

**А. Е. Ферсман**

# **Кристаллография алмаза**

**Классики науки**

**Москва  
«Книга по Требованию»**

УДК 54  
ББК 24  
А11

**А. Е. Ферсман**

А11 Кристаллография алмаза: Классики науки / А. Е. Ферсман – М.: Книга по Требованию, 2024. – 531 с.

**ISBN 978-5-458-33032-9**

Публикуемые в данной книге работы академика Александра Евгеньевича Ферсмана по кристаллографии алмаза занимают видное место в мировой литературе, посвященной этому замечательному минералу. Особенной известностью пользуется монография „Алмаз“, по праву считающаяся классической. В основе всего этого сочинения лежит положение, согласно которому кристалл не является просто геометрическим телом. Кристаллическое тело нельзя оторвать от той обстановки, в которой протекал его рост. Вещество и его концентрация, а также термодинамические условия образования налагают на поверхность и форму кристалла свой отпечаток. „Кристалл неизбежно 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“.

**ISBN 978-5-458-33032-9**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2024  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.





---

## ПРОБЛЕМЫ АЛМАЗА

С вопросами кристаллизации и происхождения алмаза связаны проблемы исключительного интереса и важности. Во всей длинной истории исследования этой тетраэдрической разности кристаллического углерода алмаз вполне оправдывал свое название, которое было ему дано еще греками — *ἀδάμας*; это слово в переводе означает неукротимый, недоступный, и мы видим, что недоступность проходит красной нитью через всю историю этого минерального вида, так как он всегда и везде упорно не поддавался ни руке шлифовальщика, ни сильнейшим реактивам химика, ни пытливому уму ученого.

Когда в XIII в. индийские алмазы наводнили рынки Европы ювелиры упорно не могли справиться с огранкой этого красивого камня, пока только в конце XV в. голландец Ван-Беркем не дошел до мысли шлифовать камни друг о друга; при этом он самостоятельно повторил тот способ, которым давно уже пользовались в Индии и о котором знал еще Плиний, когда писал, что алмаз может быть обработан лишь другим алмазом.

Упорно не поддавалась выяснению и химическая природа этого загадочного тела. Хотя еще Ньютон в своей „Оптике“ (1704) высказал предположение, что алмаз должен быть минералом горючим, тем не менее его состав оставался долгое время невыясненным и давал повод к предположению, что он состоит из особого элемента — *terra adamantina*. Но эти догадки были разрушены только в самых последних годах

XVIII в., когда Лавуазье в исключительной по простоте и гениальности работе указал на связь его с углеродом, а Краузе только 20 лет тому назад окончательно подтвердил это на основании точных химических данных.

Не поддавались исследованию и месторождения алмазов. В незапамятной древности, о которой нам повествуют священные индийские книги Веды, таинственными путями попадал этот драгоценный камень в города и рынки более культурных частей Индии. Только с начала XVIII в. открылись для человека богатейшие месторождения Бразилии, но и здесь среди бесплодных и скалистых областей провинции Диамантина он встречался в наносах песков и конгломератах, упорно скрывая свое первоначальное происхождение.

Случайная находка алмаза в Южной Африке впервые открыла человеку одно из наиболее важных его природных скоплений, и уже в 1872 г. в первых исследованиях алмазных воронок мы видим указание на то, что алмаз образуется в природе из расплавленных масс.

Упорно не поддавалась выяснению и сама картина происхождения алмаза. Упорно и долго держалась научная мысль за растительное происхождение его, и монография Гепперта, специально посвященная доказательству связи алмаза с растительными организмами, еще в 60-х годах<sup>[1]</sup> была удостоена высших наград со стороны нидерландских ученых обществ. Только открытия южноафриканских воронок и метеоритов с алмазами заставили изменить это вкоренившееся в научный обиход мнение.

Не поддавался и не поддается алмаз искусственному получению его в лаборатории. Отдельные попытки Муассана, Гасслингера и Фридлэндера не решили этой проблемы, хотя и несколько приблизились к ней, получив микроскопические кристаллики минерала, весьма близко стоящего по свойствам к природному алмазу.

