расположении всех атомов, входящих в структуру, не разделяя их по элементам и сводя их к одной решетке.

Следует подчеркнуть, что для метода, который был разработан до рентгеноанализа, полученные результаты по определению типа решетки нельзя не считать замечательными.<sup>38</sup> Само собой разумеется, что после развития рентгеноанализа, достоверно определяющего реальную структуру, эта сторона федоровского метода

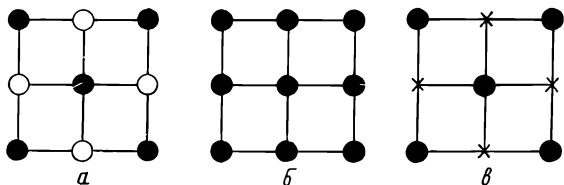


Рис. 49. Динамика сетки (100) для структуры NaCl в химически различных средах.

*a* — сетка (100); *б* — то же, в нейтральной среде; *в* — то же, в активной среде.

утеряла свой первоначальный интерес. Несмотря на это, значение федоровского кристаллохимического анализа как метода определения вещества целиком сохранилось и до наших дней.

Впоследствии многие авторы стремились упростить его, опуская вопрос определения кристаллической структуры и непосредственно переходя от измерения углов к определению химического состава. Работу в этом направлении в СССР продолжил ученик Е. С. Федорова — проф. А. К. Болдырев, в Англии — федоровский же ученик и сотрудник Т. Баркер, а также М. Портер и Р. Шпиллер, в США — И. Д. Х. Донней, во Франции — Ж. Мелон.

Помимо работ, касающихся кристаллохимического анализа, Е. С. Федорову принадлежит большое количество статей, трактующих вопросы химической кристаллографии. К ним относятся работы по росту и растворению кристаллов, полиморфизму, изоморфизму и т. п. Особенного упоминания заслуживают оригинальные опыты и высказывания по вопросам кристаллогенезиса и несовершенства кристаллов. По инициативе и под руководством Е. С. Федорова его учеником Д. Н. Артемьевым был разработан метод

<sup>38</sup> В. И. Михеев и И. И. Шафрановский. Достоверность определения типа структуры по методу Е. С. Федорова. Сб. «Кристаллография», вып. 1, Изд. Ленингр. горн. инст., Л., 1951, стр. 5—14.



кристаллизации шаров, сохранивший свое значение и в настоящее время.<sup>39</sup> Исследование граней, появляющихся при регенерации вырезанного из кристалла шара, дает очень любопытный и важный материал для изучения связи внешней формы и внутреннего строения кристаллического вещества.

Свои важнейшие достижения в области кристаллографии Е. С. Федоров неоднократно обобщал и суммировал в известных «Курсах кристаллографии». Четыре издания его курсов, в 1891, 1897, 1901 и 1910 гг., ярко отражают непрерывный рост его творчества. По глубине и оригинальности эти книги являются столь же характерными для Е. С. Федорова, как «Основы химии» для Д. И. Менделеева. От предыдущих руководств по кристаллографии федоровские труды отличаются своим строго математическим изложением. В них Е. С. Федоров «поставил кристаллографию прочно, неизменно и неовозвратно на точный математический геометрический базис».<sup>40</sup>

В последний период своего творчества Е. С. Федоров параллельно с разработкой кристаллохимического анализа отдал много труда развитию некоторых отделов новой геометрии. Здесь его прежде всего привлекала проективная геометрия — изучение геометрических образов с помощью методов проектирования. Помимо того, он с особым увлечением развивал учение о системах различных геометрических образов. В таких системах вместо основного элемента элементарной геометрии — точки берутся в качестве элементов другие геометрические образы, например круги, шары, векторы, плоскости и проч. Подобно тому как из точки создается геометрия образов, построенных из точек, так из кругов, шаров, векторов и прочего можно создать до известной степени аналогичные геометрии кругов, шаров, векторов и проч. Соответственно точкам, линиям, плоскостям, трехмерному пространству элементарной геометрии здесь мы будем иметь, по терминологии Е. С. Федорова, примы, секунды, терции, состоящие из упомянутых элементов, т. е. бесконечные совокупности первой, второй, третьей и т. д. степеней.

В геометрии Эвклида всякая теорема относится лишь к системе, построенной из точек, тогда как теоремы и построения новой геометрии одинаково приложимы ко всем без исключения геометрическим системам. Элементарная геометрия, касаясь только одной частной системы — системы точек, является тем самым лишь частью новой геометрии. «Так как каждая теорема новой геометрии одинаково справедлива для всех систем одной и той же степени,

---

<sup>39</sup> Д. Н. Артемьев. Метод кристаллизации шаров и его применение при изучении формы и строения кристаллического вещества. Труды Петроградск. общ. естествоиспытателей, т. 37, вып. 5, отд. геолог. и минералог., 1914, стр. 59—310.

<sup>40</sup> А. К. Болдырев. Схема научных работ Е. С. Федорова. Изв. Географ. инст., 1921, вып. 2, стр. 124.

то эту дисциплину в отношениях ее с геометрией древних можно сопоставить, как алгебру в отношениях к арифметике», — писал ученый. «Дайте нам новую теорему и мы выведем из нее безграничное множество других», — горделиво восклицал он.<sup>41</sup> Для его гения эта область математики представляла широчайший простор. С одной стороны, им развивались уже имевшиеся ранее системы (геометрии векторов, плоскостей, шаров), а с другой — создавались новые системы. К последним принадлежат системы векториальных кругов, векториальных шаров, параллельных векторов и др.

Помимо серии статей, посвященных этой области («Системы гармонических отрезков и векторов», 1908 г.; «Существование безграничного множества геометрических систем», 1908 г.; «Основные черты новой геометрии», 1912 г.; «Сферические совокупности коноприм», 1914 г.; «Системы векторов и векториальных пар лучей», 1914 г., и др.), Е. С. Федоров опубликовал обширную монографию «Новая геометрия как основа черчения» (1907 г.). В этой замечательной книге содержится не только изложение основ новой геометрии, но и приводится огромный оригинальный материал. В частности, здесь описывается несколько новых геометрических систем и даются основы тройной номенклатуры бесконечных совокупностей элементов. Свои чисто теоретические выводы в области геометрии Е. С. Федоров всегда стремился использовать практически. Одно из существенных отличий новой геометрии от элементарной заключается в том, что в ней могут быть системы четырех, пяти и т. д. измерений. Этим ученый и стремился воспользоваться на практике, в частности для изображения на плоскости элементарных частиц, слагающих пространственные кристаллические структуры.

Из его статей, трактующих о применении новой геометрии, отметим «Точное изображение точек пространства на плоскости» (1907 г.) и «Изображение структуры кристалла векториальными кругами» (1908 г.). Недавно акад. А. Н. Заварицкий применил федоровский метод изображения точек пространства с помощью векториальных кругов (т. е. кругов с определенными направлениями) для изображения реальных кристаллических структур.<sup>42</sup> При этом методе направление кругов обозначается стрелками, направленными по часовой и против часовой стрелки. Первые могут быть использованы для изображения атомов структуры, лежащих выше плоскости проекции, вторые соответствуют точкам, находящимся ниже этой плоскости. Радиусы самих кругов дают понятие о степени удаленности атомов от плоскости проекции.

---

<sup>41</sup> Е. С. Федоров. Основные черты новой геометрии. Зап. Горн. инст., т. 3, 1912, стр. 387.

<sup>42</sup> А. Н. Заварицкий. Об изображении атомных структур минералов. Изв. АН СССР. 1949, № 6, стр. 141—165.

Широкое использование этого метода в структурной кристаллографии позволит в некоторых случаях существенно упростить плоскостные изображения структур.

Заканчивая на этом наш далеко не полный обзор кристаллографического наследия Е. С. Федорова, мы должны в заключение отметить, что идеи и методы великого ученого живут и играют действенную роль в современной науке о кристаллах.

Е. С. Федоров оставил после себя большую научную школу, развивавшуюся сначала главным образом в стенах Ленинградского горного института, а затем широко распространившуюся и за пределами этого учебного заведения. К числу учеников Е. С. Федорова принадлежат многие крупные кристаллографы и минералоги, разрабатывавшие идеи своего учителя уже в советское время. (проф. А. К. Болдырев, акад. А. Н. Заварицкий, проф. О. М. Аншелес, проф. В. Н. Лодочников и многие другие). Тем самым, говоря о научном наследии Е. С. Федорова, мы непосредственно вступаем уже в сегодняшний день науки о кристаллах.

---

## ХІХ. Г. В. ВУЛЬФ

Выдающиеся достижения Г. В. Вульфа в области науки о кристаллах широко известны. Знаменитая сетка Вульфа, основная формула рентгеноструктурного анализа — формула Брегга—Вульфа, принцип минимума поверхностной энергии кристалла — принцип Гиббса—Кюри—Вульфа и т. п. вошли во все элементарные курсы кристаллографии и рентгенометрии. Сейчас особенно памятливы первые в нашей стране экспериментальные работы по рентгенометрии кристаллов, поставленные Г. В. Вульфом и доставившие ему почетное звание «основателя структурного рентгеноанализа в России».<sup>1</sup>

Г. В. Вульф сыграл огромную роль и в деле переключения кристаллографии из круга геолого-минералогических дисциплин в область физики. Кристаллографию он считал частью физики, учением о твердом теле как о специфической среде. «На кристалл стали смотреть как на непрерывную среду, как на субстрат для физических явлений», — неоднократно подчеркивал он.<sup>2</sup>

Вместе с Е. С. Федоровым Г. В. Вульф возглавлял кристаллографию в нашей стране в первой четверти этого столетия. Ряд его капитальнейших достижений относится уже к советскому периоду. Здесь мы остановимся лишь на тех работах, которые увидели свет до 1917 г.

Георгий (Юрий) Викторович Вульф родился в 1863 г. в Нежине, где его отец был директором гимназии. Вскоре после рождения Г. В. Вульфа семья переехала в Варшаву, где и протекли детство и юность будущего ученого. Склонность его к точным наукам и в особенности к математике ярко проявилась уже в гимназические годы. «Решение алгебраических и геометрических задач было для него не скучной обязанностью, а почти эстетическим наслаждением», — пишет его биограф.<sup>3</sup>

После окончания гимназии Г. В. Вульф поступил в Варшавский университет на естественное отделение физико-математиче-

<sup>1</sup> Е. Е. Флинт. Юрий Викторович Вульф. Зап. Минералог. общ., ч. 80, 1951, № 1, стр. 67.

<sup>2</sup> Г. В. Вульф. Кристаллы, их образование вид и строение. М., 1926, стр. 3.

<sup>3</sup> Е. Е. Флинт. Памяти Ю. В. Вульфа. Труды Инст. прикладн. минералогии, вып. 84, 1926, стр. 6.

ского факультета. Курс кристаллографии (вместе с минералогией и петрографией) читался тогда в Варшавском университете проф. А. Е. Лагорио (1852—около 1925 г.).

Крупный петрограф и минералог-экспериментатор, А. Е. Лагорио особенно известен работами, посвященными вопросам кристаллизации магмы. Свои выводы он тесно увязывал с основными законами физической химии.<sup>4</sup> Среди его научных публикаций имеются и кристаллографические исследования. В них описывается кристаллография ряда искусственных минералов, полученных как самим А. Е. Лагорио, так и его учителем по Дерптскому университету, известным минералогом И. И. Лембергом (1842—1902).<sup>5</sup>

Под руководством А. Е. Лагорио студент Г. В. Вульф выполнил свое первое научное исследование «О кристаллах дифенил-пароксилил-метана» (1885 г.).<sup>6</sup> Эта морфологически-описательная работа еще совершенно не характерна для Г. В. Вульфа. «Юрий Викторович таких тем не любил и в своей дальнейшей работе никогда больше не разрабатывал», — замечает по этому поводу Е. Е. Флинт.<sup>7</sup>

Однако в студенческие годы Г. В. Вульф под руководством профессора физики И. Г. Егорова закончил и другую работу — «Опытное исследование электрических свойств кварца» (1886 г.), в которой уже ярко сказались и его экспериментальное дарование, и глубокий интерес к физике кристаллов.<sup>8</sup> Это сочинение было премировано университетской золотой медалью. В нем, по существу, определилось то научное направление — направление кристаллографо-физическое, — в котором Г. В. Вульф так плодотворно работал на протяжении всей своей жизни.

После окончания университета в 1885 г. Г. В. Вульф был приглашен на должность ассистента физической лаборатории Варшавского университета. Одновременно он был оставлен при кафедре минералогии для подготовки к профессорскому званию. Однако все его интересы были устремлены в область физики, а не минералогии.

<sup>4</sup> А. П. Резников. 1) Геология в Варшавском университете. Очерки по истории геологических знаний, вып. 4, 1955, стр. 189—194; 2) А. Е. Лагорио и его роль в развитии петрографии. Там же, вып. 5, 1956, стр. 260—273.

<sup>5</sup> А. Е. Лагорио. 1) Кристаллографическое исследование минералов воспроизведенных искусственно Лембергом. Протоколы Варшавск. общ. естествоиспытателей, 1890, № 5, 2) Кристаллографические исследования некоторых искусственных минералов. Труды Варшавск. общ. естествоиспытателей, 1893, № 3.

<sup>6</sup> Г. В. Вульф. О кристаллах дифенил-пароксилил-метана  $\text{C}_{12}\text{H}_{10} \cdot \text{C}_8\text{H}_9 \cdot 2(\text{C}_6\text{H}_5)$ , приготовленного В. А. Гемилианом. Варшавск. унив. известия, 1885, № 4, стр. 1—6.

<sup>7</sup> Е. Е. Флинт. Воспоминания о Ю. В. Вульфе. Труды Инст. кристаллографии АН СССР, вып. 6, 1951, стр. 3.

<sup>8</sup> Г. В. Вульф. Опытное исследование электрических свойств кварца. Варшавск. унив. известия, 1886, № 3, стр. 1—17.

В 1890 г. он был командирован за границу, где занимался сперва в Мюнхене у знаменитого немецкого кристаллографа



Г. В. Вульф (1863—1925).

П. Грота, а затем в Париже у известного физика М. А. Корню. От этого периода сохранилась интересная, ныне опубликованная, переписка Г. В. Вульфа с Е. С. Федоровым.<sup>9</sup> До отъезда за границу

---

<sup>9</sup> Из переписки Е. С. Федорова с А. Шенфлисом и Ю. В. Вульфом. Публикация Г. Б. Бокия и И. И. Шафрановского. Научн. наследство, т. 2, 1951, стр. 344—354.

Г. В. Вульф обещал Е. С. Федорову опубликовать в немецком «Кристаллографическом журнале» рефераты наиболее выдающихся трудов своего старшего коллеги. В этих рефератах было передано содержание ряда капитальнейших трудов Е. С. Федорова, появившихся в русских изданиях и остававшихся совершенно неизвестными за рубежом. В число их входили «Начала учения о фигурах», «Этюды по аналитической кристаллографии», «Симметрия конечных фигур» и др. Из писем Г. В. Вульфа видно, как П. Грот, вначале задержавший печатание рефератов, впоследствии понял исключительное значение трудов Е. С. Федорова и стал его горячим пропагандистом на страницах своего журнала. Сам Г. В. Вульф вменял себе в особую заслугу то, что он, по собственному его выражению, «открыл Федорова», т. е. сделал его известным, за границей.<sup>10</sup>

В Париже у М. А. Корню Г. В. Вульф закончил крупное исследование по усовершенствованию метода Корню для измерения упругих деформаций твердых тел на основании измерения ньютоновских колец.<sup>11</sup> В этой работе он выступил как вполне определившийся физик.

Вернувшись через полтора года в Россию, Г. В. Вульф успешно защитил магистерскую диссертацию на тему «Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов в связи с теорией кристаллического строения вещества» (1892 г.). В этом сочинении нашло отражение углубленное изучение Г. В. Вульфом новейших теорий строения кристаллов, в первую очередь теории пространственных групп. Получив звание магистра минералогии и геогнозии, он был утвержден приват-доцентом Варшавского университета. Пробная лекция, для которой он избрал тему «О жидких кристаллах», затрагивала совершенно новые проблемы и прошла с успехом.

В 1895 г. Г. В. Вульф закончил свою классическую работу «К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллических граней» и представил ее в ученый совет Варшавского университета в качестве докторской диссертации. Однако ученый совет не принял работу, мотивируя свой отказ тем, что для докторской диссертации она слишком мала по объему (120 страниц). В результате Г. В. Вульф передал свою диссертацию в Одесский университет, где и защитил ее в 1896 г.<sup>12</sup>

В 1897 г. Г. В. Вульф получил кафедру минералогии и кристаллографии в Казанском университете, а затем, после отъезда из Варшавы проф. А. Е. Лагорию, — в Варшавском университете, где он оставался до 1906 г. Реакция, наступившая после револю-

---

<sup>10</sup> А. В. Ш у б н и к о в. Юрий Викторович Вульф. Природа, 1926, № 1—2, стр. 7.

<sup>11</sup> Г. В. В у л ь ф. Оптический метод Корню для измерения упругости твердых тел. Варшавск. унив. известия, 1893, № 9; 1894, № 1—2; отд. отиск, стр. 1—96.

<sup>12</sup> Е. Е. Ф л и н т. Воспоминания о Ю. В. Вульфе, стр. 4.

ции 1905 г., сказала на положении Г. В. Вульфа. Он, как общественный деятель с передовыми, прогрессивными взглядами или, по тогдашнему выражению, как профессор левых убеждений, вследствие систематической травли со стороны реакционных элементов не смог оставаться в Варшаве и со своей семьей уехал в Женеву. Очень интересные моменты этого периода описаны в его заметке «Последние месяцы в Варшавском университете».<sup>13</sup>

Живя за границей, Г. В. Вульф вел переписку с акад. В. И. Вернадским по поводу переезда в Москву. Эти переговоры увенчались успехом, и в 1908 г. он начал работать в Московском университете. Еще во время пребывания в Варшаве Г. В. Вульф на личные средства приобретал различные приборы и оборудовал прекрасную кристаллографическую лабораторию. Переехав в Москву, он перевез с собой и всю свою лабораторию, разместив ее в отведенном ему помещении Московского университета.<sup>14</sup> В этот период Г. В. Вульф связал свою деятельность с научным кружком В. И. Вернадского и его учеников. Яркую зарисовку Г. В. Вульфа и молодого А. Е. Ферсмана мы находим в интересных воспоминаниях акад. А. В. Шубникова: «Через год (в 1910 г.) я начал специализироваться по кристаллографии у Ю. В. Вульфа, получившего тогда в институте В. И. Вернадского небольшую лабораторию. Вульф имел уже 25-летний научно-педагогический стаж, был пенсионером и рассчитывал заняться научно-исследовательской деятельностью».

«Вульф и Ферсман во многом отличались друг от друга. В то время как Ферсман обладал общительностью и живостью характера, широтой мысли, быстротой и смелостью в действиях, для Вульфа характерными были замкнутость, медлительность, не находчивость и осторожность в утверждениях. . . А. Е. [Ферсман] преувеличивал значение минералогии и кристаллографии; Вульф, наоборот, преуменьшал, считая кристаллографию просто частью физики, а минералогию — частью химии, даже прикладной химии».<sup>15</sup>

К сожалению, работа в Московском университете вскоре была прервана. В 1911 г. Г. В. Вульф вместе с прогрессивной профессурой в знак протеста против действия министра просвещения Кассо покинул Московский университет и перешел в Народный университет им. Шанявского. Вскоре он занял также кафедру минералогии на Московских высших женских курсах. Несмотря на непродолжительность пребывания в Московском университете,

---

<sup>13</sup> Г. В. В у л ь ф. Последние месяцы в Варшавском университете. Голос минувшего, 1908, № 12, стр. 190—196.

<sup>14</sup> А. Б. М л о д з е е в с к и й. Юрий Викторович Вульф. Биографический очерк. В кн.: Ю. В. В у л ь ф. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии. Гостехтеоретиздат, М., 1952, стр. 6.

