



КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ

Crystal structures of minerals

Sir Lawrence Bragg and G. F. Claringbull

With a chapter by W. H. Taylor

LONDON

G. BELL AND SONS LTD

1965

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Фундаментальные

труды

зарубежных

ученых

по

геологии,

геофизике

и

геохимии

У. Л. Брэгг, Г. Ф. Кларингбулл

СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

Издательство

«МИР»

Москва

1967

Б-897

180

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

*В. Б. Александрова, М. Т. Дмитриевой,
В. А. Дрица, Н. И. Органовой, С. В. Соболевой*

ПОД РЕДАКЦИЕЙ И С ПРЕДИСЛОВИЕМ

д-ра геол.-мин. наук В. А. Франк-Каменецкого

Предлагаемой вниманию читателей книгой У. Л. Брэгга и Г. Ф. Кларингбулла «Кристаллическая структура минералов» геологическая редакция издательства «Мир» открывает публикацию подписной серии под названием «Науки о Земле. Фундаментальные труды зарубежных ученых по геологии, геофизике и геохимии». Предполагается, что серия будет многотомной. Распространение книг будет производиться по подписке — выборочно или на всю серию в целом в зависимости от желания подписчика. Это позволит установить тиражи в соответствии с действительным спросом на каждую данную книгу. Таким образом, советские ученые, занимающиеся науками о Земле, смогут более широко ознакомиться с самыми интересными и важными работами иностранных авторов. Подборные проспекты о книгах серии, выходящих в 1967 г., можно получить в магазинах подписных изданий. Начиная выпуск этой серии, геологическая редакция надеется, что, как и в прошлом, она будет получать помощь со стороны геологической общественности нашей страны в виде советов, критических замечаний, пожеланий. Всю корреспонденцию подобного рода просим направлять по адресу: Москва, И-278, 1-й Рижский пер., 2, издательство «Мир», редакция литературы по вопросам геологических наук.

Редакция литературы по вопросам геологических наук



ПРЕДИСЛОВИЕ

Данные о кристаллической структуре минералов, которые были получены за последние пятьдесят лет методами рентгеноструктурного анализа, легли в основу таких различных областей знания, как геолого-минералогические (минералогия, петрография, геохимия и др.), физические (физика твердого тела, оптика и др.) и химические науки (кристаллохимия, стереохимия и др.). Без глубокого понимания структуры минералов невозможны какие-либо существенные достижения в области изучения земной коры, выявления характера распределения минералов и горных пород, познания законов формирования месторождений полезных ископаемых.

Предлагаемая советскому читателю книга «Кристаллическая структура минералов» написана корифеем в области структурных исследований минералов сэром Лоуренсом Брэггом совместно с Г. Ф. Кларингбуллом и при участии У. Х. Тейлора. Она является четвертым томом серии «Кристаллическое состояние», издание которой начато еще в 1933 г. в Англии под редакцией У. Г. и У. Л. Брэггов. Первые три тома этой серии были переведены на русский язык и хорошо известны советскому читателю. Том 1, написанный автором настоящей книги У. Л. Брэггом¹, посвящен общим вопросам кристаллического строения вещества и методам его исследования; автором второго тома, в котором рассматриваются оптические принципы дифракции рентгеновских лучей в кристаллических и аморфных телах, является Р. Джеймс². В третьем томе, написанном Г. Липсоном и В. Кокреном³, изложены методы определения структуры кристаллов по данным рентгеновской дифракции.

Четвертый том этой серии — «Кристаллическая структура минералов» — издан в Англии совсем недавно — в 1965 г. За 35 лет, которые прошли со времени опубликования первого тома, созданный Брэггами (отцом и сыном) метод рентгеноструктурного анализа кристаллов коренным образом преобразился. В исследования кристаллической структуры дифракционными методами включился огромный коллектив ученых. Полученные ими результаты настолько обширны, что их невозможно охватить в одном томе, как это предполагалось ранее при составлении общей программы серии. В связи с этим в четвертый том, который пред-

¹ Кристаллическое состояние. Под общей редакцией У. Г. Брэгга и У. Л. Брэгга. Том 1. Брэгг У. Л. Общий обзор. Перевод с английского, ОНТИ, 1938.

² Кристаллическое состояние. Под редакцией Л. Брэгга. Том 2. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей. Перевод с английского, ИЛ, 1950.

³ Кристаллическое состояние. Под редакцией Л. Брэгга. Том 3. Липсон Г., Кокрен В. Определение структуры кристаллов. Перевод с английского, ИЛ, 1956.