Трудно поддается алмаз разрушению или химическому изменению. Тщетны попытки найти для него растворитель

при обыкновенных температурах, не известны нам реактивы, которые разлагали бы его при обычной обстановке. Только выше  $800^{\circ}$  мы можем сжечь его или же окислить, обрабатывая сплавом селитры. Химически он упорно не поддается разрушению, и благодаря этой устойчивости и огромной твердости алмаз недаром еще в древности сделался символом постоянства.

Наконец, не поддавался алмаз и кристаллографическому исследованию. В противоположность подавляющему большинству других природных кристаллов, алмаз по большей части ограничивается округлыми, искривленными поверхностями, исследование которых долгое время было недоступно обычным методам кристаллографических измерений.

В целом ряде вопросов, связанных со свойствами и происхождением алмаза, природа упорно хранила загадочность и недоступность, и только за последние годы несмелыми шагами раскрывает минералогия и физическая химия тайну его истории на земле.

А между тем все эти вопросы, связанные с алмазом, имеют не только огромное теоретическое, но и практическое значение.

Из предмета роскоши и украшения алмаз превращается ныне в могучее орудие техники; ни один кристаллик этого вещества, как бы некрасив и невзрачен он ни был, не пропадает в руках человека: лучшие и наиболее чистые кристаллики распиливаются и шлифуются в бриллианты; другие вставляются в коронки буровых инструментов, разламываются по спайности в игло́чки для гравировки, шлифуются в плоские розы; третьи измельчаются в порошок для шлифовки твердых драгоценных камней и самого алмаза. Даже маленькие камни стоят раз в 200—300 дороже равных им по весу драгоценных металлов платины и золота, а большие камни по своей цене прямо несравнимы с ценой других редких элементов.

Каждый год добывается алмазов более чем на  $\frac{1}{4}$  миллиарда рублей, и эта цифра среди природных выработок



полезных ископаемых может стать наравне с цифрами добычи меди и серебра.

Неудивительно поэтому, что алмаз упорно привлекает исследователей и что вопрос о его происхождении и искусственном воспроизведении вырастает в целую проблему огромного теоретического и экономического значения.

### **КРИСТАЛЛЫ АЛМАЗА**

В 1908 г. профессором Гейдельбергского университета Гольдшмидтом и мною было предпринято монографическое исследование алмаза, его свойств и происхождения<sup>[2]</sup>. Первоначально нами изучались лишь кристаллографические свойства этого минерала, но своеобразная структура его плоскостей неизбежно привела нас к расширению рамок исследования, так как выяснилось, что строение кристаллов алмаза тесно связано с процессами их роста и с их происхождением.

Я уже указывал, что среди бесконечного количества природных кристаллов алмаз выделяется своими своеобразными загадочными свойствами. Обычно кристаллические многогранники ограничиваются ровными плоскостями и прямолинейными ребрами, так что прямолинейность этих элементов вошла настолько в научный обиход кристаллографа, что он смело переносит на кристаллы основные законы геометрических тел.

Эта прямолинейность была замечена еще первыми точными исследователями кристаллов, и Ромэ Делиль еще в 80-х годах XVIII ст. писал о том, что кристаллические тела именно прямолинейностью своих контуров отличаются от растительных и животных форм. Ромэ Делиль подчеркивал, как красиво проходит этот закон через все кристаллические тела природы, являясь проявлением того высшего порядка и гармонии, которые нашли свое особенно резкое выражение в природных кристаллах.

По пути, намеченному Ромэ Делилем, пошел и аббат Гаюи, его последователь в области кристаллографии и самостоятельный и выдающийся новатор в минералогии. Последовательно развивая идеи своего предшественника, Гаюи не мог не обратить внимания на те случаи, когда нарушался закон прямолинейности, и среди этих случаев его внимание привлек алмаз. Кристаллы этого вида очень редко ограничены прямолинейными ребрами, обычно они округлы, состоят из блестящих, искривленных или иштрихованных поверхностей, и эти поверхности красиво пересекаются в дугах определенных направлений, но изменчивой, непостоянной кривизны. Каждая грань кристалла несет на себе сложные и разнообразные скульптурные украшения, то бугорки, холмики, ямки, то штриховые или волнообразные искривления, то сетчатый рельеф сложного строения (см. рис. 9—17).