<sup>15</sup> А. В. Ш у б н и к о в. Образ А. Е. Ферсмана по личным воспоминаниям. Зап. Минералог. общ., ч. 75, 1946, № 1, стр. 73—74.



уже в эти годы у Г. В. Вульфа появились ученики, из которых научное направление своего учителя впоследствии возглавил и развил далее А. В. Шубников.

В университете Шанявского Г. В. Вульф создал первоклассную кристаллографическую лабораторию. Читавшиеся им здесь курсы сопровождались многочисленными демонстрациями и имели большой успех.

В эти годы ученый особенно сблизился с рядом московских физиков во главе с П. Н. Лебедевым, и с этого времени физические интересы преобладают в его творчестве.

Особенно много занимался Г. В. Вульф проблемой жидких кристаллов, открытых О. Леманом. Полученные им результаты докладывались на совещании физиков. Г. В. Вульф принимал самое активное участие сперва в университетско-физическом коллоквиуме, возглавлявшемся П. Н. Лебедевым, а затем в Московском физическом обществе, в котором Лебедев был председателем, а Вульф — членом совета (в 1921 г. председателем общества был избран Вульф).

Открытие М. Лауе в 1912 г. дифракции рентгеновских лучей в кристаллах было очень быстро оценено Г. В. Вульфом, полностью осознавшим все значение этого. Он сразу же включился в разработку структурного рентгеноанализа кристаллов.

История ознакомления Г. В. Вульфа с открытием М. Лауе описана В. И. Назаровым: «Летом 1912 г. Н. Е. Успенский, тогда преподаватель кафедры физики Московского коммерческого института, находился в научной командировке в Германии. При посещении Мюнхенского университета он наблюдал производившиеся тогда опыты по дифракции рентгеновских лучей в кристаллах и познакомился с авторами этой работы — М. Лауе, В. Фридрихом и П. Книппингом. В ноябре 1912 г. после опубликования авторами указанной работы Н. Е. Успенский немедленно доложил ее в Московском физическом обществе им. П. Н. Лебедева. Этим докладом очень заинтересовался Г. В. Вульф и предложил Н. Е. Успенскому совместно работать по изучению дифракции рентгеновских лучей при условии, если Успенскому удастся разработать методику и осуществить соответствующую установку. К началу января 1913 года такая установка была сконструирована, и, таким образом, в Московском коммерческом институте (ныне Институт народного хозяйства им. Плеханова) появилась научная рентгеновская лаборатория, которая в течение довольно длительного времени была одним из центров развития отечественной научной и прикладной рентгенографии».<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> В. И. Назаров. Основоположники отечественной рентгенографии. Памяти Ю. В. Вульфа и Н. Е. Успенского. Сообщение о научн. работах членов Всесоюзн. хим. общ. им. Д. И. Менделеева, вып. 4, 1951, стр. 25.



Лекция Г. В. Вульфа в Народном университете им. Шанявского в 1913 г.

В 1913 г. в письме к М. Лауе Вульф сообщил о выведенной им основной формуле  $\frac{\lambda}{2} = \frac{\Delta\varepsilon}{m}$ . Однако эта работа несколько запоздала, так как в это время В. Г. и В. Л. Брегги опубликовали вывод той же формулы, но в несколько ином виде:  $n\lambda = 2d \sin \theta$ . Формула эта обычно именуется теперь формулой Брегга—Вульфа.

В 1913 г. Вульф приобрел рентгеновскую установку и начал работы по изучению спектров рентгеновских лучей. В работе «Основы рентгенограмметрии кристаллов» им были указаны пути для определения структуры кристаллов. Названное исследование явилось первой экспериментальной работой этого направления в России.<sup>17</sup>

Начавшаяся в 1914 г. война лишила Г. В. Вульфа его сотрудников и значительно затруднила дальнейшее развитие его работ.

Во время войны возникла необходимость производства в России флюоресцирующих под действием рентгеновских лучей экранов, нужных для медицинских учреждений. До войны такие экраны поставлялись из Германии. Г. В. Вульф с успехом разрешил эту задачу.

После Великой Октябрьской социалистической революции Г. В. Вульф возвратился в Московский университет и перевел туда свою лабораторию. Он стремился организовать в университете кристаллографическую специальность, которая, согласно его взглядам на кристаллографию, должна была числиться на физическом факультете. К сожалению, это не было достигнуто вследствие отсутствия студентов, желающих специализироваться по данной специальности. Поэтому незадолго до смерти Г. В. Вульф снова вернулся на геологический факультет. В это время им читались, помимо общей кристаллографии, курсы физической и химической кристаллографии, теории внешней формы кристаллов, рентгенометрии кристаллов и др.

Педагогическая деятельность не помешала ему в эти годы закончить несколько замечательных работ, главным образом, в области структуры кристаллов. Из них особенно известны «О природе спайности кристаллов» и «О молекулярном строении мусковита».

Кроме того, в 1918 г. Г. В. Вульф организовал Институт физико-химического исследования твердого вещества, состоявший из четырех отделов: 1) кристаллофизики, 2) кристаллографии, 3) минералогии и петрографии, 4) металлографии. Сам ученый являлся директором института и руководителем отдела кристаллофизики. Впоследствии этот институт после ряда реорганизаций частично вошел в состав Института прикладной минералогии и металлургии.

---

<sup>17</sup> G. W u l f f. Grundlagen der Krystallröntgengrammetrie. Centralbl. Min., 1930, стр. 260.

В 1921 г. Г. В. Вульф был избран членом-корреспондентом Академии наук. В 1925 г. кипучую деятельность ученого, в возрасте 62 лет, оборвала смерть.

Прежде чем перейти к обзору основных научных достижений Г. В. Вульфа, остановимся на характеристике его педагогической деятельности, в области которой он являлся подлинным новатором. Вот что пишет об этом ученик Г. В. Вульфа А. В. Шубников: «Свои лекции покойный строил не на традиционном верчении картонных кристаллов и не на исписывании мелом классной доски, а на демонстрации явлений, происходящих в настоящих „живых“ кристаллах. Не спроста, видно, одна из его книжек озаглавлена „Жизнь кристаллов“. С его легкой руки аудитории Москвы стали обзаводиться проекционными установками, а микропроекция стала необходимой особенностью преподавания кристаллографии».<sup>18</sup>

Другой ученик Г. В. Вульфа, проф. Е. Е. Флинт, пишет: «Остановлюсь теперь на педагогической работе Вульфа. Когда ему нужно было читать кристаллографию в Народном университете им. Шанявского, где посещение лекций было совершенно свободным, ему пришлось задуматься над тем, каким образом заинтересовать аудиторию этим предметом, считавшимся одной из наиболее сухих дисциплин. Задача эта была разрешена им блестяще — он ввел на своих лекциях большое количество интересных опытов и демонстраций. Значительная часть демонстраций проектировалась на экран при помощи кристаллизационного микроскопа, в котором можно было вести нагревание объекта, помещенного на предметное стекло. Лекции, сопровождаемые такими демонстрациями, получались живыми и интересными, даже в том случае, когда лектор не обладал ораторским талантом. . .

«По возвращении в Московский университет Ю. В. читал курс кристаллографии, пользуясь описанными выше демонстрациями. Они были столь красивы и интересны, что запоминались слушателями на всю жизнь».<sup>19</sup>

Для того чтобы показать, какие именно демонстрации проводил Г. В. Вульф на своих занятиях, приведем отрывок из другой статьи того же автора: «Крупнейшим достижением Вульфа в его педагогической работе следует считать то, что он сделал изложение кристаллографии очень живым и интересным. Это было достигнуто организацией многочисленных, часто очень красивых лекционных демонстраций. Многие из них проводились при помощи проекционного кристаллографического микроскопа. На нем можно было нагревать объект, помещенный на предметное стекло. Слушатели видели на экране, как кристаллы плавятся

<sup>18</sup> А. В. Ш у б н и к о в. Юрий Викторович Вульф, стр. 7.

<sup>19</sup> Е. Е. Ф л и н т. Воспоминания о Ю. В. Вульфе, стр. 11—12.

и переходят в жидкое состояние. Потом, по прекращении нагрева, капля начинает застывать и переходит либо в кристаллическое, либо в аморфное состояние. При помощи микроскопа иллюстрировались, можно сказать экспериментально выводились, два основных закона кристаллографии: закон постоянства углов и закон целых чисел. Для демонстрации первого закона брался пересыщенный раствор серноватистого натрия. Капля раствора с наложенным на нее покровным стеклом нагревалась, потом при охлаждении от краев покровного стекла начинали расти кристаллы — грани перемещались параллельно самим себе.

«Для вывода закона целых чисел брался плоский кристалл сернистого аммония — магнезита. Грань с достаточным числом (5—6) непараллельных ребер помещалась сверху и проектировалась на прикрепленный к классной доске лист чертежной бумаги. В центре листа Юрий Викторович намечал углем точку. Параллельным перемещением кристалла при помощи салазок столика микроскопа все ребра по очереди приводились в намеченную точку. Направление каждого ребра Вульф очерчивал углем по линейке на бумаге. Затем он брал два ребра за оси координат, на третьем, примерно диагональном ребре намечал произвольную точку, соответствующую длине единичного ребра, и получал элементарный параллелограмм плоской сетки взятой грани. Проводя прямые, параллельные осям координат, справа, слева, сверху и снизу от центральной точки, Вульф получал всю плоскую сетку. Ребра, не участвовавшие в построении, всегда проходили через узлы этой сетки. От двухмерного чертежа нетрудно было перейти к третьему измерению и вывести закон целых чисел.

«Очень интересно была задумана демонстрация для объяснения расположения пятен на лауэграмме. Модель состояла из нескольких предметных стекол, склеенных ребрами так, что получался пучок плоскостей, параллельных одному направлению, — пояс. Модель могла вращаться около оси этого пояса, совпадающей с направлением ребер стеклянных пластинок. Пропущенный через круглую диафрагму пучок лучей направлялся на модель. Отражаясь от стекол, лучи давали на экране световые пятна, а сам пучок давал центральное пятно. При вращении модели пятна двигались, описывая эллипсы, и по очереди проходили через неподвижное центральное пятно.

«Практические занятия к своим курсам Юрий Викторович вел сам и вел их очень хорошо. На экзаменах он требовал ясного понимания основ предмета, мало обращал внимания на запоминание каких-либо цифр и очень снисходительно относился к ошибкам экзаменующих при разборе комбинаций на моделях. Здесь уместно напомнить слова Юрия Викторовича, которые он часто повторял: „Кристалл есть среда, а не многогранник“. На Высших женских курсах Вульф читал также минералогию. Содержание

лекций состояло главным образом в изложении систематики с демонстрацией образцов».<sup>20</sup>

Из последних слов видно, что в отличие от кристаллографии минералогия читалась Г. В. Вульфом сухо и формально. Это и понятно: все интересы ученого были направлены в область науки о кристаллах. Чтение лекций по минералогии, от которой он давно отошел, являлось для него неизбежной, но скучной обязанностью.

Любопытно отметить, что, по воспоминаниям его учеников, Г. В. Вульф являлся типичным «ученым-одиночкой». А. В. Шубников отмечает следующие особенности деятельности своего учителя: «Не умея организовать вокруг себя молодую рабочую силу, Юрий Викторович был одинок в науке. Задать тему своему ученику было для него подлинным мучением. „Я могу дать своему ученику, — говорил покойный, — такую задачу, решение которой мне уже известно“. Не имея возможности самому или с помощью учеников проделать всю подготовительную работу для важных научных обобщений, Юрий Викторович принужден был ждать, когда эта работа будет сделана на стороне, и тогда выступал со своим кратким, веским и иногда резким последним словом».<sup>21</sup>

И, однако, несмотря на это, Г. В. Вульф оставил после себя замечательную кристаллографическую школу. К ней принадлежат прежде всего акад. А. В. Шубников, проф. Е. Е. Флинт, О. М. Шубникова, К. В. Васильев, А. И. Лямина, проф. Н. А. Смольянинов. Отчасти учениками Г. В. Вульфа были профессора А. Б. Млодзеевский, Н. Е. Успенский и С. Т. Конобеевский. Из его учеников варшавского периода необходимо упомянуть основателя кафедры кристаллографии в Львовском университете, а затем профессора минералогии и петрографии Варшавского университета Зигмунда Вейберга (1872—1944).

Кроме того, Г. В. Вульф имел среди русских ученых немало последователей и продолжателей, испытавших на себе влияние его научных достижений. А. Б. Млодзеевский справедливо пишет, что «учениками Вульфа косвенно можно считать всех работающих в СССР по рентгеноструктурному анализу, так как Вульф положил начало этой области науки в нашей стране».<sup>22</sup> С таким же правом к его ученикам можно причислить и большинство исследователей, работающих в области кристаллогенезиса.

Говоря об отношении Г. В. Вульфа к работавшим у него сотрудникам, ученикам и помощникам, биографы ученого неоднократно подчеркивали предъявлявшиеся им большие требования. В случае, если научная тема требовала специальной аппаратуры, которую невозможно было приобрести, ее надо было сделать самим.

---

<sup>20</sup> Е. Е. Флинт. Юрий Викторович Вульф, стр. 67—68.

<sup>21</sup> А. В. Шубников. Юрий Викторович Вульф, стр. 7.

<sup>22</sup> А. Б. Млодзеевский. Юрий Викторович Вульф. Биографический очерк, стр. 11.

Г. В. Вульф принимал в такой работе самое активное участие. При этом он любил повторять известное изречение П. Н. Лебедева: «Физик должен уметь пилить топором и рубить пилой». И действительно, сам он с одинаковым мастерством работал и напильником, и рубанком, и токарным резцом. Многие из изобретенных или усовершенствованных им приборов были им же самим и изготовлены.<sup>23</sup>

Переходя к научному наследию Г. В. Вульфа, отметим прежде всего некоторые характерные черты его творчества. Г. В. Вульф обладал редкой способностью улавливать самые важные и интересные проблемы в современной науке. Такая способность заставляла его неоднократно переключаться с одной темы на другую. В результате этого, с одной стороны, ряд затронутых им проблем остался не доработанным до конца, а с другой — это позволило ему быть всегда в самых первых рядах научных исследователей, разрабатывающих новые пути в науке и открывающих новые в ней горизонты.

А. В. Шубников описывает эту особенность творчества своего учителя следующим образом: «Юрий Викторович не принадлежал к столь распространенному в настоящее время типу ученых, которые приобретают известность в науке не только своим умственным превосходством над окружающими, но в значительной мере, а иногда почти исключительно, другими весьма полезными качествами: усидчивостью, организаторскими способностями, умением сосредоточиться на одной определенной идее, не разбрасываясь по сторонам. Все это играло у Ю. В. второстепенную роль и компенсировалось иногда с большим избытком удивительной способностью ориентироваться в новых для него областях, усваивать необходимый темп, попадать, как говорится, в самую точку. Особенно его увлекали только такие вопросы кристаллографии, которые выдвигались наукой как ударные».<sup>24</sup> Далее А. В. Шубников добавляет следующие ценные черты к портрету ученого: «Не обладая достаточным терпением, Ю. В. не любил усидчиво собирать и классифицировать факты, рыться в книгах, вникать в историю изучаемых им вопросов, и тем не менее природный дар ориентироваться в дебрях науки всегда выводил его на правильный путь».<sup>25</sup>

На примере работ, наиболее характерных для Г. В. Вульфа, легко показать его стремление к самым «ударным» вопросам науки о кристаллах. Так, уже в 1886 г., в одной из своих первых работ, молодой ученый (тогда еще студент) отзывается на открытие Кюри пьезоэлектрических свойств кварца (1880 г.).<sup>26</sup> В этой работе ука-

<sup>23</sup> Е. Е. Ф л и н т. Памяти Ю. В. Вульфа, стр. 11.

<sup>24</sup> А. В. Ш у б н и к о в. Юрий Викторович Вульф, стр. 6.

<sup>25</sup> Там же, стр. 7.

<sup>26</sup> Г. В. В у л ь ф. Опытное исследование электрических свойств кварца. Варшавск. унив. известия, 1886, № 3, стр. 1—17.

зывается, что появление электрических зарядов на боковых осях кварца при нагревании связано с теми напряжениями, которые возникают в кристалле благодаря неравномерному нагреванию. Кстати сказать, этот факт и до сих пор нередко игнорируется в учебниках кристаллографии.

Изучение кристаллов, вращающих плоскость поляризации, приводит Г. В. Вульфа к вопросу о кристаллическом строении вообще. Именно эта проблема разбирается им в сочинении «Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов в связи с теорией кристаллического строения вещества», послужившем магистерской диссертацией.<sup>27</sup> Здесь опять-таки ученый основывается на самых последних достижениях теоретической кристаллографии того времени, а именно на выводе пространственных групп симметрии Е. С. Федорова и А. Шенфлиса. Вывод этот появился лишь за год до опубликования работы его самого, и Г. В. Вульф в первых же строках своего сочинения отмечает это обстоятельство: «Настоящая работа представляет собой попытку приложить теорию строения кристаллов к решению некоторых частных случаев. Насколько современен вопрос, меня занимавший в течение нескольких лет, это явствует уже из того, что работы, завершившие собой теоретическую часть вопроса, появились только, можно сказать, на днях; я имею в виду работы Шенфлиса и Е. С. Федорова».<sup>28</sup>

Однако Г. В. Вульф не пользуется безоговорочно новыми достижениями, а подходит к ним критически. Так, например, касаясь роли федоровских параллелоэдров в строении кристаллов, он пишет: «Итак, подвергая теорию Е. С. Федорова критике, мы находим, что трудно приписать параллелоэдрам какое-нибудь физическое значение. Они остаются пока только геометрическим понятием».<sup>29</sup> Как уже отмечалось выше, мы сейчас полностью солидарны с Г. В. Вульфом в этом вопросе.

В теоретической части своей работы Г. В. Вульф подробно останавливается на взаимосвязи между решетками О. Браве и правильными системами точек Федорова—Шенфлиса. «Таким образом, — пишет он, — мы приходим к заключению, что каждая правильная система точек является агрегатом решеток Браве, не имеющих вообще одной степени симметрии с правильной системой и проникающих друг в друга. Мы скажем поэтому, что правильные системы точек представляют образы высшего порядка однородности и разлагаются всегда на пространственные решетки, которые могут быть названы образами низшего порядка однородности».<sup>30</sup> Отсюда уче-

<sup>27</sup> Г. В. Вульф. Свойства некоторых псевдосимметрических кристаллов в связи с теорией кристаллического строения вещества. Зап. Минералог. общ., ч. 29, 1892, стр. 65—130; отд. оттиск, стр. 1—66.

<sup>28</sup> Там же, отд. оттиск, стр. 1.

<sup>29</sup> Там же, стр. 9.

<sup>30</sup> Там же, стр. 11.



ный приходит к следующему обобщению: «Подобный взгляд говорит в пользу полной достаточности теории Браве для объяснения строения таких кристаллов, которые по всем своим физическим признакам соответствуют случаю однородности низшего порядка; теория Браве становится достаточной только как первое приближение к действительности в том случае, когда кристалл более или менее ясно обнаруживает свою высшую степень однородности».<sup>31</sup>

На примерах сернобериллиевой соли, двойной безводной сернокислой соли калия и лития, кварца и кальцита Г. В. Вульф поясняет сформулированные им положения.

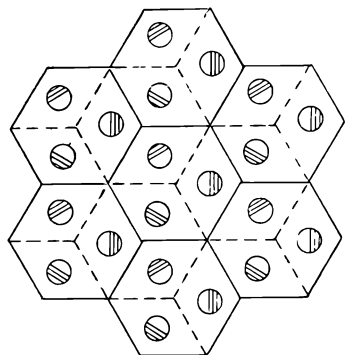


Рис. 50. Схема строения кальцита, по Г. В. Вульфу.