ставляет собой переработанный вариант книги Л. Брэгга «Атомная структура минералов», опубликованной в США в 1937 г.¹, помещены данные по структурам лишь наиболее распространенных минералов. В конце каждой главы приводится список минералов, структуры которых, хотя и не описаны в настоящей книге, рассматриваются в работах других авторов, опубликованных не позже 1963 г.

Книга открывается двумя краткими разделами (гл. 1 и 2), которые знакомят читателя с некоторыми данными по структурной кристаллографии, кристаллохимии и геохимии. В них изложены только самые основные представления о геометрической характеристике кристаллических структур (пространственная решетка, решетки Браве, точечные и пространственные группы симметрии) и о факторах, влияющих на особенности их кристаллохимической конституции (силы связи, размеры ионов, координации, комплексные ионы, правила Паулинга, изоморфные замещения). В конце вводной части еще более кратко рассмотрен вопрос о распределении химических элементов в земной коре. Как указывают авторы в предисловии, они умышленно опустили изложение методики рентгеновского определения кристаллических структур, поскольку этому вопросу целиком посвящен написанный Г. Липсоном и В. Кокреном третий том серии, который в ближайшем будущем выйдет из печати (в Англии) в новом переработанном и дополненном издании.

Основные главы книги, посвященные описанию структур минералов (гл. 3—15), составлены исключительно мастерски. Удачно выбраны и детально описаны структуры наиболее важных минералов и минеральных групп из классов элементарных веществ (гл. 3), галогенидов (гл. 4), сульфидов и арсенидов (гл. 5), простых и сложных окислов (гл. 6), карбонатов, сульфатов, ванадатов, фосфатов, арсенатов, молибдатов и боратов (гл. 7). Особенно детально рассмотрены наиболее распространенные минералы из класса силикатов и алюмосиликатов, которым отведено по объему более половины книги (гл. 8—15). Такой повышенный интерес к силикатным минералам вполне оправдан, если учесть долю их участия в строении земной коры и ту решающую роль, которую при изучении их конституции сыграл рентгеноструктурный анализ. Вводный раздел этой части книги (гл. 8) содержит описание широко известных структурных мотивов силикатных минералов, установленных еще тридцать лет назад классическими исследованиями, проводившимися в манчестерской лаборатории У. Л. Брэгга (1926—1931). Он дополнен данными Л. Паулинга по мотивам слоистых силикатов. К сожалению, авторы не учитывают данных «Второй главы кристаллохимии силикатов», кристаллохимии силикатов и алюмосиликатов с крупными катионами, которая, как известно, была разработана в основном в нашей стране структурно-кристаллохимической школой академика Н. В. Белова. Этот существенный пробел советский читатель легко восполнит, если он обратится к известной монографии Н. В. Белова «Кристаллохимия силикатов с крупными катионами» (Изд. АН СССР, Москва, 1961), которая недавно была переведена на английский язык. В этой работе содержится описание многих новых «не классических» мотивов слоистых, цепочечных, ленточных и каркасных силикатов².

¹ Bragg W. L., 1937. Atomic Structure of Minerals, Cornell University Press, Ithaca, USA.

² Кроме книги Н. В. Белова «Кристаллохимия силикатов с крупными катионами», в которой приведена подробная библиография, см. его же «Очерки по структурной минералогии», которые начиная с 1949 г. публикуются в издаваемых Львовским университетом «Минералогических сборниках».

Изложение материала в тех главах книги Брэгга и Кларингбулла, в которых описываются отдельные силикатные минералы и их кристаллические структуры, построено в основном по классическим принципам Брэгга — Паулинга. Последовательно рассматриваются силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами (гл. 9), силикаты алюминия (гл. 10), силикаты со сдвоенными тетраэдрами и кольцевые силикаты (гл. 11), цепочечные силикаты (гл. 12), слоистые силикаты и алюмосиликаты (гл. 13), каркасные силикаты (гл. 14—15).