И во всей этой сложной картине поверхности алмаза Гаюи увидел проявление особых сил, возмущающих нормальный рост кристалликов. Разнообразие поверхностных искривлений и скульптурных украшений казалось ему столь значительным, что он даже и не пытался разгадать их геометрические законности и говорил, что всякий, кто возьмется за работу измерения кристаллов алмаза, сделает это лишь для удовлетворения собственного любопытства.

Эти слова крупного кристаллографа и минералога не могли не сказаться на всех дальнейших исследованиях кристаллов алмаза. За весь XIX в. среди огромной экспериментальной работы и накопления фактического материала в области кристаллографии кристаллы этого минерального вида оставались почти неисследованными, и только в работах Бурнона и Задебeka мы встречаем новые попытки подойти ближе к выяснению загадочных сrostков этого минерала.

Причиной такого отношения к алмазу было и то, что кристаллографические измерения затруднялись отсутствием соответственных методов для измерения округлых граней. До самого последнего времени кристаллографы измеряли кристаллы

в обычных гониометрах с одним кругом. Каждая грань кристалла, как плоское зеркальце, отражала луч света в определенном направлении, и это направление, отсчитываемое по кругу с делениями, давало возможность судить о величине тех двугранных углов, которые образуют между собой две соседние грани.

Но для измерения искривленных поверхностей кристаллов алмаза этот старый метод являлся неприменимым; необходимо было воспользоваться иными приемами измерений, а именно теми, которые уже с 90-х годов начинают проникать в кристаллографию и получили наименование теодолитного метода. Этот метод заимствовал из астрономии основные принципы измерений, отсчетов и вычислений; каждая грань кристалла или, вернее говоря, каждый отраженный от нее луч света получил свое место в той воображаемой сфере, которую мы представляем себе описанной вокруг кристаллика. Такая сфера в нашем представлении покрывается отдельными точками, как звезды на небе, а относительное положение этих точек отвечает положению соответствующих им граней кристалла. Необходимо лишь измерить это положение по двум координатам, как делают астрономы по склонению и прямому восхождению или как делают географы по широте и долготе, нанести эти точки на бумагу, и мы получим проекцию кристалла аналогично нашим географическим или астрономическим картам.

Именно этот метод дает возможность произвести точные измерения кристаллов алмаза. Всякая плоская грань дает в гониометре картину отраженного параллельного пучка света в виде точки. Если эта грань цилиндрически искривлена в одном направлении или покрыта параллельной штриховкой, то картина отраженного луча вытягивается в линию; в зависимости от выбранного типа проекции такой луч примет форму дуги большого круга или прямой (подобно меридианам или параллелям наших карт). Наконец, если поверхность искривлена наподобие выпуклого зеркала, то в проекции отражен-

ный луч примет форму светового поля, наподобие Млечного Пути на картах звездного неба. Сложный кристаллический многогранник со всей своей своеобразной структурой находит себе выражение в картинах отраженного луча, и эти картины, получаемые путем измерения многих десятков или даже сотен точек, являются лишь особым геометрическим выражением самого многогранника. Прилагаемые рисунки иллюстрируют несколько типов кристаллов алмаза и дают соответственные проекции отраженных лучей света.

Только этим путем удалось получить точные измерения кристаллов алмаза. В то время как для большинства природных кристаллов мы получаем проекцию, состоящую из точек, отвечающих плоским граням, кристаллы алмаза дают красивые и сложные картины переплетающихся линий, дуг, полей, точек и звезд. Вся эта картина, красивая в проекциях, еще более красивая в самой трубе гониометра, является отражением сложной, запутанной структуры блестящей поверхности.

Но измерение кристаллов алмаза составляло лишь первую задачу исследования. Необходимо было разобраться в этих картинах, выяснить значение и происхождение этих запутанных явлений, связать их с определенными геометрическими или генетическими закономерностями.

Эта задача прежде всего заставила вспомнить о том, что кристалл не является просто геометрическим телом, как его рассматривали Ромэ Делиль или Гаюи; его нельзя оторвать от той обстановки, в которой протекал его рост; он органически связан с бесконечным количеством факторов и явлений, окружавших его в период кристаллизации, и все эти факторы и условия налагают на его поверхность свой отпечаток. Кристалл неизбежно 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.

Такова та основная мысль, которая заставила нас смотреть на алмаз с точки зрения истории его происхождения,

и прежде всего перед нами возник вопрос, каким условиям прошлого этого минерала могут отвечать эти своеобразные скульптурные украшения его многогранников.