Остановимся на его высказываниях относительно строения кальцита и арагонита. Согласно Г. В. Вульфу, «арагонит представляет агрегат тех же частиц, что и кальцит и оба минерала отличаются друг от друга только плотностью и степенью симметрии в расположении частиц в пространстве».<sup>32</sup> Далее высказывается предположение, что «сростки псевдосимметрических кристаллов представляют первое приближение к расположению молекул в полиморфной разновидности высшей симметрии».<sup>33</sup> Отсюда делается вывод, что мы должны смотреть на кальцит

как на «предел тройников арагонита, когда каждый элементарный кристалл станет одной нитью молекул, расположенных по вертикальной оси кристалла».<sup>34</sup> Исходя из таких представлений, Г. В. Вульф дает «схему строения кальцита», изображенную на рис. 50.

Как мы видим, в своих рассуждениях ученый оперировал с помощью представлений о молекулах кальцита и арагонита, ныне отошедших в область истории. Однако его мысль о тождестве элементарных частиц, слагающих структуры кальцита и арагонита, выдержала испытание временем. Как известно, и кальцит, и арагонит слагаются из одинаковых ионов  $\text{Ca}^{+2}$  и  $[\text{CO}_3]^{2-}$ . Напомним, что структура кальцита отвечает несколько искаженной кубической упаковке структурных единиц. В отличие от нее кристаллическая структура арагонита соответствует плотнейшей гексаго-

<sup>31</sup> Там же, стр. 11—12.

<sup>32</sup> Там же, стр. 62.

<sup>33</sup> Там же.

<sup>34</sup> Там же.

нальной упаковке тех же единиц. Этим и объясняется псевдогексагональная симметрия характерных тройников арагонита, принятых во внимание Г. В. Вульфом. Несмотря на ряд устарелых положений, сама попытка его разгадать симметрию и характер правильных систем точек, совпадающих со структурными единицами кальцита, и сейчас не может не поражать своей смелостью.

Переходим далее к рассмотрению знаменитой докторской диссертации Г. В. Вульфа — «К вопросу о скоростях роста и растворения кристаллических граней».<sup>35</sup> Интересную характеристику этой работы и ее дальнейшей судьбы содержит «Записка об ученых трудах профессора Московского университета Г. В. Вульфа», подписанная А. П. Карпинским, В. И. Вернадским, А. Е. Ферманом и А. Ф. Иоффе.<sup>36</sup>

Приведем оттуда несколько строк: «Понимая кристалл как физическое тело, Г. В. в 1895 году опубликовал очень скромную по размерам, еще более скромную по приведенной в ней литературе работу о скоростях роста и растворения кристаллических граней. Эта работа до настоящего времени сохранила свое значение, впервые поставив этот вопрос на путь точного эксперимента и дав красивое теоретическое объяснение скоростей роста, связав их пропорциональностью с капиллярными постоянными. Эта работа впоследствии была предметом специальных исследований других кристаллографов и, может быть, только через 15—20 лет могла быть оценена по достоинству, когда новые идеи кристаллографии сделались общепринятыми. Но не то было в 1895—1897 годах, когда означенная работа была представлена в Варшавский университет на соискание звания доктора; исследование было признано недостаточным и отклонено».<sup>37</sup>

В самом начале своего труда Г. В. Вульф останавливается на материале, послужившем ему объектом для исследований. Двойные сернокислые соли  $\text{Zn}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (моровская соль) принадлежат к легко и хорошо кристаллизующимся веществам, что и позволило ученому получить в сравнительно небольшие сроки вполне определенные результаты.

Далее ученый останавливается на применяющейся им терминологии и понятиях, впоследствии вошедших во всеобщее употребление. Так, например, «ростом грани» он называет рост по нормали, а «распространением грани» — ее тангенциальный рост. Хорошо известно и следующее положение, вошедшее, хотя и с некоторыми оговорками, во все учебники элементарной кри-

<sup>35</sup> Варшавск. унив. известия, 1895, кн. 7, 8, 9; 1896, кн. 1, 2; отд. оттиск, стр. 1—120.

<sup>36</sup> А. П. Карпинский, В. И. Вернадский, А. Е. Ферман, А. Ф. Иоффе. Записка об ученых трудах профессора Московского университета Г. В. Вульфа. Изв. АН СССР, т. XV, 1921, № 1—18, стр. 45—46.

<sup>37</sup> Там же.

сталлографии: «Скорость распространения больше у той грани, которая растет медленнее. Иными словами, на кристалле сильнее всего развиваются те грани, которые обладают наименьшей скоростью роста».<sup>38</sup>

Первая глава работы посвящена концентрационным потокам. Г. В. Вульф подробно описывает и применявшиеся им способы получения наилучших потоков, и методику их фотографирования. Следует особо подчеркнуть, что ему впервые удалось получить замечательные снимки концентрационных потоков, известные по репродукциям в курсах кристаллографии (рис. 51).

Во второй главе автор знакомит читателя с разработанным им методом измерения скоростей роста кристаллических граней; для этого им было широко использовано нарастание различно окрашенных изоморфных веществ («метод окрашенной коры»).

Результаты измерения скоростей роста граней на кристаллах моровской соли привели Г. В. Вульфа к следующим выводам: «В скоростях роста отдельных граней кристаллов моровской соли наблюдается большое разнообразие. . . Скорость роста граней кристаллов моровской соли увеличивается по мере возрастания площади образующего параллелограмма или, что одно и то же, по мере уменьшения ретикулярной плотности».<sup>39</sup> Здесь важно отметить, что полученные им экспериментальные данные Г. В. Вульф стремился согласовать со строением кристаллического вещества. Для того времени такая попытка являлась совершенной новостью.

Измерение скоростей растворения различных граней моровской соли привело к неожиданному результату: оказалось, что все изученные грани обладали в ненасыщенном маточном растворе почти одинаковыми скоростями растворения.

Подводя итоги, Г. В. Вульф пишет: «Таким образом, из моих опытов над скоростями роста и растворения граней кристаллов моровской соли следует, что никакой взаимности между темн и другими скоростями не существует: сильное различие в скоростях роста сопровождается почти одинаковой скоростью растворения на гранях кристалла».<sup>40</sup>

Для проверки полученных результатов Г. В. Вульф провел ряд контрольных опытов в специальных вращающихся кристаллизаторах, исключавших влияние концентрационных потоков. Полученные при этом данные существенно не отличались от первых результатов. «Можно сказать, — пишет ученый, — что вообще в кристаллах не существует никакой простой взаимности между скоростями роста и растворения граней».<sup>41</sup>

<sup>38</sup> Ю. В. В у л ь ф. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии, стр. 20.

<sup>39</sup> Там же, стр. 66—67.

<sup>40</sup> Там же, стр. 83—84.

<sup>41</sup> Там же, стр. 93.

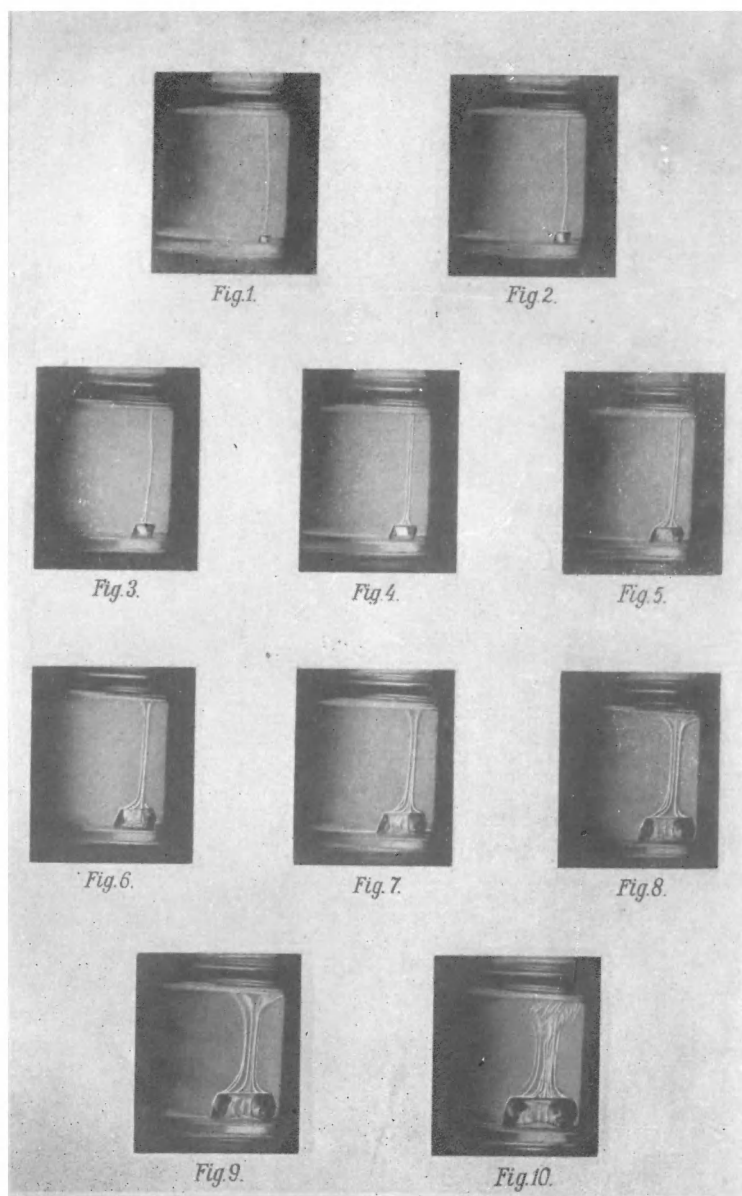


Рис. 51. Снимки растущего кристалла и концентрационных потоков, по Г. В. Вульффу.

*Brasilien (?)*



Krist. 67



*Bahia,  
Brasilien*

Fig. 153 Krist. 61

*Bahia,  
Brasilien*



Fig. 154

Krist. 65



*Bahia,  
Brasilien*

Fig. 155

Krist. 65



*Brasilien*

Fig. 156

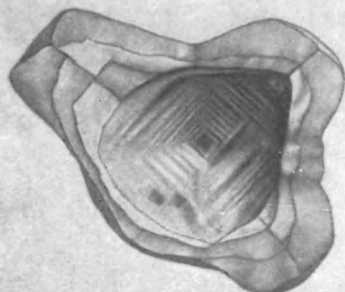
Krist. 68



Krist. 69

Fig. 157

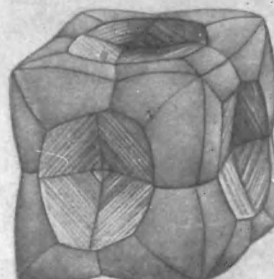
*Brasilien (?)*



*Kimberley*

Fig. 158

Krist. 70



Krist. 71

Fig. 159

*Brasilien*

Рис. 54. Усложненные формы природных алмазов; таблица из атласа А. Е. Фермана и В. Гольдшмидта.

Почти одинаковые скорости растворения разных граней кристалла Г. В. Вульф объясняет следующим образом. Он полагает, что при растворении грани сплошь покрываются мелкими фигурами травления, ограниченными приблизительно одними и теми же гранями растворения, независимо от того, на какой грани они появились. В результате образования таких фигур скорость растворения всех граней должна выравниваться. «Поэтому мне кажется, — пишет Г. В. Вульф, — что фигуры травления, появляющиеся на грани во время растворения, делают совершенно несравнимыми измерения скорости роста и скорости растворения грани».<sup>42</sup> Следует, однако, отметить, что другие авторы и среди них Е. С. Федоров, полемизируя с Г. В. Вульфом, отмечали различную растворимость граней, наблюдающуюся и на искусственных и на природных кристаллах.<sup>43</sup> Очевидно, здесь надо учитывать и разницу в кристаллических структурах, и характер растворителя, и самый ход процесса растворения.

Наиболее значительной в диссертации является глава «О капиллярных постоянных кристаллических граней относительно маточного раствора». Здесь Г. В. Вульф обращает внимание на небольшую по объему (три неполных печатных страницы), но исключительно важную по содержанию заметку П. Кюри «О формировании кристаллов и о капиллярных постоянных для различных граней».<sup>44</sup> В ней П. Кюри сформулировал известный кристаллографический принцип, согласно которому кристалл или совокупность кристаллов, находящихся в равновесии с маточным раствором, стремятся принять такую огранку, при которой поверхностная энергия имеет наименьшее значение.

К такому же выводу в 1878 г. пришел, исходя из термодинамических соображений, Д. Гиббс. Однако его работа долгое время оставалась непонятой и неизвестной. Дальнейшее развитие этой теории принадлежит Г. В. Вульфу, который сформулировал свои выводы в виде теоремы, называемой теоремой Вульфа: «Минимум поверхностной энергии при данном объеме многогранника достигается при том взаимном расположении его граней, когда они удалены от одной и той же точки на расстояния, пропорциональные их капиллярным постоянным».<sup>45</sup> Под капиллярными постоянными здесь подразумеваются удельные поверхностные энергии. Из этой теоремы вытекает важное следствие, согласно

---

<sup>42</sup> Там же.

<sup>43</sup> Е. С. Ф е д о р о в. 1) Опыты, наглядно демонстрирующие значительное различие в растворимости разных граней. Зап. Горн. вист., 1907, т. I, стр. 81—83; 2) Различная растворимость граней и ее проявление в минеральном царстве. Зап. Горн. вист., 1908, т. I, стр. 160—163.

<sup>44</sup> P. C u r i e. Sur la formation des cristaux et sur les constantes capillaires de leurs differentes faces. Bull. de la Soc. mineral. de France, vol. I, 1885, стр. 145.

<sup>45</sup> Ю. В. В у л ь ф. Избранные работы по кристаллофизике и кристаллографии, стр. 103.

которому скорости роста граней пропорциональны удельным поверхностным энергиям этих граней относительно маточного раствора. Сам Г. В. Вульф ограничился лишь приближенным доказательством своей теоремы. Более строгие ее доказательства дали Г. Гильтон (1903 г.), Г. Либман (1914 г.), Я. И. Френкель (1934 г.).

Свои теоретические обобщения по данному вопросу Г. В. Вульф резюмирует следующим образом: «Итак, развивая теоретические взгляды П. Кюри, мы приходим к выводу, что измеряя относительную скорость роста граней кристалла, мы тем самым измеряем относительную величину капиллярных постоянных относительно маточного раствора, в котором растет кристалл... Объем вещества, отлагающегося при кристаллизации на какой-нибудь грани, пропорционален поверхностной энергии этой грани, и, вообще, поверхностная энергия кристалла пропорциональна работе, затраченной на образование всего кристалла».<sup>46</sup>

Теория Гиббса—Кюри—Вульфа неоднократно вызывала оживленные дискуссии. Так, П. Эрэнфест (1915 г.) указывал на частое наличие на кристаллах вицинальных граней, обладающих большой поверхностной энергией. С возражениями против теории Гиббса—Кюри—Вульфа выступил в 1935 г. Ван-Аркель. Следует твердо помнить, что этот принцип можно безоговорочно прилагать лишь к статически равновесным формам кристалла. В настоящее время принцип Гиббса—Кюри—Вульфа — одно из важнейших положений генетической кристаллографии. Однако значение его будет оценено в полной мере лишь тогда, когда мы научимся точно измерять и вычислять теоретически значения поверхностной энергии кристаллических граней.

Проведенный нами обзор содержания диссертации Г. В. Вульфа показывает, какой замечательный экспериментальный и теоретический материал содержится в ней. Дальнейшая разработка идей и экспериментальных данных Г. В. Вульфа стоит и сейчас в порядке дня.

В 1895—1896 гг. вышли в свет две работы Г. В. Вульфа, оказавшие существенное влияние на дальнейшее развитие геометрической кристаллографии, — «О плоскости симметрии как об основном элементе симметрии» и «Симметрия и вывод всех ее кристаллографических видов». В начале первой из них Г. В. Вульф пишет: «Разбирая определение симметрии в том виде, как оно выработалось совместным усилием современных кристаллографов, нельзя не прийти к заключению, что оно не имеет единства и что это единство весьма просто достигается, если принять за основной элемент симметрии плоскость симметрии».<sup>47</sup> В самом

<sup>46</sup> Там же, стр. 104.

<sup>47</sup> Г. Вульф. О плоскости симметрии как об основном элементе симметрии. Труды Варшавск. общ. естествоиспытателей, 1895—1896, № 6, стр. 1.

деле, совместные действия двух пересекающихся зеркал, связанных условием, что ни одно без другого не действительно, можно заменить осью совмещения. Комбинация трех зеркальных плоскостей, не действующих порознь, эквивалентна зеркально-поворотной оси. «Таким образом, — пишет Вульф, — является возможность все случаи симметрии весьма просто свести на плоскость симметрии. Этим достигается цельность определения симметрии. Мы приходим к заключению, что симметрия есть следствие отражения в одной или нескольких зеркальных плоскостях (плоскостях симметрии), действующих порознь, попарно и по три».<sup>48</sup>

В статье «Симметрия и вывод всех ее кристаллографических видов» Г. В. Вульф, основываясь на законах рациональности параметров и на законе симметрии и исходя из возможных сочетаний зеркальных плоскостей, дает полный вывод 32 видов симметрии. Любопытно, что при этом «получилась сразу классификация видов симметрии, оправдавшая, между прочим, традиционное деление систем на голоэдрию, гэмиздрию и тетартоэдрию — деление, признанное некоторыми авторами только как дидактический прием, не вытекающий из сущности дела».<sup>49</sup>

В 1907 г. А. К. Болдырев, в то время студент Петербургского горного института и ученик Е. С. Федорова, развил положение Г. В. Вульфа о фундаментальном значении плоскости симметрии, применив его как к конечным, так и к бесконечным системам. Ему принадлежит теорема, согласно которой любые две взаимосимметричные системы можно вывести друг из друга посредством последовательного отражения либо в трех, либо в четырех плоскостях.<sup>50</sup>

В 1951 г. акад. Н. В. Белов применил принцип Г. В. Вульфа к выводу 230 пространственных групп.<sup>51</sup> Его классический метод очень наглядно показывает фундаментальную роль плоскостей симметрии при выводе пространственных (федоровских) групп симметрии.

Изобретение Е. С. Федоровым двукружного гониометра, а затем столика для микроскопа привлекло особое внимание Г. В. Вульфа, в результате чего появился ряд его работ по теодолитному методу. Как известно, именно ему удалось создать предельно простой графический способ обработки гониометрических и кристаллооптических измерений, основывающийся на применении знаменитой стереографической сетки Вульфа, изобретенной им в 1897 г. Описание работы с сеткой впервые появилось в статье

---

<sup>48</sup> Там же, стр. 8.

<sup>49</sup> Г. В у л ь ф. Симметрия и вывод всех ее кристаллографических видов. Варшавск. унив. известия, 1897, кн. 7, стр. 3.

<sup>50</sup> А. К. Б о л д ы р е в. Основы геометрического учения о симметрии. Зап. Минералог. общ., ч. 40, вып. 1, 1907.

<sup>51</sup> Н. В. Б е л о в. Классный метод вывода пространственных групп симметрии. Труды Инст. кристаллографии АН СССР, вып. 6, 1951, стр. 25.