Как уже отмечалось выше, читатель найдет в данной книге описания структур только наиболее распространенных или интересных в кристаллохимическом отношении минералов. Авторы используют новейшие данные об описываемых структурах минералов и, как правило, опираются на наиболее надежные и полные структурные определения. Там, где это необходимо, авторы приводят различные, иногда противоречивые сведения об атомном строении некоторых минералов (например, турмалина), дают необходимые ссылки на работы, в которых надежно экспериментально обоснованы структурные выводы. Будучи основным участником и свидетелем становления структурной минералогии, У. Л. Брэгг приводит в отдельных местах своей книги интересные и ценные сведения по истории открытия важных структурных особенностей некоторых минералов и минеральных групп, восстанавливая иногда незаслуженно забытые имена первооткрывателей. В этом отношении интересны указания на старые работы Могена (1913), довольно точно обосновавшего структурную природу изоморфных замещений в слюдах; ссылка на первое, в известной степени интуитивное, объяснение своеобразных трубчатых структур серпентинов, данное Л. Паулингом еще в 1930 г., задолго до детального дифракционного исследования этого интересного явления, проведенного Уиттекером (1953) и другими. Правда, не всегда история открытия кристаллохимических особенностей минералов освещается в книге вполне объективно. Ничего не сказано о Ю. В. Вульфе, который в начале двадцатых годов на основании изучения эпитаксии иодистого калия и слюды предсказал структурный мотив мусковита. Не всегда должным образом оценивается роль Н. В. Белова и его школы в развитии наших представлений о структуре силикатов.

Приводимые в книге описания кристаллических структур минералов исключительно просты и доходчивы, но в то же время строги и исчерпывающи. В большинстве случаев они сопровождаются четкими графическими изображениями структур, многие из которых оригинальны. При описании структур отдельных минералов авторы приводят их относительно полную структурно-геометрическую характеристику, которая включает анализ симметрии структуры (федоровская группа и расположение элементов симметрии в структурном мотиве), межатомные расстояния и пределы их колебаний, координационные полиэдры, их форму, искажения и т. д. В то же время в книге отсутствуют такие важные характеристики кристаллических структур минералов, как координаты атомов, полные данные о межатомных расстояниях. Описание структур является чисто геометрическим. Данные о характере химической связи, атомных конфигурациях и их роли в формировании тех или иных структурных мотивов не нашли должного отражения в книге, хотя они и приобретают все большее значение в современной структурной минералогии¹. Эти недочеты

¹ См., например, Григорьев Д. П., 1966. Основы конституции минералов, изд. II. Изд-во «Недра».

в известной степени оправдываются отмеченным авторами в предисловии основным назначением книги — служить необходимым дополнением к курсу минералогии для студентов высшей школы. В этом отношении очень ценны те разделы книги, в которых на основании данных о кристаллической структуре минералов авторы пытаются объяснить их физические свойства, морфологию и колебания состава. Здесь следует указать на структурное обоснование природы спайности (гипс, слоистые силикаты и др.), оптических свойств (кальцит), законов двойникования (арагонит, полевые шпаты, кварц и др.), морфологических особенностей (хризотилы, полевые шпаты и др.). В гл. 14 читатель найдет глубокий кристаллохимический анализ структурных соотношений в минералах группы полевых шпатов, осуществленный крупнейшим специалистом в этой области проф. У. Х. Тейлором с учетом самых последних данных. Здесь с большей полнотой, чем в других разделах книги, дана структурная характеристика этой, исключительно важной и весьма сложной минеральной группы. С большой объективностью и исчерпывающей полнотой рассмотрены структуры отдельных представителей группы, природа изоморфных замещений в них и весьма важный вопрос о характере упорядоченности кремнекислородных и алюмокислородных тетраэдров в полевошпатовых структурах.

Поскольку настоящая книга представляет собой учебное пособие для студентов и молодых специалистов, а не полный справочник по структурам минералов, редактор счел излишним вносить в русский перевод какие-либо существенные дополнения и ограничился только самыми необходимыми примечаниями. При редактировании перевода мы старались сохранить стиль изложения авторов, хотя он и не полностью однотипен в отдельных разделах книги. Редактор не счел возможным вносить изменения и в названия минералов, хотя в некоторых случаях они не вполне соответствуют отечественной терминологии.

Предлагаемая вниманию советского читателя книга, несомненно, найдет широкий круг читателей как среди студенческой молодежи, так и среди специалистов-минералогов. Авторы сумели отобрать наиболее важный для минералога материал по структурам минералов и изложили его в строго научной и в то же время достаточно популярной форме. Уместно отметить, что данные по структурам минералов, которые приводятся в отечественных и зарубежных руководствах по минералогии, часто неточны и не могут служить основой для глубокого изучения структурной минералогии. Между тем этот раздел минералогии за последнее время начинает приобретать все большее значение, и без его глубокого усвоения невозможно готовить кадры минералогов и геологов на современном научном уровне. Несомненно, данная книга в известной степени восполнит этот пробел.

Очень большую помощь при переводе и редактировании книги оказал Б. Б. Звягин, которому редакция приносит свою искреннюю благодарность.