Ответ на этот вопрос явился несколько неожиданным, так как выяснилось существование закономерностей, связывающих его кристаллическую форму с происхождением и образованием в недрах земли.

## **ЗАКОНЫ РОСТА И РАСТВОРЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ**

В истории кристалла, как и каждого природного тела, мы можем различать явления роста и созидания и явления разрушения, гибели. В обыденной жизни при характеристике организованного мира мы привыкли отчетливо резко отличать эти явления, и, как глубокая антитеза, всегда встают перед нами и вокруг нас вопросы жизни и смерти. Но в области неорганизованной природы это различие является значительно более трудным и менее доступным нашему пониманию. Установление точного критерия для различия этих двух разнородных по существу и обратных по знаку процессов в кристалле является иногда настолько трудным, что требует серьезной и вдумчивой работы.

Когда кристалл находится в растворе, то на его поверхности происходит сложная работа: одни частицы кристаллического вещества откладываются на ней, другие обратно переходят в раствор. Среди этого постоянного круговорота результат кристаллизации зависит от относительного количества тех и других частиц. Если больше откладывается, то многогранник увеличивается, каждая его грань постепенно отодвигается от центра параллельно самой себе, кристалл растет. Но если большее количество частиц переходит в раствор обратно, то кристалл уменьшается в весе, его грани деформируются — он растворяется.

Таким образом, и в кристаллическом веществе можно подметить два противоположных по типу процесса, и уже давно,

еще с начала XIX ст., исследователи старались выяснить коренные различия между ними.

Когда кристалл растет, он обычно покрывается плоскими гранями, в общем случае ограниченными прямолинейными ребрами. Соотношение этих граней можно рассматривать с точки зрения геометрии, и в проекции<sup>1</sup> сам кристалл нам представляется в виде сети точек, расположенных по опре-

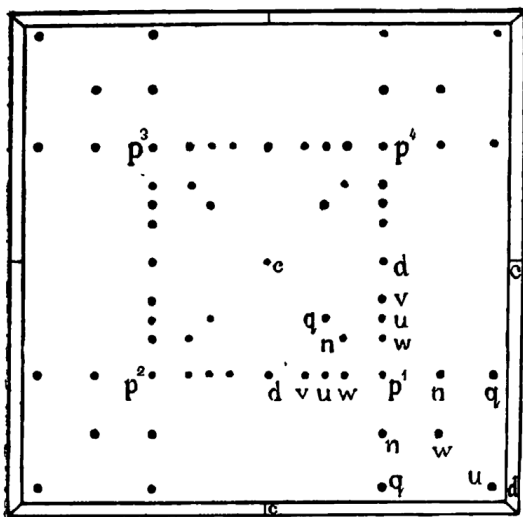


Рис. 1.

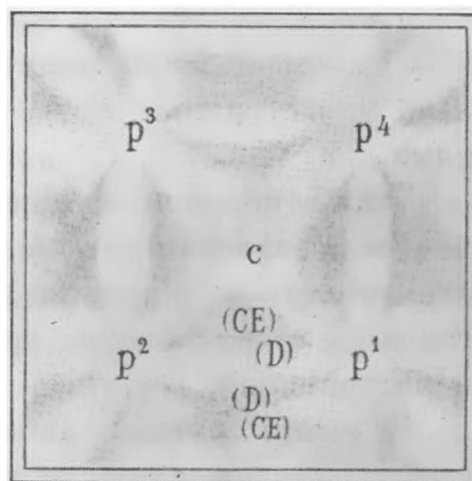


Рис. 2.

деленным линиям — зонам кристалла. Если мы на такую проекцию нанесем все те грани, которые когда-либо наблюдались в данном веществе, то мы получим общую картину его форм роста (например рис. 1 для кристаллов алмаза). В этой картине сразу выступают наружу некоторые преобладающие направления, усеянные точками, и эти направления являются точно так же характерными для каждого данного химического соединения.

Какая же картина лучей будет типичной для тех кристаллов, которые растворяются? Ее нетрудно видеть и по-

<sup>1</sup> Я буду в дальнейшем говорить об одном частном случае проектирования, а именно о гномонической проекции.

<sup>2</sup> А. Е. Ферсман