«Исследование в области оптических свойств изоморфных кристаллов», изданной на немецком языке в 1902 г.<sup>52</sup>

Следует отметить, что стереографические сетки существовали и до Г. В. Вульфа. Так, например, в 1854 г. У. Шовенет предложил применять стереографическую сетку для решения сферических

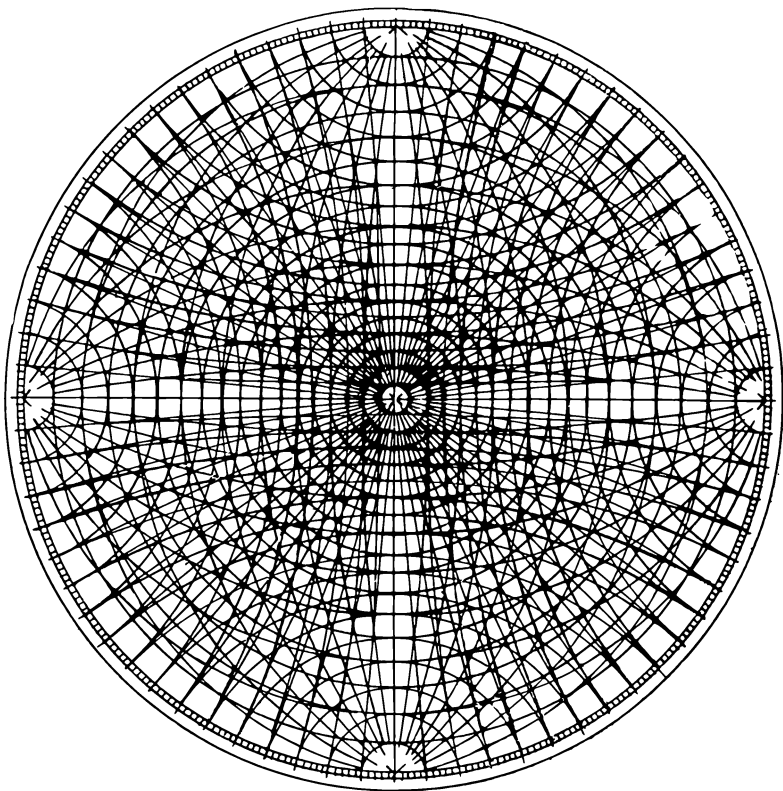


Рис. 52. Стереографическая сетка Федорова.

треугольников с целью определения местонахождения корабля в море. На сетку, служившую шаблоном, он накладывал другую подобную же сетку, изображенную на прозрачной бумаге. Сетка Шовенета имела 38 см в диаметре.<sup>53</sup>

Как мы знаем, Е. С. Федоров дал свою сетку, представляющую сочетание трех сеток: двух экваториальных и одной полярной с делениями в  $5^\circ$  (рис. 52).

<sup>52</sup> G. Wulff. Untersuchungen im Gebiete der optischen Eigenschaften isomorpher Krystalle. Zeitschrift Kryst., 1902, Bd. 36, стр. 1—28.

<sup>53</sup> Е. Е. Флинт. Воспоминания о Ю. В. Вульфе, стр. 7.

Всем нам известная экваториальная сетка Вульфа имеет диаметр 20 см с делениями в  $2^\circ$ . Решение задач графическим путем производится на прозрачной кальке, накладываемой на сетку, служащую шаблоном или транспарантом. Сетка Вульфа получила

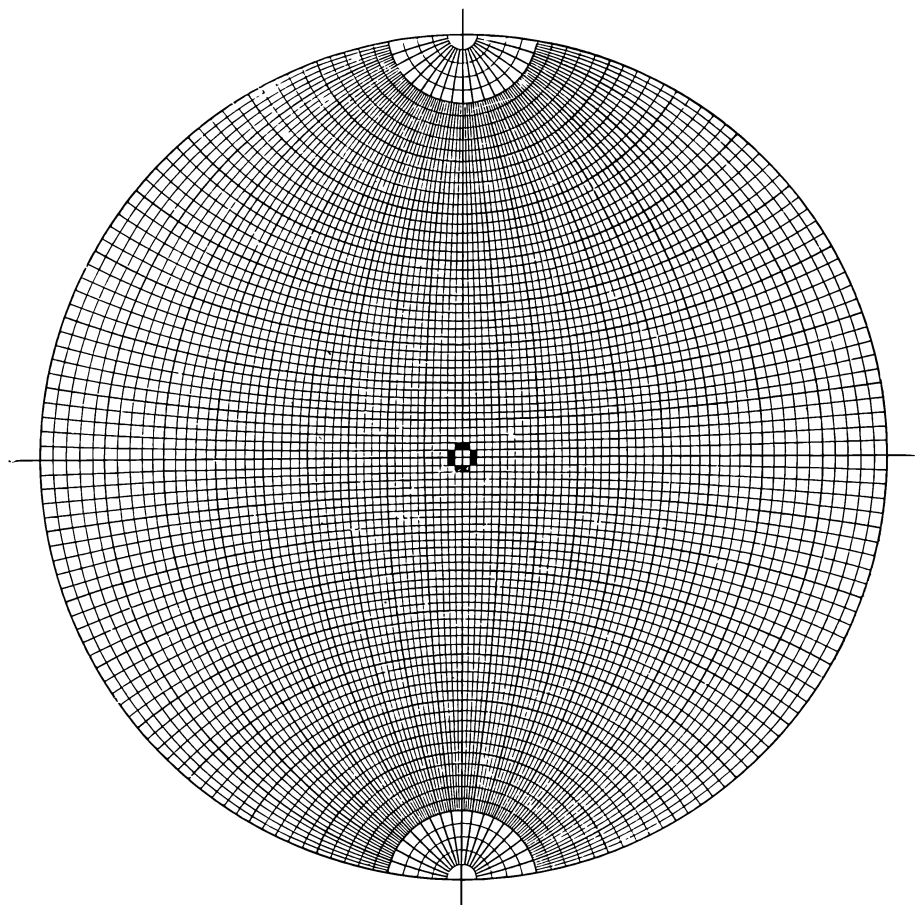


Рис. 53. Стереографическая сетка Вульфа.

распространение во всем мире. Сейчас с ней работают во всех кристаллографических и кристаллооптических лабораториях (рис. 53).

Важное теоретическое значение имеет большая статья Г. В. Вульфа «О пределах точности законов геометрической кристаллографии» (1903 г.). В ней доказывается, что для получения точных величин кристаллографических констант необходимо

вести вычисление кристаллов по методу наименьших квадратов, принимая во внимание «веса» всех граней кристаллов. К сожалению, вследствие своей сложности этот метод не получил распространения.

В 1904 г. Г. В. Вульф опубликовал свое классическое «Руководство по кристаллографии». А. П. Карпинский, В. И. Вернадский и другие характеризуют это руководство следующим образом: «Все успехи новой кристаллографии, основанной на теодолитном методе, нашли свою сводку в большом руководстве Вульфа, скорее представляющем трактат по геометрической кристаллографии, чем учебник по разным вопросам, связанным с этой дисциплиной». <sup>54</sup> Здесь Г. В. Вульф уже дает то характерное определение кристаллографии, которое он неоднократно повторял и впоследствии: «Кристаллография представляет из себя главу физики и содержит в себе учение о твердом теле как о некоторой среде». <sup>55</sup>

В 1908 г. в статье «К теории габитуса кристаллов» ученый развивает чрезвычайно эффектную и стройную теорию кристаллического габитуса. При этом Г. В. Вульф исходит из предположения, что «кристаллические грани растут со скоростью, обратно пропорциональной плотностям их сеток». <sup>56</sup> На этом основании он делает следующее построение. Из некоторой исходной точки Вульф проводит нормали к граням кристалла. На них наносит величины, обратно пропорциональные плотностям сеток для соответствующих граней. Через получившиеся при этом точки проводит плоскости, перпендикулярные нормальям (т. е. параллельные граням). В результате получается многогранник, отвечающий «теоретической форме теоретического габитуса кристалла». Можно доказать, что такой многогранник относится к так называемым «областям Вороного» («область Вороного» — полиэдрический участок, окружающий некоторую заданную точку пространственной решетки, внутри которой все точки расположены ближе к заданной точке, чем ко всем остальным точкам пространственной решетки). Для 14 решеток О. Браве Г. В. Вульф первоначально вывел 17 таких многогранников. Впоследствии Б. Н. Делоне внес поправки к выводу Г. В. Вульфа и показал, что «область Вороного» параллелепипедальной системы в отношении своего габитуса и своих симметрий может быть только 24 сортов. <sup>57</sup> Если бы реальные кристаллы строго

---

<sup>54</sup> А. П. Карпинский, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. Ф. Иоффе. Записка об ученых трудах профессора Московского университета Г. В. Вульфа, стр. 46.

<sup>55</sup> Г. Вульф. Руководство по кристаллографии. Варшава, 1904, стр. I—II.

<sup>56</sup> G. Wulff. Zur Theorie des Krystallhabitus. Zeitschrift Kryst., 1908, Bd. 25, стр. 433—472.

<sup>57</sup> Б. Н. Делоне и др. Математические основы структурного анализа кристаллов. Объединен. научно-техн. изд., М.—Л., 1934, стр. 80.

подчинялись закону роста граней, сформулированному Г. В. Вульфом, их габитусы должны были бы совпадать с этими многогранниками.

Из работ, описывающих результаты экспериментальных исследований ученого, следует особо отметить статью «О кристаллизации йодистого калия на слюде» (1908 г.).<sup>58</sup>

До Г. В. Вульфа некоторые ученые утверждали, что кристаллы йодистого калия при нарастании на слюде превращаются из кубиков в октаэдры. С помощью федоровского столика Г. В. Вульф убедительно показал, что кубы при таком нарастании сохраняют свою форму, но ориентируются так, что их тройные оси становятся перпендикулярными пластинке слюды. При этом кубы проектируются сверху в виде треугольников, что и вводило в заблуждение предшествующих исследователей. Эта работа замечательна еще и тем, что она позволила Г. В. Вульфу в 1926 г. дать первую расшифровку кристаллической структуры слюды на основании ранее известной структуры йодистого калия.

К экспериментальным исследованиям принадлежит серия статей о жидких кристаллах, или «кристаллических жидкостях», открытых О. Леманом. В них с помощью ряда остроумных опытов Г. В. Вульф пытался выяснить природу этих загадочных в ту пору образований.

В 1913 г. открывается новый цикл статей Г. В. Вульфа, посвященный рентгенометрии кристаллов и относящийся к новой эпохе в кристаллографии. Выше уже отмечалось, что, в одной из них, напечатанной на немецком языке («О рентгенограммах кристаллов»), Г. В. Вульф в оригинальной форме дал свой вывод знаменитой формулы Брегга—Вульфа.<sup>59</sup> Дальнейшее развитие этого направления в работах Г. В. Вульфа относится уже к советскому времени.

Обзор творчества Г. В. Вульфа не был бы полным без упоминания его замечательных популярных книг, пользующихся и до сих пор самой широкой известностью. Названия их, очевидно, памятны читателям: «Симметрия и ее проявление в природе», «Кристаллы, их образование, вид и строение», «Жизнь кристаллов». Именно об этих книгах вспоминает А. В. Шубников: «В промежутки между научными выступлениями покойный писал учебные и популярные книги по кристаллографии, бесконечно упрощая, уточняя и углубляя известное, внося новое и беспощадно изгоняя из кристаллографии все лишнее, устаревшее и ненужное, что обычно отталкивает начинающих изучать эту науку, делая ее скучной, трудной и бесполезной».<sup>60</sup>

<sup>58</sup> G. W u l f f. Über die Krystallisation des Kaliumjodids auf dem Glimmer. Zeitschrift Kryst., 1908, Bd. 45, стр. 335—345.

<sup>59</sup> G. W u l f f. Über die Krystallröntgenogramme. Phys. Zeitschrift, 1913, Bd. 14, стр. 217—220.

<sup>60</sup> А. В. Ш у б н и к о в. Юрий Викторович Вульф, стр. 7—8.

Заканчивая обзор научного творчества Г. В. Вульфа, необходимо отметить исключительную жизненность идей этого выдающегося кристаллографа и правильность намеченного им пути для науки о кристаллах в будущем.

В настоящее время научное направление Г. В. Вульфа нашло свое полное развитие в Институте кристаллографии Академии наук СССР, основанном учеником Вульфа акад. А. В. Шубниковым.

---

## XX. П. А. ЗЕМЯТЧЕНСКИЙ, П. П. ОРЛОВ, И. И. АНДРЕЕВ, П. Н. ПАВЛОВ И ДРУГИЕ. ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛОГЕНЕЗИСА

С именем Петра Андреевича Земятченского (1856—1942), долгие годы возглавлявшего кафедру кристаллографии и минералогии Петербургского (Ленинградского) университета, связано зарождение современной минералогии мелкообломочных и осадочных пород. Он же является общепризнанным создателем двух новых научных дисциплин — глиноведения и грунтоведения.

Помимо этого, П. А. Земятченскому принадлежит серия оригинальных исследований по кристаллогенезису. Обзору этих работ и посвящена настоящая глава.

П. А. Земятченский родился в 1856 г. в селе Липовка Моршанского уезда Тамбовской губернии.<sup>1</sup> Детские годы его прошли в большой нужде. После окончания духовного училища и четырех классов семинарии он получил право поступить в университет. В 1878 г. он прибыл в Петербург, не имея там никаких друзей и знакомых, с тремя рублями в кармане.

В университете большое влияние на П. А. Земятченского оказали идеи «отца русского почвоведения» В. В. Докучаева, бывшего тогда профессором минералогии. Он стал верным учеником и помощником этого выдающегося ученого.

В 1882 г. П. А. Земятченский закончил Петербургский университет и получил должность хранителя Минералогического кабинета. В это время он принимал активное участие в работах В. В. Докучаева по почвенно-геологическим исследованиям различных районов России. Попутно им был собран материал по месторождениям осадочных железных руд. Выяснению условий залегания, возраста и способа происхождения этих руд и была посвящена его большая работа «Железные руды центральной части Европейской России», послужившая магистерской диссертацией

<sup>1</sup> С. М. Курбатов. Научно-педагогическая деятельность и основные труды проф. П. А. Земятченского. В кн.: Петр Андреевич Земятченский. Изд. Ленингр. гос. унив., Л., 1949, стр. 7—22; А. Д. Федосеев. Петр Андреевич Земятченский. Краткий очерк научной и педагогической деятельности. В кн.: Петр Андреевич Земятченский. Изд. АН СССР, М., 1960, стр. 6—21; С. С. Кузнецов. Петр Андреевич Земятченский. В кн.: Отечественные геологи. Учпедгиз, М., 1958, стр. 96—111.

(1889 г.). Получив степень магистра минералогии и геогнозии, П. А. Земятченский стал приват-доцентом университета. В это время ему был поручен курс химической минералогии, включавший в себя и элементы кристаллохимии с кристаллофизикой.

В 1890—1896 гг. П. А. Земятченский, параллельно с геологическими и почвенными исследованиями, собирал большой материал по гончарным глинам Украины. Результаты изучения этих глин составили известную монографию «Каолинитовые образования Южной России» (1896 г.). В ней ученый приходит к выводу, что характерные свойства глины не связаны с их химическим составом, а зависят главным образом от физического состояния — степени измельченности частиц, которые могут принадлежать различным минералам (до этого времени считалось, что в состав глин обязательно должен входить каолинит).

С кристаллографической точки зрения интересны результаты изучения собственно каолинита. П. А. Земятченский опроверг представления о коллоидальном состоянии этого глинистого минерала и доказал, что в большинстве случаев он является типично кристаллическим, причем отдельные кристаллики его достигают довольно значительной величины. Монография о каолиновых образованиях явилась докторской диссертацией ученого.

В 1898 г. П. А. Земятченский был избран профессором и заведующим кафедрой минералогии и кристаллографии Петербургского университета. Помимо минералогии, им читались в это время курсы кристаллографии и отдельные главы по кристаллофизике и кристаллохимии. Вместе с тем он продолжал почвенно-геологические исследования, совершил поездку с Д. И. Менделеевым на Урал для изучения уральской железной промышленности (1899 г.), производил минералогическое исследование кальцита из окрестностей Байдарских ворот (1901 г.), возглавлял экскурсии студентов-минералогов на полиметаллическое месторождение в Питкяранте (1902—1905 гг.) и т. д. С 1907 по 1914 г. П. А. Земятченский проводил экспериментальные исследования по кристаллогенезису, результаты которых подробно изложены ниже.

С 1915 г. он принимал активное участие в работах Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС) при Академии наук, исследуя огнеупорные и глинистые материалы России. Эта сторона его деятельности получила особенно широкое развитие в советский период.

Напомним, что после революции П. А. Земятченский был первым директором Исследовательского керамического института, организованного под его же руководством; он проводил большую работу по изучению дорожных грунтов, организовал кабинет минералогического анализа в Почвенном институте Академии наук и т. д. В Ленинградском университете он основал новую кафедру грунтоведения и стал ее первым заведующим (1930 г.).

В 1928 г. П. А. Земятченский был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. Скончался он во время блокады Ленинграда в возрасте 85 лет.

Очень яркую характеристику своеобразной творческой судьбы П. А. Земятченского мы находим в отзыве В. И. Вернадского,



П. А. Земятченский (1856—1942).

А. Е. Ферсмана и А. П. Карпинского: «Вся жизнь Петра Андреевича проходит наполненная научной работой и проникнутая чувством долга. Ему пришлось пережить то, что выпадает редко на долю ученого при жизни, хотя в действительности является обычным явлением в истории науки. То направление научных работ,



на которое он вступил в молодости и по которому следует до сих пор, совершенно изменилось в своем значении и научном мнении. Обе его диссертации — „Железные руды центральной части Европейской России“ (1889 г.) и „Каолинитовые образования Южной России“ (1896 г.) — стояли в свое время вне круга широких научных интересов. Они не входили в обычный тип геологических работ и казались чуждыми господствующим минералогическим течениям. Прошло 38 лет; работы эти остаются ценными до сих пор, так как они заключают массу драгоценных и точных наблюдений, частью уже исчезнувших явлений, но больше того, сейчас мы видим в них одно из первых крупных проявлений того отдела минералогии, который сложился за это время и значение которого все увеличивается — минералогии осадочных пород, химической и геохимической дисциплины, во многом по методам резко отличной от той минералогии, которая царила в эпоху создания Петром Андреевичем этих больших трудов. Сейчас по пути, на котором он явился одним из новаторов, двинулась широкая волна научных исканий».<sup>2</sup>

Для нас не безынтересно отметить, что в своих работах по глинам П. А. Земятченский стремился широко использовать кристаллографические методы исследования. Так, по его указанию к изучению глин был впервые применен кристаллооптический иммерсионный метод (О. М. Аншелес, Т. Е. Красенская). Сознательность им и важность рентгенометрии в деле расшифровки глинистых минералов. Вопросы кристаллогенезиса живо интересовали П. А. Земятченского до самого конца жизни. В 1928 г. он вел чрезвычайно интересный курс кристаллохимии, содержание которого состояло из подробного разбора студентами классических произведений кристаллографической литературы и весьма содержательных дополнений и комментариев к ним самого профессора. Для проверки ряда положений слушателям предлагалось проводить самостоятельные лабораторные работы по кристаллизации.

Переходя к собственно кристаллографическим трудам П. А. Земятченского, упомянем прежде всего его «Краткий учебник кристаллографии», пользовавшийся, несмотря на несколько формальный характер изложения, популярностью у студентов и выдержавший шесть изданий (два последних издания относятся уже к советскому периоду).

Далее отметим ряд кристаллографических описаний минералов: «О кристаллографической форме некоторых кристаллов горного хрусталя с Казбека» (1895 г.), «Кальцит с горы Форос и первые русские николи» (1901 г.), «О кристаллах ортоклаза и микроклина в буром железняке и гидрогётите из окрестностей г. Липецка» (1903 г.) и др.

---

<sup>2</sup> В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. П. Карпинский. Заметка об ученых трудах проф. П. А. Земятченского. Изв. АН СССР, отд. физико-математ. наук, 1928, № 8—10, стр. 637—639.

Однако наибольший интерес представляет для нас серия мемуаров под общим заглавием «Этюды по кристаллогенезису» (1909—1914 гг.). По содержанию к ним тесно примыкают две статьи: «О некоторых контактных действиях при кристаллизации» (1891 г.) и «Контактные явления при кристаллизации» (1914 г.).

Первый выпуск «Этюдов» носит подзаголовок «Влияние постороннего вещества на кристаллическую форму. Кристаллизация квасцов». В самом начале этой работы П. А. Земятченский подчеркивает тесную связь проводившихся им кристаллогенетических исследований с вопросами минералогии. «К числу загадочных явлений при кристаллизации, — пишет он, — принадлежит, между прочим, влияние некоторых посторонних примесей в растворе на кристаллический габитус выделяющихся кристаллов, на появление тех или иных кристаллических форм.