В. Франк-Каменецкий

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Нас очень обрадовало сообщение, что «Кристаллическая структура минералов» выходит в русском переводе. Мы надеемся, что наши русские коллеги—минералогии и кристаллографы—найдут эту книгу интересной и полезной.

Старший из авторов (У. Л. Брэгг) с удовольствием вспоминает, что свое первое почетное научное звание он получил в 1914 г., когда он был избран почетным членом Санкт-Петербургского минералогического общества.

Декабрь 1966 г.

*У. Л. Брэгг
Г. Ф. Кларингбулл*

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ

Один из авторов настоящей книги У. Л. Брэгг весной 1934 г. был приглашен химической лабораторией Корнуоллского университета в качестве временного профессора-лектора. Прочитанный им курс лекций не был издан, как это обычно практиковалось, поскольку вопросы, освещенные на лекциях, были достаточно полно изложены в незадолго до этого опубликованном первом томе книги «Кристаллическое состояние». К тому времени рентгеноструктурный анализ позволил выявить расположение атомов в большинстве важнейших структур минералов. Поэтому вместо прочитанного курса лекций была издана книга «Атомная структура минералов», содержащая анализ почти всех основных типов структур. Она была опубликована в феврале 1937 г. издательством Корнуоллского университета в Америке и издательством Оксфордского университета в Великобритании.

Примерно десять лет назад авторы сделали попытку пересмотреть содержание книги и привести его в соответствие с новейшими данными. Эта задача потребовала гораздо больше времени и усилий, чем первоначально предполагалось. Если в первой книге, изданной тридцать лет назад, были описаны почти все структуры минералов, расшифрованные к тому времени, то в настоящей работе просто невозможно было проанализировать всю совокупность полученных по структурам минералов данных, хотя в нее включены описания многих новых структур. Вследствие этого

авторы приводят результаты исследования структур наиболее распространенных и важных минералов, а также минералов с особенно интересными и необычными структурами, а в конце каждой главы помещают перечень всех других структур минералов, расшифрованных к концу 1963 г. Авторы надеются, что благодаря этому книга может быть использована как в качестве основного пособия для студентов, так и в качестве справочника для более квалифицированных исследователей. В первом издании были кратко рассмотрены методы рентгенографического анализа. В настоящее время они достаточно подробно описаны в ряде других работ, вследствие чего авторы нашли возможным исключить их описание из второго издания.

Авторы весьма признательны д-ру У. Г. Тейлору, согласившемуся написать главу о полевых шпатах. Д-р Тейлор внес выдающийся вклад в изучение кристаллических структур этой группы минералов; он и его ученики разрешили почти все сложные противоречия и неясности, с которыми сталкивались исследователи при изучении большинства разновидностей полевошпатовых структур.

Авторы выражают благодарность м-ру Р. Т. У. Аткинсу, мистрисс М. Левесконтэ и м-ру В. М. Гартону за помощь при оформлении рисунков, а также мистрисс М. И. Когей за подборку и проверку ссылок. Особую благодарность авторы выражают мисс Еве Фиджер за предварительную работу по подготовке списка всех определенных к настоящему времени кристаллических структур минералов, который позволил сделать содержание книги достаточно полным, за проверку ссылок и данных по элементарным ячейкам во время правки корректуры и, наконец, за составление указателя. Авторы признательны также м-ру А. У. Реди и м-ру Х. Гадевей из фирмы «Белл энд Санз» за их неизменную помощь, советы и поддержку.

У. Л. Брэгг

Г. Ф. Кларингбулл

Сентябрь 1964 г.

Примечание к главе 14. При написании настоящей главы в январе 1962 г. передо мной стояла задача не только дать общий обзор основных особенностей полевошпатовых структур, выявленных к этому времени, но также описать и проанализировать наиболее важные характеристики этих структур, полученные в результате точного анализа мельчайших деталей, отличающих одну полевошпатовую структуру от другой. Эта задача могла быть осуществлена лишь благодаря тесному сотрудничеству многочисленных исследователей, занимающихся изучением структур полевых шпатов. Многие ученые любезно позволили мне использовать результаты их исследований, еще не опубликованные ко времени написания книги. В связи с этим я выражаю глубокую благодарность д-ру С. У. Бейли, д-ру С. Г. Флиту, д-ру Р. Гекс, д-ру Дж. Б. Джонесу, д-ру К. Дж. И. Кемпстеру, д-ру И. У. Радословичу, д-ру Р. Х. Риббе и д-ру Э. Д. Могоу. Я должен поблагодарить всех своих коллег за предварительное прочтение текста, во время которого было сделано много ценных замечаний, способствовавших его улучшению.

У. Г. Тейлор