«Минералоги давно уже подметили любопытное обстоятельство: внешний вид кристаллов того или другого минерала совместно с парагенетическими отношениями является характерным для того или иного месторождения. Например, кварц из Мармароша или Казбека, оловянный камень из Кумберланда или Питкьянты, турмалины с Мурзинских копей или турмалины с Цейлона, описанные покойным В. И. Воробьевым, представляют резкие различия. Вообще таких случаев известно немало. Изучение условий, при которых изменяется кристаллографический характер различных веществ, может пролить свет на условия образования минералов в различных месторождениях. С другой стороны, изучение подобного рода явлений может способствовать и выяснению причин, обуславливающих образование твердой гомогенной анизотропной материей той или другой кристаллической формы».<sup>3</sup>

Приведя обширную сводку имевшейся литературы по влиянию посторонних веществ на форму кристаллов, ученый приходит к выводу, что в этих исследованиях не выяснена сама причина и способ ее влияния на изменение кристаллической формы. Неизвестно также, зависит ли изменение формы кристалла только от одного присутствия постороннего вещества в растворе или же это вещество вызывает глубокие химические пертурбации, сопровождающиеся образованием новых соединений внутри раствора. Поставив перед собой такие вопросы, П. А. Земятченский попытался их разрешить с помощью многочисленных серий опытов. Начал он свои исследования с алюмо-калиевых квасцов и тех примесей, при наличии которых октаэдрические квасцы переходят в кубическую форму. В качестве таких примесей были использованы бура, металлический магний и йодистый калий. На основе этих опытов ученый пришел к выводу, что «для изменения одной кристаллической формы в другую требуется не одно только при-

---

<sup>3</sup> П. А. Земятченский. Этюды по кристаллогенезису, I. Зап. имп. Акад. наук, 8-я сер., т. 24, 1909, № 8, стр. 1.

существование в растворе „товарища“ по растворению, но и его химическое воздействие на кристаллизующееся вещество».<sup>4</sup>

Вторая часть «Этюд» носит название «Влияние постороннего вещества на кристаллическую форму квасцов». Здесь П. А. Земятченский описывает обширные серии опытов по получению на кристаллах алюмо-калиевых квасцов в присутствии соляной кислоты граней пентагон-додекаэдра {210}. Полученные результаты снова приводят его к мысли о химическом воздействии раствора с HCl на кристаллы квасцов: «Таким образом, и здесь вероятнее всего допустить образование в растворе какого-нибудь сложного и неустойчивого соединения, которое при испарении распадается с отщеплением частицы квасцов; последние, кристаллизуясь таким образом при особенных условиях, и получают новые комбинационные формы».<sup>5</sup>

Третий выпуск «Этюд» — «Влияние постороннего вещества на кристаллическую форму  $\text{NaClO}_3$ » — является наиболее обширным. В нем описываются многочисленные опыты, в результате которых кубическое ограничение хлората натрия в присутствии примесей переходит в тетраэдрическую и другие формы. Отдельные главы посвящены влиянию температуры на форму кристаллов при наличии примесей.

В «Общем заключении» ученый подводит итоги полученным результатам: «Из всех описанных мною опытов с несомненностью, как мне кажется, вытекает один главнейший вывод. . . для изменения одной кристаллической формы в другую требуется не одно только присутствие в растворе „товарища“ по растворению, но и его химическое воздействие на кристаллизующееся вещество».<sup>6</sup>

В результате ряда опытов с  $\text{NaClO}_3$  «доказано образование новых соединений (двойных солей, большей частью водных), обыкновенно мало устойчивых»: «Если обратить внимание на влияние температуры на характер кристаллизации, то здесь мы найдем подтверждение того же обстоятельства. Несмотря на присутствие в достаточном количестве „товарища по растворению“, влияние его сходит на нет при относительно слабом повышении температуры. Правда, при охлаждении оно восстанавливается, но, во-первых, с различной скоростью, что говорит о необходимости некоторого времени, чтобы система приняла прежний характер, а во-вторых, у некоторых ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) это влияние, утраченное при нагревании, уже не восстанавливается и по охлаждении».<sup>7</sup> «Если кристаллизующееся вещество находится в растворе в виде

<sup>4</sup> Там же, стр. 35.

<sup>5</sup> П. А. Земятченский. Этюды по кристаллогенезису, II. Зап. имп. Акад. наук, 8-я сер., т. 30, 1911, № 3, стр. 19.

<sup>6</sup> П. А. Земятченский. Этюды по кристаллогенезису, III. Зап. имп. Акад. наук, 8-я сер., т. 33, 1914, № 4, стр. 67.

<sup>7</sup> Там же, стр. 68.

химического соединения, не отвечающего составу кристаллов, — пишет П. А. Земятченский далее, — то последние приобретают особый габитус, отличный от габитуса при кристаллизации в том же химическом составе, в котором оно находится в растворе. . . Вещества, способные влиять на кристаллический габитус другого вещества, создают условия, благоприятные для образования в растворе неустойчивых соединений, распадающихся на составные части при выпадении из раствора».<sup>8</sup>

В отношении количеств соразтворенных веществ (примесей) П. А. Земятченский пришел к выводу, что они должны быть более или менее значительными (во всяком случае, отнюдь не ничтожными). В случае совместного присутствия в растворе нескольких веществ «наблюдается не только совместная кристаллизация разных веществ, являющихся результатом сложных химических процессов, протекающих в сложном растворе, но и, в случаях проявляющегося изменения кристаллического габитуса, склонность к тесному срастанию с кристаллами того вещества, на габитус которого они оказывают влияние».<sup>9</sup>

В заключение автор еще раз подчеркивает свою основную мысль: «Я позволю себе высказать уверенность, что приведенные наблюдения и вытекающие из них заключения достаточно убедительны. Из них — один определенный вывод: в деле влияния одного вещества на кристаллический габитус другого главную роль играет химизм раствора. В этом направлении и должны пока идти дальнейшие исследования».<sup>10</sup>

Четвертый, последний, выпуск «Этюд» стоит особняком. Тема его — «Расслаивание пересыщенных растворов». Сущность этой работы сводится к описанию явления, состоящего в том, что пересыщенные водные растворы солей под влиянием силы тяжести распадаются на отдельные слои, расслаиваются.<sup>11</sup> Подвешивая кристаллы квасцов, хлорновато-кислого натрия и других веществ в соответственных пересыщенных растворах на разных глубинах и определяя вес каждого кристалла, П. А. Земятченский установил, что в то время как нижний кристалл непрерывно рос, средний и в особенности верхний кристаллы сначала росли (хотя и медленнее нижнего), а затем начали растворяться. Следует отметить, что у других исследованных веществ это явление выражено менее резко, чем у квасцов. Прямыми определениями удельного веса раствора в разных слоях описанные выше результаты были подтверждены. Из всех фактических данных, установленных ученым, открытие расслаивания раствора получило наибольшую известность.

<sup>8</sup> Там же, стр. 69.

<sup>9</sup> Там же.

<sup>10</sup> Там же, стр. 70.

<sup>11</sup> П. А. Земятченский. Этюды по кристаллогенезису, IV. Зап. имп. Акад. наук, 8-я сер., т. 33, 1914, № 5, стр. 13.

Сам автор, отмечая появление добавочных комбинационных граней на кристаллах, находящихся в менее насыщенных слоях раствора, отмечал возможность их широкого использования для кристаллогенетических и минералогенетических заключений. Он писал, что такие формы «дают в руки исследователя средство для распознавания расслаивания. . . Появление комбинационных форм на одних кристаллах или на одних частях кристалла и отсутствие на других, находящихся в том же растворе, дает возможность объяснить подобные же явления, наблюдающиеся среди минералов».<sup>12</sup>

В 1930 г. В. И. Михеев (1912—1956), бывший в то время 18-летним студентом Ленинградского горного института, заново повторил опыты П. А. Земятченского по расслаиванию и подтвердил, а отчасти и уточнил его выводы.<sup>13</sup>

Тесно примыкающие к «Этюдам по кристаллогенезису» статьи П. А. Земятченского «Контактные явления при кристаллизации» содержат наблюдения, касающиеся влияния постороннего твердого тела на кристаллический габитус и ориентировку кристаллов. Нарушенная кристаллизация йодистого калия и других веществ в присутствии слюды, гипса, кальцита, кварца, топаза и т. д., быть может, свидетельствует о таком влиянии.<sup>14</sup> Сам П. А. Земятченский весьма решительно высказывался в его пользу. Такое влияние, по его мнению, проявляется весьма различно. Оно может сказываться в скорости кристаллизации, в ориентировке кристаллов на поверхности постороннего кристалла, в изменении кристаллического габитуса, в образовании кристаллических сростков (в том числе и двойников). «Все эти явления, — отмечал ученый, — следует приписать физическому воздействию двух соприкасающихся средин — твердого тела и раствора, на границе которых развивается свободная энергия, вызывающая существенные изменения в состоянии раствора. Изменения, совершающиеся в растворе, по-видимому, не ограничиваются только соприкасающейся поверхностью раствора, но захватывают более значительные районы».<sup>15</sup>

Несмотря на интересную тему, затронутую П. А. Земятченским, его работа о контактных явлениях кристаллизации все же оставляет впечатление не совсем законченного исследования. Читатель не получает полной уверенности в том, что, помимо посторонних твердых тел, на кристаллизацию не влияли другие факторы, как-то: колебания температуры, степень пересыщения

---

<sup>12</sup> Там же.

<sup>13</sup> В. И. М и х е е в. Причины расслаивания пересыщенных растворов. Зап. Минералог. общ., ч. 59, 1930, стр. 303.

<sup>14</sup> П. А. З е м я т ч е н с к и й. Контактные явления при кристаллизации. Изв. АН СССР, 1914, № 8, стр. 541—554; № 14, стр. 1009—1022.

<sup>15</sup> Там же, № 14. стр. 1009.

раствора и проч. В этом отношении опыты П. А. Земятченского требуют повторения и тщательной проверки.

Из проведенного нами обзора кристаллографического наследия П. А. Земятченского ясно, что наибольшую ценность представляют его «Этюды по кристаллогенезису». В свое время Академия наук присудила их автору премию им. Ахматова. Обширный отзыв на «Этюды», содержащий их критический разбор и общую высокую оценку, был написан акад. В. И. Вернадским.<sup>16</sup>

Рассматривая сейчас кристаллографические труды П. А. Земятченского, надо помнить, что со времени их опубликования прошло около полувека и что современное лабораторное оборудование и постановка опытов во многом оставили позади его методику выращивания кристаллов. Однако некоторые детали его исследования и, в частности, химическая сторона до сих пор отчасти сохранили свой интерес.

П. А. Земятченский не был одинок в своих исканиях. Ряд руководств и оригинальных работ по кристаллографии (преимущественно минералов) принадлежит его ученикам — П. П. Сущинскому, П. А. Борисову, В. И. Искюль, С. М. Курбатову.

Химической стороной кристаллогенезиса, помимо него, занимались и другие русские ученые. Прежде всего упомянем томского профессора химии Петра Павловича Орлова (1859—1937).<sup>17</sup>

В 1901 г. П. П. Орлов защитил магистерскую диссертацию на тему «Об изменении кристаллической формы хлористого натрия в связи с составом и свойствами растворов, из которых он выделяется». В этой работе высказывались положения, очень близкие к выводам П. А. Земятченского. По мнению П. П. Орлова, форма кристаллов меняется в тех случаях, когда в растворе имеются химические комплексы, в результате распада которых образуется кристаллическое тело. Сходные выводы были сформулированы и в исследовании П. П. Орлова, опубликованном уже в советское время, — «Об изменении кристаллической формы азотнокислого натрия в связи с составом растворов, из которых он выделяется» (1928 г.).

Очень интересные исследования по основным вопросам кристаллизации принадлежат химику, основателю азотной промышленности в России — Ивану Ивановичу Андрееву (1880—1919). Полученные им результаты изложены в статьях «Скорость роста и растворения кристаллов» (1908 г.) и «Растворимость различных плоскостей одного и того же кристалла» (1909 г.).

---

<sup>16</sup> В. И. Вернадский. Отзыв о сочинении П. А. Земятченского «Этюды по кристаллогенезису». Сборник отчетов о премиях и наградах, присуждаемых Российской Академией наук, т. 7. Отчеты за 1912 г. Изд. Российск. Акад. наук, 1918, стр. 21—27.

<sup>17</sup> Г. Н. Ходяков. Профессор Петр Павлович Орлов. Сообщение о научн. работах членов Всесоюзн. хим. общ. им. Д. И. Менделеева, вып. 4, 1951, стр. 29—31.

Приведем важнейшие выводы из первой работы в формулировке самого автора:

«1. Скорость роста и растворения плоскостей кристалла подчиняется закону, который математически может быть выражен формулой:

$$\frac{dx}{dt} = KF(C - c),$$

где  $\frac{dx}{dt}$  — количество вещества, выкристаллизовавшегося или растворившегося с плоскости в единицу времени;  $F$  — величина поверхности;  $C$  — концентрация пересыщенного или недосыщенного раствора;  $c$  — концентрация насыщенного раствора для данной плоскости (для кристаллографически различных плоскостей  $c$  различно, т. е. различные плоскости имеют различную растворимость);  $K$  — постоянная, независимая от характера плоскости и определяемая той или иной интенсивностью притока к плоскости питательного материала, слагающего кристалл.

«2. В силу различной растворимости разных плоскостей кристалла относительная скорость двух каких-нибудь плоскостей изменяется с концентрацией. В растворах, очень пересыщенных, плоскости растут с одинаковой почти скоростью; по мере приближения к „насыщенному раствору“ одна плоскость растет все быстрее и быстрее другой; наконец, при дальнейшем разбавлении маточного раствора наступает момент, когда одна плоскость начинает растворяться, в то время как другая продолжает расти».<sup>18</sup>

Эти положения получили впоследствии весьма высокую оценку и были использованы в современной технике выращивания кристаллов.<sup>19</sup> В самом деле, из теоретических выводов И. И. Андреева вытекает возможность ускорять рост кристалла путем искусственного возобновления пересыщения раствора. Практически это достигается непрерывным перемешиванием раствора или движением в растворе самого кристалла. И. И. Андреев на примерах кристаллов орто-хлор-динитробензола и хлорноватокислого натрия показал, что «скорость роста увеличивается пропорционально скорости вращения мешалки в степени  $2/3$ ».<sup>20</sup>

Как известно, перемешиванием раствора при выращивании кристалла или вращением самого кристалла в растворе пользовались до И. И. Андреева и другие исследователи, например Г. В. Вульф. Однако делалось это исключительно с целью устранения влияния концентрационных потоков, искажающих внешнюю форму кристалла. Опыты с перемешиванием раствора и вращением кристаллов в растворе для ускорения их роста были впервые

<sup>18</sup> И. И. Андреев. Скорость роста и растворения кристаллов. Журн. Русск. физ.-хим. общ., часть хим., т. 40, вып. 3, 1908, стр. 413—414.

<sup>19</sup> О. М. Ачшелев, В. Б. Татарский, А. А. Штернберг. Скоростное выращивание кристаллов из растворов. Лепингр. газетно журн. и книжд. изд., Л., 1945.

<sup>20</sup> Там же, стр. 10.

оставлены И. И. Андреевым. Их большая практическая ценность особенно отмечалась О. М. Аншелесом, В. Б. Татарским и А. А. Штернбергом.

В статье «Растворимость различных плоскостей одного и того же кристалла»<sup>21</sup> И. И. Андреев описывает результаты, полученные им с помощью остроумно поставленных опытов, наглядно демонстрировавших скорости роста и растворения отдельных кристаллических граней. Материалом для исследования служили кристаллы 4-хлор-1,3-динитро-бензола, кристаллизующегося из эфира в виде ромбических призм с пинакоидом. Для изучения скорости роста и растворения граней в эфирном растворе вещества кристаллы помещались в специальные платиновые ящички. Стенки таких ящичков закрывали все грани кристалла, за исключением той, для которой изучались скорости роста и растворения. Автор статьи исходил в своих рассуждениях из положения, что «процесс роста и растворения необходимо обосновать как процесс диффузии и что скорость этого роста и растворения есть не что иное, как скорость диффузии».<sup>22</sup> Отсюда и выводится приведенная выше формула для скорости роста и растворимости кристаллов, соответствующей скорости диффузии по закону Фикка.

В результате опытов И. И. Андреев пришел к следующим выводам: «При растворении плоскость, медленно растущая, быстрее растворяется... в различной растворимости плоскостей кристалла следует искать причину различной скорости их роста, а отсюда логически вытекает наблюдаемое различное удаление плоскостей от центра кристалла. . . Допущение различной растворимости по различным направлениям у одного и того же тела заставляет нас признать эти тела неустойчивыми в растворе. Кристалл, покрытый разнохарактерными плоскостями, не может находиться в равновесии с раствором, он должен расти, или растворяться, или деформироваться. При этом часто возможны случаи, когда некоторые плоскости должны исчезать. Исчезать будут именно те плоскости, которые наименее растворимы. Кристалл будет покрываться плоскостями, наиболее растворимыми».<sup>23</sup>

Особняком стоит интересная работа «Исследования в области зеркальной дизометрии» И. И. Остромысленского (1880—1939).<sup>24</sup> В ней описываются опыты по расщеплению оптических антиподов путем введения в насыщенный раствор правых и левых модификаций (*d*- и *l*-виннокислого натрия) оптически активной затравки (кристаллического порошка *d*- и *l*-аспарагина). Затравка *d*-аспарагина вызывала выпадение *l*-модификации виннокислого натрия

<sup>21</sup> Труды первого Менделеевского съезда по общей и прикладной химии, СПб., 1909.

<sup>22</sup> Там же, стр. 219.

<sup>23</sup> Там же, стр. 225—226.

<sup>24</sup> J. Ostromisslinsky. Untersuchungen im Gebiete der Spiegeldisomerie. Berichte d. deutsch. Chem. Ges., Bd. 41, 1908, стр. 3035—3045.



и наоборот. Подобное же расщепление удалось осуществить для бутилового спирта применением затравок из правых и левых кристаллов кварца. Опыты И. И. Остромысленского представляют большой интерес для выяснения вопроса о возникновении асимметрических веществ на Земле.

Акад. А. И. Опарин в известной книге «Возникновение жизни на Земле» подчеркивает значение опытов И. И. Остромысленского в следующих словах: «В качестве другого возможного пути образования асимметрических веществ вне живой природы нужно указать на катализ с использованием несимметрических кристаллов. Возможность этого пути для лабораторного асимметрического синтеза отмечалась И. И. Остромысленским еще в 1908 году».<sup>25</sup>

Целая серия оригинальных работ по термодинамике дисперсных систем и процессов кристаллизации была опубликована профессором физической химии Одесского университета Павлом Николаевичем Павловым (1872—1953). Статьи его печатались главным образом в «Записках Новороссийского общества естествоиспытателей» и в немецких журналах. Здесь мы ограничимся лишь перечнем названий статей, опубликованных в период с 1903 по 1917 г. и имеющих прямое отношение к кристаллографии. Они дают ясное представление о тематике, разрабатывавшейся П. Н. Павловым: 1) «Термодинамические свойства кристаллов» (1903 г.); 2) «Об одном свойстве термодинамического потенциала кристаллической среды» (1904 г.); 3) «О некоторых свойствах кристаллов с точки зрения термодинамики» (1905 г.); 4) «О зависимости между формой кристалла и состоянием раствора» (1905 г.); 5) «О равновесии между жидкой и кристаллическими фазами» (1906 г.); 6) «Термодинамическая теория кристаллов» (1907 г.); 7) «Об отношении между поверхностными модификациями твердого кристаллического вещества и о природе жидких кристаллов» (1909 г.); 8) «К вопросу о зависимости температуры плавления от поверхностной энергии твердого тела» (1909 г.); 9) «О равновесии, образовании и изменениях кристаллической фазы в изотермической среде» (1910 г.); 10) «Об одной теории кристаллизации (критика некоторых высказываний акад. В. И. Вернадского, касающихся термодинамической теории кристаллизации)» (1910 г.); 11) «К вопросу о поверхностной энергии ребер кристалла» (1914 г.); 12) «О химических условиях превращения твердого кристалла в кристаллическую жидкость» (1914 г.).

Остальные труды П. Н. Павлова относятся уже к советскому периоду. Характеристика деятельности этого крупного ученого дана в статье Е. Н. Овчинниковой.<sup>26</sup> Там же приведен и список его трудов.

<sup>25</sup> А. И. Опарин. Возникновение жизни на Земле. Изд. АН СССР, М.—Л., 1957, стр. 184.

<sup>26</sup> Е. Н. Овчинникова. Павел Николаевич Павлов. (К 80-летию со дня рождения). Успехи химии, т. 21, вып. 8, 1952, стр. 1012—1014.

## XXI. В. И. ВЕРНАДСКИЙ И А. Е. ФЕРСМАН. РАБОТЫ ПО КРИСТАЛЛОГРАФИИ

В течение почти тридцати лет, с 1861 по 1890 г., курсы минералогии, а вместе с ней и кристаллографии возглавлялись в Московском университете проф. М. А. Толстопятовым. Являясь прекрасным лектором и оригинальным исследователем, М. А. Толстопятов вместе с тем не обладал организаторскими способностями. Этим и объясняется то обстоятельство, что большого развития его кафедра и связанные с ней кристаллографическая и минералогическая специальности не получили.

В. И. Вернадский дал яркую характеристику состояния кафедры минералогии в тот период: «В это время кабинет Московского университета находился в очень тяжелом положении. Минералогическая коллекция его была в полном хаосе; не было ни каталогов, ни систематической установки коллекций; значительная часть минералов лежала кучами в разных шкафах и на полу, без всякого порядка, для большинства экземпляров не было никаких этикеток и сохранившиеся номера могли быть восстановлены только с трудом, так как был потерян ключ к их пониманию. . . Библиотеки в кабинете совсем не было. Приборы были большей частью старые, и только в самом конце 1880-х годов проф. М. А. Толстопятову удалось получить средства для приобретения новых приборов, и в 1887—1888 гг. он устроил лабораторию при кабинете, которая давала возможность вести необходимые аналитические работы».<sup>1</sup>

Расцвет кафедры минералогии в Московском университете наступил лишь после 1891 г., когда ее занял В. И. Вернадский. Именно с этого года начался блестящий период развития минералогической, а вместе с тем и кристаллографической дисциплин, связанный с именем этого замечательного ученого. Энергия, организаторский талант и огромный научный авторитет позволили В. И. Вернадскому поднять свою кафедру до исключительно высокого уровня, создать для нее подобающее положение в старейшем русском центре высшего образования.

<sup>1</sup> Вернадский Владимир Иванович. В кн.: Материалы для биографического словаря действительных членов имп. Академии наук, ч. 1. Изд. Акад. наук, Пгр., 1915, стр. 149.

Вспоминая о Владимире Ивановиче Вернадском (1863—1945), мы называем его основоположником геохимии, биогеохимии, радиогеологии, великим реформатором минералогии. О его работах в области кристаллографии обычно не упоминается вовсе или говорится очень мало. Между тем сам ученый неоднократно возвращался к своим идеям о сущности кристаллического строения — идеям, зародившимся в самом начале его творческого пути и нашедшим широкое развитие в его последних, до сих пор не опубликованных трудах.

Среди научных трудов В. И. Вернадского имеется ряд работ, посвященных специально кристаллографическим вопросам. К их числу относятся и такие капитальные сочинения, как монография о явлениях скольжения в кристаллах и широко известные «Основы кристаллографии».

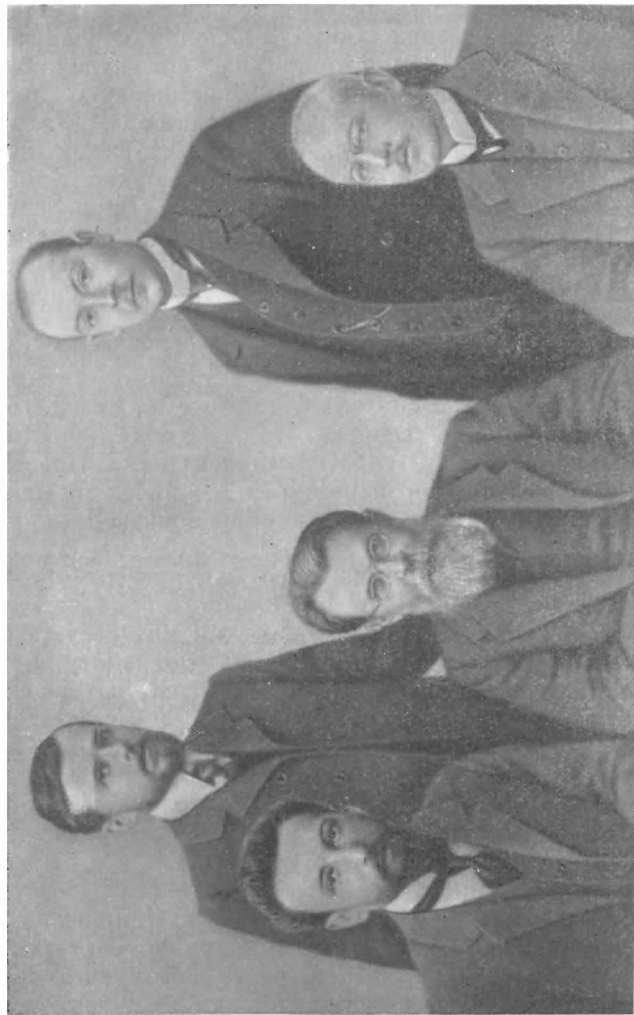
Нельзя не отметить, что с хронологической точки зрения, В. И. Вернадский прежде всего был именно кристаллографом. В самом деле, еще в бытность свою студентом он особенно увлекался кристаллографическими проблемами. Однако кристаллография в Петербургском университете того времени не была поставлена на должную высоту. Кафедра минералогии возглавлялась тогда знаменитым основателем русского почвоведения В. В. Докучаевым, оказавшим огромное влияние на В. И. Вернадского в деле создания химико-генетической минералогии, но стоявшим далеко от кристаллографических интересов. Чрезвычайно характерной в этом отношении является следующая цитата из воспоминаний П. В. Отоцкого: «К кристаллографии покойный Докучаев не имел ни малейшего влечения. С обычной оригинальностью выражений он говорил: „Надоело, знаете, держать в руках какую-нибудь чурбашку и кричать по этому случаю караул. . .“».<sup>2</sup>

По отзыву самого В. И. Вернадского, университетское преподавание в этой области отстало на целое поколение. Студентам приходилось учиться на приборах первой половины XIX столетия. Заниматься кристаллографическими измерениями, производить опытные исследования в университете того времени было невозможно.

Несмотря на это, темой для своего кандидатского сочинения В. И. Вернадский, очевидно не без влияния Д. И. Менделеева, избрал вопрос о физических свойствах изоморфных смесей (1885 г.). «Работа была чисто книжной», отмечал он впоследствии, но она привлекала его внимание к целому ряду кристаллографических проблем, к которым он с особым интересом неоднократно возвращался и в дальнейшем.

---

<sup>2</sup> П. В. Отоцкий. Жизнь В. В. Докучаева. Сб. «Докучаев», Изд. журн. «Почвоведение», СПб., 1904, стр. 327.



В. И. Вернадский и его ассистенты в Московском университете в 1911 г.

Слева направо: В. В. Карандеев, Г. О. Касперович, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, П. К. Алексат.

Во время своей первой командировки за границу начинающий ученый прежде всего направился в Неаполь к престарелому профессору А. Скакки, известному своим открытием полиэдрических вицинальных образований на гранях кристаллов. Путешествие это не было случайным. Из недавно опубликованных писем молодого В. И. Вернадского к его жене мы узнали, что уже в это время его особенно занимали явления, связанные с поверхностными силами на гранях кристалла.<sup>3</sup> Он изучал описания опытов по кристаллографии Скакки, доказывавших, что «вырастающий кристалл является сложной машиной». Эта поездка была неудачной. Скакки оказался дряхлым стариком, оставившим преподавание. Всю жизнь он работал самоучкой, почти без лабораторного оборудования. Поэтому В. И. Вернадский направился далее в Мюнхен к центральной фигуре кристаллографического мира того времени — П. Гроту (1843—1927) с целью освоения методики гониометрических и кристаллооптических исследований. П. Грот поручил ему исследовать кристаллы триэтилового эфира тримезиновой кислоты. В. И. Вернадскому удалось доказать их принадлежность к примитивному (пирамидальному) виду гексагональной сингонии, до этого не имевшего своих реальных представителей. Однако это открытие, восхитившее П. Грота, не удовлетворило юного исследователя. «Правду сказать, никакой радости я не испытываю», — писал он по этому поводу в письме. Он стремился к широким обобщениям, к научному синтезу.

Очень интересные взгляды на свою научную работу высказаны им в письмах к жене: «Мои вычисления в большинстве случаев меня не интересуют, как, я знаю, не интересуют и всех других; я делаю это как неприятную мелкую работу, а на это уходят часы: я сидел, положим, для вещества, которое сейчас обрабатываю, часов 200 в темной комнате, и все мое занятие состояло в том, что я измерял углы, причем ни самые углы, ни самые результаты меня почти не интересовали, потому что они значения особого иметь не могут, взятые отдельно, да, может, и вообще. Ту же работу, которая меня интересовала, я вести так, как хотел, не мог и еще долго не смогу».<sup>4</sup>

Какие же задачи ставил перед собой в те годы начинающий ученый? Ответы мы находим в тех же письмах: «Мне очень нужно знать органическую химию, потому что я думаю, что тогда можно совсем изменить систему минералов, да и работу над строением белковых веществ (в связи с генезисом жизни) я хочу рано ли, поздно ли начать».<sup>5</sup> Это написано в 1888 г. 25-летним В. И. Вер-

---

<sup>3</sup> А. Д. Шаховская. Из переписки В. И. Вернадского. Природа, 1948, № 9, стр. 72—77.

<sup>4</sup> Там же, стр. 76.

<sup>5</sup> Там же, стр. 73.

надским. Вот, значит, когда уже зародились в нем идеи о реформе системы минералов и о создании биогеохимии.

Работа над строением белков была им начата в те же годы. В своем последнем, предсмертном сочинении ученый вспоминает о ней: «В 1889—1892 гг. я много работал над кристаллизацией яичных белков, пользуясь той же методикой, которая и сейчас употребляется при очищении кристаллизацией вирусов. Я исходил из растворения этих белков в водном растворе сернокислого аммония. В конце концов мне удалось получить призматические кристаллы, величиной больше сантиметра, но измерить я их не мог, так как все их плоскости были покрыты видцинальными надломами и давали характерную „полисимметрию“ Скакки. Как известно, полисимметрия связана с поверхностным натяжением. Я оставил дальнейшие исследования, так как по тогдашней методике я не мог дальше идти».<sup>6</sup>

Другая проблема, особенно интересовавшая В. И. Вернадского в то время, уже упоминалась выше — это вопрос о силах поверхностного натяжения на кристаллических гранях. «Я хочу сделать небольшую, вероятно, работу над сцеплением кристаллов. Мне хочется изучить явления капиллярности на кристаллических пластинках», — пишет он в 1888 г. из Мюнхена своему учителю В. В. Докучаеву.<sup>7</sup> Серия таких опитов и была им поставлена в лаборатории у Л. Зонке. В то же время он усиленно изучал под руководством этого ученого геометрическую теорию кристаллического строения. С горечью писал он жене о своей недостаточной математической подготовке: «Теперь я занялся областью, где математика есть настоящий фундамент, а его у меня нет. Но геометрия все более и более захватывает меня, — есть стремление, но нет сил».<sup>8</sup>

Желание «войти в новую кристаллографию» направляет его в Париж к известному французскому кристаллографу Э. Маляру. Дальнейшие экспериментальные работы в лабораториях Фуке и Ле-Шаталье временно отвлекли интересы В. И. Вернадского в сторону кристаллохимии. Здесь он совершил свое знаменитое открытие роли алюминия в силикатах в качестве аналога кремния. С этого времени он начал усиленно работать в области химизма минералов, развивая свою известную теорию строения силикатов.

Из-за границы он возвращается пламенным поборником передовых идей в области теоретической кристаллографии — идей

---

<sup>6</sup> Акад. В. И. Вернадский. Проблемы биогеохимии. О состояниях пространства в геологических явлениях земли на фоне роста науки XX столетия. Архив АН СССР, Моск. отд., ф. 518, оп. 1, № 3.

<sup>7</sup> Из переписки В. В. Докучаева и В. И. Вернадского. Публикация И. Н. Скрынниковой. Научн. наследство, т. 2, 1951, стр. 762.

<sup>8</sup> Цит. по: А. Д. Шаховская. Из переписки В. И. Вернадского, стр. 72—77.

Браве, Гесселя, Гадолина, Зонке, Маляра. Теория решетчатого строения кристаллов, новейшие успехи в области учения о симметрии — вот что кладется им в основу курса кристаллографии, который он читал для студентов Московского университета. Следует отметить, что в Германии, как указывает сам В. И. Вернадский, эти идеи были введены в преподавание несколькими годами позже.

Сущность читавшегося им курса кристаллографии он описывал следующим образом: «Кристаллография была отделена от минералогии и рассматривалась как часть физики — учение о твердом состоянии вещества. Уже с 1891 г. были введены в преподавание современные представления о строении кристаллов; 32 кристаллических класса рассматривались как разные фазы твердого состояния материи».<sup>9</sup> Большая роль отводилась практическим и самостоятельным лабораторным занятиям «В основу всего было положено возможно точное физическое (в том числе и кристаллографическое) и химическое изучение минералов и их наблюдение — парагенетическое — в поле и лаборатории. Каждый обучающийся проводил кристаллографическое исследование (и вычисление какого-нибудь вещества, главным образом искусственного) и делал полный химический анализ минерала. Работа выбиралась так, чтобы учащийся получал новые, раньше никому неизвестные, количественно выраженные факты. Значительная часть этих новых данных печаталась».<sup>10</sup>

Уже первая пробная лекция молодого профессора, посвященная полиморфизму как общему свойству материи, отличалась новизной и свежестью. В ней В. И. Вернадский, следуя П. Кюри, стремился ввести в кристаллографию учение о фазах Гиббса. Полиморфные разновидности рассматривались им как разные твердые фазы одного и того же химического соединения.

Делая широчайшие обобщения, В. И. Вернадский высказал следующее смелое предположение: «Твердых фаз одного химического состава может быть столько, сколько существует кристаллических классов»,<sup>11</sup> т. е. число однородных фаз некоторого определенного вещества может достигать 32. Сейчас мысль ученого о том, что полиморфизм является общим свойством материи, общепризнана. Однако идея о возможности 32 твердых фаз одного и того же вещества не подтвердилась. Определенному типу химической формулы, согласно известному кристаллохимическому закону А. В. Шубникова, соответствует лишь строго определенный и строго ограниченный комплекс структурных федоров-

---

<sup>9</sup> В. И. Вернадский. Из истории минералогии в Московском университете. (Памяти Я. В. Самойлова). Очерки по истории геолог. знаний, вып. 5, 1956, стр. 180.

<sup>10</sup> Там же, стр. 181.

<sup>11</sup> В. И. Вернадский. О приложении учения о фазах к кристаллографии. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. 18, № 2—3, 1905, стр. 8.

ских групп. Кроме того, известны случаи, когда различные полиморфные разновидности одного и того же вещества, differing в отношении структуры, принадлежат к одному и тому же кристаллографическому классу (виду симметрии). Так, например,  $\alpha$ -железо с кубической центрированной решеткой и  $\gamma$ -железо с кубической гранецентрированной решеткой относятся к планксиальному виду кубической сингонии ( $m\bar{3}m$ ).

В дальнейшем работа над изучением некоторых свойств полиморфных разновидностей дала ученому материал для его докторской диссертации «Явления скольжения кристаллического вещества» (1897 г.) В ней мы находим богатейшую сводку данных, относящихся к однородным деформациям кристаллов, осуществляемым путем скольжения, т. е. передвижения отдельных частей кристалла по прямым линиям при сохранении объема, веса и однородности вещества. В. И. Вернадский выявил связь между плоскостями скольжения, кристаллическими гранями и элементами симметрии. Здесь же впервые подчеркивалась необходимость некоторых ограничений в представлении о полной однородности кристаллических многогранников в связи с изменением физических свойств в их поверхностных слоях. Согласно этой мысли, кристаллы рассматривались не как отвлеченные геометрические системы, а как реальные физические тела.

«Явления скольжения кристаллического вещества» получили в свое время весьма высокую оценку Е. С. Федорова.<sup>12</sup> Великий русский кристаллограф, занимавший в конце прошлого столетия кафедру геологии и минералогии в Московской сельскохозяйственной академии, очень интересовался работами молодого профессора из Московского университета и видел в нем своего научного союзника.<sup>13</sup> В своем отзыве о диссертации В. И. Вернадского Е. С. Федоров прежде всего отмечает важное значение обобщающих литературных монографий по тому или иному разделу науки. К таким монографиям, наряду с известными немецкими монографиями Р. Браунса об оптических аномалиях, А. Е. Арцруни по полиморфизму и изоморфизму, Г. Баумгауэра по фигурам вытравления, Е. С. Федоров относит и русское сочинение В. И. Вернадского: «Одни из этих сочинений, например Баумгауэра, — пишет он, — блестят оригинальностью, но не отличаются полнотой, другие, например Арцруни, довольно

---

<sup>12</sup> Е. С. Ф е д о р о в. Реферат сочинения В. И. Вернадского «Явления скольжения (сдвига) кристаллического вещества». Ежегодн. по геолог. и минералог. России, т. III, отд. 4, 1898—1899, стр. 9—41.

<sup>13</sup> В Архиве Академии наук СССР (ф. 18, оп. 3, № 1692) сохранились письма Е. С. Федорова к В. И. Вернадскому, содержащие ценные сведения о взаимоотношениях двух замечательных ученых. См.: Н. М. Р а с к и н и И. И. Ш а ф р а н о в с к и й. Е. С. Федоров и В. И. Вернадский по материалам Архива Академии наук СССР. Очерки по истории геолог. знаний, 1959, № 8, стр. 165—176.



полны, но носят компилятивный характер. В этом отношении выгодно отличаются сочинения Браунса и Вернадского, отличающиеся и полнотой, и оригинальностью».<sup>14</sup>

Особенно высоко оценил Е. С. Федоров многочисленные наблюдения русского автора, его самостоятельные взгляды и критическое отношение к предшествовавшим ученым. Недостатками книги он считал употребление неточных, устаревших терминов и трактовку симметрии по О. Браве — «т. е. именно тому автору, который не выяснил себе понятия об элементах симметрии и в основание своих исследований положил неточные понятия».<sup>15</sup>

В заключение Е. С. Федоров пишет: «Еще раз повторяю, что если я распространился о слабых сторонах труда, то исключительно потому, что придаю ему весьма серьезное значение и весьма рад был бы видеть и эти слабые стороны сглаженными в дальнейших работах многообещающего автора».<sup>16</sup>

Высокая оценка Е. С. Федоровым диссертации В. И. Вернадского видна и из того, что он назвал ее в числе немногих выдающихся кристаллографических сочинений в предисловии к своему «Курсу кристаллографии» (1897 г.).

В течение нескольких лет после 1897 г., согласно автобиографической заметке, интересы В. И. Вернадского колебались между кристаллографией и минералогией, с одной стороны, и изучением истории этих наук — с другой. Результат слияния воедино этих двух, казалось бы столь различных, направлений мы находим в его замечательных «Основах кристаллографии» (1904 г.).

Книга открывается единственным в мировой литературе по глубине и широте подхода очерком развития кристаллографии. Это вовсе не обычный для научной литературы сухой перечень исторических данных. С исключительной теплотой и любовью В. И. Вернадский воскрешает перед нами образы старинных кристаллографов. Наряду с широко известными достижениями всеми признанных корифеев — Стенона, Ромэ Делиля, Гаюи, Браве — воскрешаются и забытые достижения малоизвестных и непризнанных подвижников науки — Бернгарди, Грассмана (отца), Р. Германа и др. Этот замечательный исторический очерк сохранил свою ценность и в наши дни.

Дальнейший текст «Основ кристаллографии» также отличается самостоятельностью и свежестью взглядов. В нем В. И. Вернадский проводит свои любимые мысли о приложении физико-химических основ к кристаллографии. Кристаллический многогранник рассматривается им как капля твердого тела. При этом явления кристаллизации становятся аналогами капиллярных

---

<sup>14</sup> Е. С. Федоров. Реферат сочинения В. И. Вернадского «Явления скольжения (сдвига) кристаллического вещества», стр. 9.

<sup>15</sup> Там же, стр. 10.

<sup>16</sup> Там же, стр. 11.

явлений жидкостей. Особенно подчеркивается значение основных принципов энергетики в отношении кристаллов.

Те же мысли развиваются В. И. Вернадским в ряде отдельных статей, опубликованных в 1907—1909 гг. и трактующих с точки зрения кристаллической энергии штриховку граней, двойникование, одновременную кристаллизацию двух несмешивающихся тел и проч. Приведем несколько характерных цитат из этих работ.

В статье «О комбинационной штриховке кристаллических граней» В. И. Вернадский пишет: «Явление штриховки есть одно из проявлений поверхностной энергии кристалла и происходит при росте многогранников совершенно так же, как появление тех или иных плоскостей. Этим путем идет общее уменьшение поверхностной энергии».<sup>17</sup>

В работе «К физической теории кристаллических двойников» он подчеркивает: «В основу теоретических представлений положено допущение существования в кристаллах особой формы энергии, отличной от поверхностной (капиллярной) энергии. Я назвал эту энергию анизотропной (или векториальной). Только при ее допущении станет неизбежным образование двойников при некоторых явлениях кристаллизации».<sup>18</sup>

В специальной статье «О кристаллической энергии» мы читаем: «Вхождение в процесс кристаллизации кристаллической энергии сразу усложняет равновесие и вызывает в нем ряд новых и разнообразных явлений; количество возможных форм кристаллизации увеличивается».<sup>19</sup>

Во всех приведенных цитатах подчеркивается мысль об огромном значении кристаллической энергии. В основном эти взгляды подтвердились. Вот что писал в 1936 г. по этому поводу акад. А. Е. Ферсман: «Прав был акад. В. И. Вернадский, когда он не соглашался с чрезмерным увлечением радиусами ионов и когда его мало удовлетворяла мертвая статистика несжимаемых шаров; в своих блестящих выступлениях В. И. стал искать решения геохимических задач в области проблем энергетики».<sup>20</sup>

Развитие этих взглядов привело впоследствии самого А. Е. Ферсмана к созданию учения об энергетических константах кристаллических веществ — эках и вэках, легших в основу новейших течений в геохимии.

---

<sup>17</sup> В. И. Вернадский. О комбинационной штриховке кристаллических граней. Изв. имп. Акад. наук, 6-я сер., 1907, № 10, стр. 316.

<sup>18</sup> В. И. Вернадский. К физической теории кристаллических двойников. Изв. имп. Акад. наук, 6-я сер., 1907, № 11, стр. 339.

<sup>19</sup> В. И. Вернадский. О кристаллической энергии. О кристаллизации вещества в присутствии готового кристалла другого тела. Изв. имп. Акад. наук, 6-я сер., 1908, № 2, стр. 216.

<sup>20</sup> А. Е. Ферсман. Радиусы и эки ионов. Сб. «Академику В. И. Вернадскому», Изд. АН СССР, Л., 1936, стр. 41.

До сих пор шла речь о собственно кристаллографических трудах В. И. Вернадского. Однако и его минералогические и геохимические труды тесно связаны с наукой о кристаллах. Выше уже упоминалась созданная им теория строения силикатов, сыгравшая столь видную роль в развитии современных взглядов на строение минералов этой первостепенной по важности группы. Недаром теоретический вывод В. И. Вернадского о возможности одинаковой роли алюминия и кремния в силикатах после подтверждения его методами рентгенографии заслужил признание со стороны видных ученых — химика Ле-Шателье и кристаллохимика Э. Шибольда — как «гениальное открытие».<sup>21</sup>

Ценнейшим вкладом в учение об изоморфизме, сохранившим свое значение и в настоящее время, явилась широко известная речь В. И. Вернадского «Парагенезис химических элементов в земной коре» (1910 г.).<sup>22</sup> В ней развито исключительно важное положение, согласно которому «изоморфные ряды перемещаются и изменяются под влиянием изменения температуры и давления». На основании этой идеи В. И. Вернадский и вывел свои знаменитые изоморфные ряды, связав их с тремя различными термодинамическими областями земной коры: глубокими слоями литосферы, областью метаморфизации и корой выветривания. Все эти замечательные достижения подводят нас к современной кристаллохимии и геохимии.

Начиная с 1910 г. В. И. Вернадский отходит от кристаллографии и всецело углубляется в вопросы минералогии, геохимии, радиоактивности и биогеохимии. Лишь в последние годы жизни он снова возвращается к столь излюбленной им с юности научной дисциплине. В это время в связи с разработкой биогеохимических проблем им развиваются идеи о разнице между кристаллическим пространством и физическим пространством живого вещества.

Заканчивая обзор кристаллографических работ В. И. Вернадского, следует еще раз подчеркнуть свежесть и новизну выдвинутых им идей.

С полным основанием ученый мог бы повторить и в отношении своих кристаллографических работ фразу, сказанную им по поводу своих достижений по минералогии: «Оглядываясь в прошлое, он видит, что он стоял на том пути, по которому пошло научное развитие мысли».<sup>23</sup>

Помимо самого В. И. Вернадского, в Московском университете большую научную работу вел коллектив его сотрудников

---

<sup>21</sup> Д. П. Г р и г о р ь е в. В. И. Вернадский и современная минералогия. Зап. Минералог. общ., ч. 87, 1955, № 2, стр. 138.

<sup>22</sup> В. И. В е р н а д с к и й. Парагенезис химических элементов в земной коре. В кн.: Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей (1909—1910). М., 1910, стр. 73—91.

<sup>23</sup> В. И. В е р н а д с к и й. История минералов земной коры, т. I, вып. I, Л., 1925, стр. 13.

и учеников. Результаты этой работы освещались в периодических изданиях, как русских, так и зарубежных. Большинство статей появлялось в «Ученых записках Московского университета» и «Бюллетенях Московского общества любителей естествознания».

С 1906 г., в связи с избранием В. И. Вернадского в академики, работы его самого и его сотрудников стали преимущественно публиковаться в изданиях Академии наук.

В период с 1906 по 1910 г. в Московском университете читалось несколько курсов кристаллографии. Основные курсы кристаллографии и минералогии вел сам В. И. Вернадский. Сокращенный курс кристаллографии для медиков читал его выдающийся помощник и ученик Я. В. Самойлов (1870—1925).

Имя Я. В. Самойлова связано главным образом с развитием биогеохимических идей в минералогии. Однако ему принадлежит и ряд кристаллографических исследований.

В 1902 г. Я. В. Самойлов защитил магистерскую диссертацию на тему «Материалы к кристаллографии барита». В этой работе тщательно выясняется бывший тогда спорным вопрос о симметрии барита, обсуждаются проблемы генезиса и парагенезиса данного минерала и дается детальное кристаллографическое описание кристаллов барита из 252 русских месторождений. Заслуживают также внимания статьи Я. В. Самойлова «О соотношении между спайностью и обликом кристаллов» (1904 г.), «К вопросу о многогранниках роста изоструктурных тел» (1908 г.) и др. Долгое время пользовалось большим успехом среди учащихся его «Введение в кристаллографию» (1896 г., 1-е изд.), написанное исключительно ясно и просто.

«Кристаллооптику» (1913 г.) и ряд кристаллографических исследований искусственных веществ опубликовал и другой талантливый ученик В. И. Вернадского — В. В. Карандеев, безвременно скончавшийся в самом начале своей деятельности, в 1916 г., от сыпного тифа.

Однако самым блестящим из плеяды учеников и последователей В. И. Вернадского был бесспорно Александр Евгеньевич Ферсман (1883—1945).

Остановимся на кристаллографических трудах этого исключительно плодовитого и многогранного ученого. Если в лице Е. С. Федорова мы имели прежде всего гениального кристаллографа-геометра, а в лице Г. В. Вульфа — кристаллографа-физика, то А. Е. Ферсман является блестящим примером кристаллографа с минералогическим и геохимическим уклоном. Вместе с тем открытые им закономерности и новые понятия выходят за пределы собственно минералогии и геохимии и имеют самостоятельное кристаллографическое значение.

А. Е. Ферсман очень быстро нашел свой самостоятельный путь в науке. Казалось бы, в первой студенческой его статье,

«О кристаллической форме и некоторых физических свойствах 1-фенил-2-метил и 3-ментил-имидоксантида» (1904 г.),<sup>24</sup> еще нет ничего характерного для ученого. Однако это неверно. Помимо результатов гониометрического измерения, здесь приводится описание фигур травления, пирозлектрических свойств, поверхностностей разлома и оптических особенностей. Так же как и его учитель акад. В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман рассматривает кристалл «не как геометрическое тело, а как физический объект, тесно связанный в своем росте с окружающей его средой, непосредственно выражающей внутреннее строение вещества, строение его мельчайших частиц».<sup>25</sup>

То же самое можно сказать и о второй его студенческой статье — «О кристаллической форме диметилового эфира парадитимолиламина».<sup>26</sup>

Далее следует серия минералогических работ, содержащих ряд интересных кристаллографических данных. Так, например, в «Материалах к исследованию цеолитов России» (1908 г.).<sup>27</sup> А. Е. Ферсман останавливается на причине неустойчивости кристаллографических констант цеолитов. По мнению ученого, неустойчивость эта связана с вицинальными образованиями, в которых «находят себе внешнее выражение внутренние деформации кристаллической структуры, свойственные некоторым видам твердых растворов».<sup>28</sup>

В статье «О кварце из гранитпорфира острова Эльбы» (1909 г.)<sup>29</sup> описывается, как на основании исследования плоскостей разломов по  $(10\bar{1}0)$  и  $(10\bar{1}1)$  на кристаллах кварца была установлена связь между этими разломами и направлением поверхностного остывания гранитпорфировой магмы. Позднее, в 1913 г., возвращаясь к этой теме, Александр Евгеньевич указывал, что причиной упомянутых разломов, по-видимому, являются процессы молекулярных перегруппировок при переходе высокотемпературного гексагонального кварца в низкотемпературную триго-

---

<sup>24</sup> А. Е. Ферсман. О кристаллической форме и некоторых физических свойствах 1-фенил-2-метил и 3-ментил-имидоксантида. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. XVIII, 1904, стр. 375—380.

<sup>25</sup> А. П. Карпинский, В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. Ф. Иоффе. Записка об ученых трудах профессора Московского университета Г. В. Вульфа. Изв. Российск. Акад. наук, 6-я сер., т. XV, 1921, № 1—18, стр. 45—47.

<sup>26</sup> А. Е. Ферсман. О кристаллической форме диметилового эфира парадитимолиламина. Bull. Soc. Nat. Moscou, t. XX, 1906, стр. 133—138.

<sup>27</sup> А. Е. Ферсман. Материалы к исследованию цеолитов России, 1. Леонгардит и ломонтит из окрестностей Самферополя. Труды Геолог. музея Акад. наук, т. II, вып. 6, 1908, стр. 103—155.

<sup>28</sup> Там же, стр. 103.

<sup>29</sup> А. Е. Ферсман. О кварце из гранитпорфира острова Эльбы. Изв. Акад. наук, т. III, 1909, № 3, стр. 187—197.

нальную модификацию.<sup>30</sup> Здесь ученый останавливался на роли кварца в качестве «геологического термометра». Впоследствии этот вопрос был им особенно подробно рассмотрен в связи с выяснением температурных условий образования пегматитов.

В работе «Флогопит и альбит из ледниковых валунов Московской губернии»<sup>31</sup> А. Е. Ферсман установил новый для слюд двойниковый закон, соответствующий пеннинговому закону на кристаллах хлорита.

В целой серии других статей этого периода ученый приводит результаты кристаллографического изучения некоторых интересных или редких минералов — иксинолита, дискразита, цеолитов, диопсида и др.

Углубленное изучение кристаллов алмаза и работа над знаменитой монографией «Алмаз» положили начало новому направлению в минералогической кристаллографии.

Справедливо считая, что форма и поверхность кристаллических многогранников являются как бы экраном, отразившим особенности их происхождения, А. Е. Ферсман обратил особое внимание на тончайшее изучение морфологии кристаллов с целью получения генетических данных. При таком изучении необходимо учитывать, помимо внутреннего строения кристаллического вещества, влияние внешней среды, окружавшей кристаллы во время их возникновения и роста.

В этом отношении направление генетической морфологии кристаллов, развивавшееся А. Е. Ферсманом, коренным образом отличается от старой минералогической кристаллографии, рассматривавшей кристаллические формы в отрыве от породившей их среды.

Главные особенности этого направления А. Е. Ферсман описал в докладе «О характере природных плоскостей кристаллов», с которым он выступил на 12-м съезде естествоиспытателей и врачей в 1910 г. Ниже приводится текст протокольной записи этого программного доклада: «В истории кристаллографии можно наметить три основных пути для изучения кристалла как физического тела; первый путь изучает его внутреннюю структуру в связи с комплексом плоскостей и их ретикулярной плотностью; второй стремится к изучению явлений роста по нормальям к граням; третий должен вести к познанию морфологических элементов кристалла. Классификация элементов ограничения должна быть по существу генетической и связывать эти элементы с теми или иными процессами в окружающей среде. С этой точки зрения намечается около 20 различных типов морфологических элементов,

---

<sup>30</sup> А. Е. Ферсман. К вопросу о природе кварцев из гранитпорфиров. Изв. Акад. наук, 6-я сер., т. VII, 1913, № 17, стр. 1001—1006.

<sup>31</sup> А. Е. Ферсман. Минералогические заметки, 2. Флогопит и альбит из ледниковых валунов Московской губернии. Изв. Акад. наук, т. IV, 1910, № 10, стр. 733—750.

характеризующихся не только той или иной геометрической формой, но и определенным характером рефлекса в гониометре. Детальное изучение этих типов дает возможность по морфологическим элементам делать обратные выводы о характере генезиса и окружающей среды при процессах роста или растворения кристалла. Таким образом, вся работа по морфологии кристалла должна быть направлена к определению тех критериев, которые позволили бы различать эти отдельные типы. В частности, наиболее резким является различие между поверхностями положительного или отрицательного характера, т. е. образующимися приближением или удалением от центра по нормали. Зависимость между поверхностями этих двух типов настолько тесная, что по характеру комплекса каждого минерального вида можно с большей или меньшей очевидностью предсказать и характер (положение и форму) элементов ограничения отрицательного характера, т. е. характер плоскостей вытравления и многогранников растворения и химических реакций. Элементы отрицательного характера всегда занимают место полей с наименьшей ретикулярной плотностью и с наибольшими индексами.

«Все положения докладчика были иллюстрированы на частном примере кристаллизации алмаза и сопровождались демонстрацией диапозитивов».<sup>32</sup>

Полное развитие этих идей мы находим в монографии «Алмаз» («Der Diamant»), написанной А. Е. Ферсманом совместно с В. М. Гольдшмидтом (1911 г.).<sup>33</sup> В основе этого сочинения лежит уже подчеркнутое выше положение, согласно которому кристалл не является просто геометрическим телом. Кристаллическое тело нельзя оторвать от той обстановки, в которой протекал его рост. Факторы и явления, окружавшие кристалл в период его образования, налагают на его поверхность свой отпечаток. Кристалл несет на себе следы предыдущих моментов своего существования, и по его форме, по скульптуре его граней, мелочам и деталям его поверхности мы можем читать его прошлое.

В монографии приводится подробнейшее описание изученных алмазов. Роскошный атлас содержит множество тщательнейших зарисовок кристаллов и световых картин, сделанных самим Александром Евгеньевичем. Рисунки из этого атласа приводятся до сих пор во всех крупнейших сводках по минералогии, как советских, так и зарубежных авторов (рис. 54, см. стр. 372—373).

---

<sup>32</sup> А. Е. Ферсман. О характере природных плоскостей кристаллов. Дневник XII съезда русских естествоиспытателей и врачей (1909—1910). М., 1910, стр. 486.

<sup>33</sup> A. F e r s m a n und V. G o l d s c h m i d t. Der Diamant. Heidelberg, 1911. Русский перевод этой монографии опубликован в кн.: А. Е. Ферсман. Кристаллография алмаза. Серия «Классики науки». Изд. АН СССР, М.—Л., 1955.

Отнесение округлых алмазов к многогранникам частичного растворения в противоположность плоскогранным многогранникам роста породило в минералогической литературе два течения. Впоследствии некоторые исследователи примкнули к А. Е. Ферсману, другие пытались опровергнуть его доводы, считая округлые формы также образованиями роста. В связи с отсутствием непосредственных наблюдений над ростом алмаза этот вопрос и до сих пор нельзя считать окончательно решенным.

С 1907 г. А. Е. Ферсман интенсивно занимался проблемой пегматитов, уделяя большое внимание кристаллографии связанных с ними минералов. Вспоминая о поездке Александра Евгеньевича в 1912 г. на Урал, его спутник и сотрудник В. И. Крыжановский писал: «На голубых отвалах из амазонского камня А. Е. просиживал многие часы. . . Именно здесь, во время наших работ на амазонистых пегматитах, родилось слово „рыба“ (ихтиоглипты) для определения формы кварцевых кристаллов, выделяемых из тела пегматитов. Именно здесь, на Косой Горе, родились у А. Е. первые мысли о закономерностях в сростании кварца и полевого шпата».<sup>34</sup>

Изучение упомянутых сростаний и выявление для них определенных кристаллографических закономерностей получили свое оформление в известной статье «Письменная структура пегматитов и причины ее возникновения» (1915 г.).<sup>35</sup>

Причины возникновения письменных структур А. Е. Ферсман видел в одновременной кристаллизации кварца и полевого шпата, заставляющей «кристаллические решетки обоих тел взаимно приспособляться, располагая некоторые свои элементы (ряды или плоские сетки) по возможности параллельно».<sup>36</sup> Помимо закономерной ориентировки кристаллов, такое взаимное приспособление приводит к ряду своеобразных явлений на границе раздела двух твердых тел. Эти явления ученый назвал «кристаллографической индукцией». Обычно роль обоих одновременно растущих минералов неодинакова: один из них является индуктирующим, второй — индуктируемым. Формы кристаллизации кварца в полевом шпате можно рассматривать как формы разграничения двух твердых фаз. Эти формы «могут быть сравниваемы, — писал он, — с кристаллическими многогранниками как формами равновесия изотропной и векториальной фазы или пленками и

---

<sup>34</sup> В. И. Крыжановский. Поездки А. Е. Ферсмана на уральские пегматиты. Бюлл. Моск. общ. испытателей природы, отд. геол., т. XXI, 1946, стр. 111—115.

<sup>35</sup> А. Е. Ферсман. Письменная структура пегматитов и причины ее возникновения. Изв. Акад. наук, 6-я сер., т. IX, 1915, № 12, стр. 1211—1228. Переработанный и обновленный вариант этой статьи был помещен в кн.: А. Е. Ферсман. Пегматиты, т. I. Изд. 3-е, Изд. АН СССР, М.—Л., 1940, стр. 628—639.

<sup>36</sup> А. Е. Ферсман. Пегматиты, т. I, стр. 630.



каплями жидкости как формами разграничения двух или трех изотропных средин». <sup>37</sup>

Изучая ориентировку кварца в письменных структурах, А. Е. Ферсман пришел к выводу, что обычная параллельность кварцевых индивидов вызывается силами роста полевого шпата. Иными словами, полевой шпат является индуктором, а кварц — индуцируемым веществом. Общий закон срастания обоих минералов определяется «параллельностью призматического ребра полевого шпата и ребра между соседними гранями ромбоэдров кварца». <sup>38</sup> Закон этот Александр Евгеньевич назвал «трапецеэдрическим». В настоящее время в литературе он носит название закона Ферсмана.

Некоторые зарубежные исследователи (Э. Уолстром и др.) пытались отрицать наличие каких-либо закономерностей в кварцево-полевошпатовых срастаниях. Однако новейшие исследования, подкрепленные данными структурной кристаллографии, подтверждают правильность позиции А. Е. Ферсмана. <sup>39</sup>

Не ограничиваясь законами срастания, ученый подверг детальному анализу форму самих кварцевых индивидов. Он обратил особое внимание на то, что форма роста кварца вне полевого шпата не имеет ничего общего со строением кварца внутреннего. Части кварца, выступающие над поверхностью полевого шпата и обладающие обычными гранями, А. Е. Ферсман назвал «головками». Внутри полевого шпата кварц образует вытянутые веретенообразные тела, покрытые мелкой штриховкой. Такие тела ученый назвал «ихтиоглиптами». Ихтиоглипты в определенных частях полевошпатовых кристаллов расположены параллельными группами — «стаями». Каждая «стая» в общем вытянута перпендикулярно одной из важнейших граней полевого шпата, являющихся, по А. Е. Ферсману, «гранями индукции». Поверхности ограничения ихтиоглиптов ученый называл «псевдогранями», а мелкие штрихи на них — «индукционной штриховкой». Рост кварцевых ихтиоглиптов происходил одновременно с ростом полевого шпата. Индукционная штриховка на них является совокупностью перемещенных параллельно самим себе ребер между возможной гранью индуцируемого тела (кварца) и между растущей в данном направлении гранью индуктора (полевого шпата). Для изучения форм ихтиоглиптов А. Е. Ферсман сконструировал остроумный прибор — ихтиометр.

В 1914 г. ученый выступил в Минералогическом обществе с докладом о результатах своих исследований. «Присутствовавший на докладе маститый профессор Горного института Е. С. Федоров

<sup>37</sup> Там же.

<sup>38</sup> Там же, стр. 632.

<sup>39</sup> Д. П. Григорьев и И. И. Шафрановский. Эпитаксическое нарастание кварца на полевой шпат. Зап. Минералог. общ., ч. 75, 1946, № 4, стр. 265—272.

с присущей ему страстностью, которую он всегда проявлял в научных вопросах, подверг А. Е. самому строгому экзамену по всем деталям доклада, но А. Е. блестяще выдержал испытание», — вспоминает об этом выступлении Ферсмана В. И. Крыжановский.<sup>40</sup> Полученные А. Е. Ферсманом результаты впоследствии вошли составной частью в его известную монографию «Пегматиты».

Здесь мы ограничились рассмотрением кристаллографических работ А. Е. Ферсмана, опубликованных лишь до 1917 г. Как известно, своего высшего расцвета творчество этого замечательного ученого достигло уже в советское время. К этому периоду относятся и наиболее известные его кристаллохимические обобщения и геоэнергетические построения. Однако, как было показано выше, и ранние труды А. Е. Ферсмана по минералогической кристаллографии полны глубокого интереса.

В заключение еще раз подчеркнем, что в лице А. Е. Ферсмана мы видим не только замечательного геохимика и минералога, но и крупного кристаллографа с минералогическим уклоном, оставившего глубокий след в науке о кристаллах. Перечитывая его кристаллографические труды, невольно вспоминаешь знаменательные слова его учителя акад. В. И. Вернадского: «Кристаллография не отделилась от минералогии, но охватила ее по-новому, проникая в самые основные построения, коренным образом ее изменила. . . . Оказалось, что дело шло не об освобождении минералогии от не принадлежавшей ей области физических наук, а о новой форме связи кристаллографии с минералогией, коренном изменении этой последней».<sup>41</sup> К этой новой минералогии, теснейшим образом связанной с кристаллографией, и принадлежат рассмотренные выше кристаллографические труды А. Е. Ферсмана и самого В. И. Вернадского.

---

<sup>40</sup> В. И. Крыжановский. Поездки А. Е. Ферсмана на уральские пегматиты, стр. 111—115.

<sup>41</sup> В. И. Вернадский. Задачи минералогии в нашей стране. Природа, 1928, № 1, стр. 21—40.

## XXII. КРИСТАЛЛОГРАФИЯ В РОССИИ НАКАНУНЕ ВЕЛИКОЙ ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Итак, обзор кристаллографических работ в России мы довели до кануна Великой Октябрьской социалистической революции. Как уже отмечалось в предисловии, мы не задавались целью дать историю развития кристаллографии в России. Написать такую историю — дело чрезвычайно трудное. С одной стороны, этому препятствуют немногочисленность ученых, всецело посвятивших себя кристаллографическим проблемам, и разнообразие их тематики, а с другой — то, что самой кристаллографии как вполне самостоятельной науки до конца XIX столетия по сути дела не существовало. Вот почему пришлось пока отказаться от создания общей картины развития кристаллографии как науки.

Собранные нами сведения о наиболее выдающихся русских авторах и их трудах дают лишь необходимый материал для создания такой картины. Несмотря на фрагментарность, они все же позволяют наметить, хотя и очень приближенно, некоторые основные закономерности в развитии кристаллографии.

Относящиеся к глубокой давности первые понятия о кристаллах в России были связаны с практическим их использованием (строительные материалы, металлы, поваренная соль, белая слюда, драгоценные камни). При этом все внимание было обращено на полезные свойства кристаллов (прочность, твердость, прозрачность, вкус, цвет). Геометрически правильное огранение их, по-видимому, не представляло никакого интереса в то время и в дошедших до нас документах вовсе не упоминается.

Зарождение научной кристаллографии в России связано с именем М. В. Ломоносова.

Гениальный ученый со свойственной ему широтой всесторонне осветил основные проблемы нашей науки. Создание общей теории строения кристаллов, во многом предвосхитившей позднейшие взгляды, изучение кристаллогенезиса, опыты по выращиванию искусственных кристаллов, исследование особенностей реальных кристаллов, вплоть до мельчайших деталей поверхностной скульптуры, — вот круг затронутых и частично разработанных им вопросов. Все это он стремился использовать практически для развития в России горного дела и промышленности.

В XVIII в. становление науки в нашей стране было тесно связано с деятельностью Академии наук. В этот период появляется ряд замечательных работ по различным разделам кристаллографии: кристаллофизике (Ф. Эпинус), кристаллогенезису (Т. Ловиц) и кристаллографии минералов (В. М. Севергин и др.).

В первой половине прошлого столетия в связи с усилением промышленно-капиталистической перестройки в России начинает усиленно развиваться и горное дело. В результате накапливается огромный минералогический, а вместе с тем и кристаллографический материал, требующий изучения, расшифровки, систематизации и практической оценки. Этим задачам и должно было служить описательное направление в минералогии, основанное на точном кристаллографическом изучении материала. Характерно, что именно в Петербургском горном институте — технической школе, тесно связанной с горной промышленностью, получила широкое развитие описательная кристаллографо-минералогическая школа (Н. И. Кокшаров, П. В. Еремеев).<sup>1</sup>

Изучение химизма минералов также привело к разработке кристаллографических вопросов, связанных прежде всего с проблемой изоморфизма (Р. Герман, Д. И. Менделеев). Решением кристаллографических вопросов занимались и ученые-металлурги (П. П. Аносов, А. В. Гадолин, Д. К. Чернов).

В отличие от горных инженеров, имевших в руках богатый и разнообразный минералогический материал, минералоги-универсальны принуждены были довольствоваться более однообразными объектами. Последнее заставило их особенно внимательно вникать в усложненные формы кристаллизации, в особенности внутреннего сложения кристаллов, и вдумываться в причины их возникновения (М. А. Толстомятов, М. В. Ерофеев, А. Н. Карножицкий). Такие углубленные исследования нашли свое оправдание и признание лишь впоследствии.

Усиленно развивавшаяся в конце прошлого века металлургическая и химическая промышленность требовала резкого увеличения минерально-сырьевой базы, поисков нового сырья в виде природных или искусственных соединений, разработки более совершенных и эффективных процессов производства. Стала совершенно очевидной недостаточность описательной кристаллографии. Началась разработка новых методов для более глубокого изучения кристаллического вещества, для понимания сущности его внутреннего строения, а также и для точного знания его происхождения в природе и его всестороннего использования на практике.

С этого времени пути кристаллографии и минералогии начинают расходиться. Минералогия почти всецело переключается

---

<sup>1</sup> Д. П. Григорьев. Новые задачи генетической минералогии. Природа, 1950, № 9, стр. 25.

на изучение природных процессов минералообразования (В. И. Вернадский). Кристаллография, опираясь на физико-математические дисциплины, углубляется в разработку теории строения кристаллов (Е. С. Федоров). Одновременно создаются и новые точные кристаллофизические и кристаллохимические методы исследования (Е. С. Федоров, Г. В. Вульф). Наконец, появляются работы, связанные с первыми расшифровками реальных кристаллических структур на основе рентгеноанализа (Е. С. Федоров, Г. В. Вульф).

Эти новые успехи кристаллографии самым теснейшим образом переплетаются с достижениями физики и химии. Широко используются они и в современной минералогии и в зародившейся уже в нашем веке новой науке — геохимии (В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман).

Таков вкратце путь кристаллографии с начала XVIII в. до нашей эпохи. На всем протяжении этого пути наука о кристаллах была теснейшим образом связана с практическими запросами, нередко она опережала их, заранее разрешая проблемы завтрашнего дня.

В канун Великой Октябрьской социалистической революции в области кристаллографии работал целый ряд выдающихся русских ученых. Продолжал свою изумительную творческую деятельность Е. С. Федоров, стремясь согласовать созданную им ранее теорию строения кристаллов с новыми данными рентгеноанализа. Законченные им таблицы по кристаллохимическому анализу («Das Krystallreich») увидели свет уже в советское время. В полном расцвете сил и таланта находился Г. В. Вульф, разрабатывавший в то время основы рентгенометрии кристаллов. В Академии наук В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман с увлечением занимались кристаллографией минералов. В Петербургском университете продолжал вести опыты по кристаллогенезису П. А. Земятченский. В Горном институте Н. С. Курнаков развивал свой физико-химический анализ, столь тесно связанный с отдельными разделами кристаллографии. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг и Д. С. Белякин широко касались кристаллографических проблем в петрографических исследованиях и читали курсы кристаллографии в Петербургском политехническом институте.

Деятельность большинства этих ученых протекала уже в советский период. Накануне Великой Октябрьской социалистической революции появилась на научном поприще и плеяда молодых, впоследствии широко прославившихся кристаллографов, основные достижения которых целиком принадлежат нашему времени.

Талантливый ученик и продолжатель Е. С. Федорова А. К. Болдырев (1883—1946), опубликовав в 1907 г. замечательную статью «Основы геометрического учения о симметрии», надолго был оторван от научной деятельности и лишь в 1917 г. получил возмож-

ность снова вернуться к работе в области кристаллографии и минералогии.

Питомец Петербургского университета и ассистент Е. С. Федорова О. М. Аншелес (1885—1957) обратил на себя внимание кристаллооптическими исследованиями «О дисперсии идокраза» (1914 г.) и «К изучению полихроичных оболочек и изменений под влиянием радиевых лучей оптических свойств минералов» (1915 г.).

Глава советских кристаллографов акад. А. В. Шубников до революции опубликовал ряд работ, получивших впоследствии самую широкую известность. Из них упомянем статьи «О симметрии кристаллов дихромата калия» (1911 г.), «Влияние степени пересыщения раствора на внешний вид выпадающих из него кристаллов квасцов» (1913 г.), «Влияние колебаний температуры на образование кристаллов» (1914 г.), «К вопросу о строении кристаллов» (1916 г.) и др.

К этой блестящей плеяде кристаллографов следует отнести и выдающегося советского физика акад. А. Ф. Иоффе, углубленно занимавшегося физикой кристаллов.

Приведенный перечень имен показывает, что наука о кристаллах имела в то время ряд блестящих представителей в России. Однако все эти лица были мало связаны друг с другом. Ни о каком контакте или планомерной коллективной кристаллографической работе в то время не могло быть и речи. На все высшие учебные заведения России приходилась лишь одна кафедра кристаллографии, находившаяся в Петербургском горном институте и возглавлявшаяся Е. С. Федоровым.

С этим ненормальным положением было покончено лишь после Великой Октябрьской социалистической революции.

В настоящее время в советских вузах имеется ряд специальных кафедр кристаллографии (в Московском университете их даже две). Жизненно важные кристаллографические темы широко разрабатываются большими коллективами научных работников в ряде научно-исследовательских институтов.

Во главе всей советской кристаллографии стоит Институт кристаллографии Академии наук, способствующий планированию кристаллографических работ ученых Советского Союза и издающий специальный журнал «Кристаллография».

## *ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ИСТОРИИ КРИСТАЛЛОГРАФИИ*

### *1. Общая история кристаллографии*

- Б р е г г У. Л. Кристаллическое состояние, I. Объединен. научно-техн. изд., М.—Л., 1938, стр. 260—276. (Глава 12. Исторический обзор).  
В е р н а д с к и й В. И. Основы кристаллографии, ч. 1, вып. 1, 1904, стр. 1—39. (Глава I. Очерк развития кристаллографии).  
Л а у э М. История физики. Гос. изд. технико-теорет. литературы. М., 1956, стр. 135—144. (Глава 12. Кристаллофизика).

- Т е р я е в А. История минералогии, или Краткое изображение основания, приращения и усовершенствования оной науки, особливо в последнее двадцатилетие. СПб., 1819.
- У э в е л л ь В. История индуктивных наук от древнего и до настоящего времени, т. III. История кристаллографии. Перевод М. А. Антоновича. СПб., 1869, стр. 261—306.
- Ф е д о р о в Е. С. Заметка об успехах теоретической кристаллографии. Зап. Минералог. общ., ч. 26, 1890, стр. 345—377, 404—406, 452—457.
- Ф е д о р о в Е. С. Из итогов тридцатипятилетия. М., 1904.
- Ф е д о р о в Е. С. Кристаллография за 40 лет. Зап. Горн. инст., т. 2, 1910, стр. 341—345.
- Ш у б н и к о в А. В. Кристалл как непрерывная среда. Изв. АН СССР, 1932, стр. 799—802.
- G r o t h P. Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften. Berlin. 1926.
- K o b e l l F. Geschichte der Mineralogie. München, 1864.
- M a r x C. Geschichte der Krystallkunde. Karlsruhe, 1825.
- M e t z g e r H. La genèse de la science des cristaux. Paris, 1918.
- Q u e n s t e d t A. F. Grundriss der Bestimmenden und rechnenden Krystallographie nebst einer historischer Einleitung. Tübingen, 1873.
- S o h n s k e L. Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur. Leipzig, 1879.
- T e r t s c h H. Das Geheimnis der Krystallwelt. Roman einer Wissenschaft, Wien, 1947.

## II. И с т о р и я к р и с т а л л о г р а ф и и в Р о с с и и

- А г а ф о н о в В. К. Исторический очерк развития минералогии и кристаллографии в России. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, полугом 55, СПб., 1899, стр. 746.
- Б о к и й Г. Б. и Ш а ф р а н о в с к и й И. И. Русские кристаллографы. Труды Инст. истории естествозн. АН СССР, т. I, 1947, стр. 81—120.
- Г р и г о р ь е в Д. П. и Ш а ф р а н о в с к и й И. И. Выдающиеся русские минералоги. Изд. АН СССР, М.—Л., 1948.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие . . . . .	3
I. Зарождение первых понятий о кристаллах в России . . . . .	7
II. Кристаллография в трудах М. В. Ломоносова . . . . .	15
III. Ф. Эпинус. Исследование пирозлектричества на кристаллах турмалина . . . . .	52
IV. Т. Е. Ловиц. Открытия в области кристаллогенезиса . . . . .	59
V. Кристаллография минералов в русской научной литературе XVIII в. . . . .	80
VI. В. М. Севергин. Создание русской кристаллографо-минералогической терминологии . . . . .	97
VII. Кристаллография в учебных руководствах первой половины XIX столетия . . . . .	116
VIII. А. Я. Купфер. Разработка теории и практики гониометрии кристаллов . . . . .	146
IX. Р. Герман. Теория гетеромерного изоморфизма . . . . .	160
Х. Н. И. Кокшаров и П. В. Еремеев. Создание описательной кристаллографо-минералогической школы в России . . . . .	170
XI. А. В. Гадолин. История вывода 32 видов симметрии . . . . .	195
XII. Д. И. Менделеев. Вопросы соотношения между кристаллической формой и химическим составом . . . . .	221
XIII. М. А. Толстомятов. Проблемы кристаллогенезиса и внутреннего сложения реальных кристаллических тел . . . . .	232
XIV. М. В. Ерофеев и А. Н. Карножицкий. Теория «скупивания кристаллов» . . . . .	250
XV. П. П. Аносов и Д. К. Чернов. Кристаллография в металлургии. . . . .	287
XVI. Г. Н. Вырубов и А. Е. Арпруни. Исследования в области химической кристаллографии . . . . .	297
XVII. Р. А. Прендель, Б. З. Коленко, К. Д. Хрущов и другие. Работы по кристаллографии минералов и искусственных образований . . . . .	307
XVIII. Е. С. Федоров . . . . .	325
XIX. Г. В. Вульф . . . . .	357
XX. П. А. Землячченский, П. П. Орлов, И. И. Андреев, П. Н. Павлов и другие. Исследования в области кристаллогенезиса . . . . .	381
XXI. В. И. Вернадский и А. Е. Ферсман. Работы по кристаллографии . . . . .	393
XXII. Кристаллография в России накануне Великой Октябрьской социалистической революции . . . . .	410



Илларион Илларионович Шафрановский  
ИСТОРИЯ КРИСТАЛЛОГРАФИИ В РОССИИ

*Утверждено к печати  
Институтом истории естествознания и  
техники  
Академии наук СССР*

Редактор Издательства *Е. А. Семенова*  
Художник *М. Н. Свинкина*  
Технический редактор *Р. А. Замаева*  
Корректор *Г. М. Гельфер, М. П. Зажигина*  
и *А. Х. Салтанаева*

Сдано в набор 27/II 1962 г. Подписано к печати 14/V 1962 г. РИСО АН СССР № 24—122 В. Формат бумаги 60×90/16. Бум. л. 13. Печ. л. 26=26 усл. печ. л.+6 вкл. Уч.-изд. л. 27.26+6 вкл. (1.1 уч.-изд. л.). Изд. № 1470. Тип. зак. № 577. М-37322. Тираж 1500.

*Цена 1 р. 90 к.*

Ленинградское отделение Издательства Академии наук СССР  
Ленинград, В-164, Менделеевская лин., д. 1

---

1-я тип. Издательства Академии наук СССР  
Ленинград, В-34, 9 линия, д. 12

1-ТИПОГРАФИЯ  
ИЗДАТЕЛЬСТВА АКАДЕМИИ НАУК СССР  
Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

---

**КОНТРОЛЕР № 1**

При обнаружении недостатков в книге  
просим возвратить книгу вместе  
с этим ярлыком для обмена

