

М. О' Д О Н О Х У

КВАРЦ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Butterworths Gem Books

QUARTZ

Michael O'Donoghue

Butterworths
London Boston Durban Singapore
Sydney Toronto Wellington

М. О' Д О Н О Х У

КВАРЦ

Перевод с английского
канд. геол.-мин. наук
В. Б. Александрова

5257



Москва «Мир» 1990



ББК 26.325.2
044
УДК 553.2

О'Доноху М.

044 Кварц: Пер. с англ.— М.: Мир, 1990.— 136 с., ил.
ISBN 5-03-001287-7

Одна из книг геммологической серии английского издательства «Баттеруорс», посвященной описанию драгоценных и поделочных камней. Написана известным минералогом из Великобритании. В книге рассматриваются кристаллические и массивные минералы семейства кварца, вопросы генезиса этих минералов в земной коре, основные сведения о химии кварца, его полиморфизме, особенностях структуры, кристаллографии и ряде физических свойств, среди которых наибольшее внимание уделено цвету и оптическим характеристикам. Значительное место в книге отведено вопросам определения природного или искусственного происхождения образцов различных разновидностей кварца.

Для геммологов, минералогов, геологов, ювелиров, работников музеев, реставраторов и коллекционеров.

О $\frac{1804020200-144}{041(01)-90}$ 84-90

ББК 26.325.2

Редакция литературы по геологии и геофизике

ISBN 5-03-001287-7 (русск.) © Butterworth & Co (Publishers) Ltd. 1987
ISBN 0-408-01462-8 (англ.) © перевод на русский язык, Александров В. Б., 1990

От редакции

Предлагаемая вниманию читателя книга входит в геммологическую серию по ювелирным и поделочным камням, выпускаемую английским издательством «Баттеруорс». В ней приводятся краткие сведения об условиях образования кварца в природе и номенклатуре минералов семейства кремнезема, круг которых ограничен в основном различными разновидностями кварца. В их число входят авантюрин, «тигровый глаз», яшма и кварцит, являющиеся по существу не минералами, а поделочными камнями, состоящими из разных минералов. Наряду с ними рассматривается и халцедон. В книге обсуждаются также кристаллохимия и кристаллография кварца, его важнейшие физические и оптические свойства. Кратко характеризуются наиболее известные месторождения этого минерала на различных континентах. Описываются способы диагностики разновидностей кварца и их использование в ювелирном деле.

Книга написана хорошим доступным языком и не ставит своей задачей детальное и всестороннее рассмотрение отдельных характеристик минералов. Это скорее очерки по тем или иным вопросам, связанным с образованием и свойствами кварца, в которых приведены многочисленные и в ряде случаев малоизвестные факты. Книга отличается весьма изящным и компактным обобщением накопившегося к настоящему времени материала, проиллюстрированного конкретными примерами. Ее ценность заключается также в том, что в ней приведен большой фактический материал, мало известный советским читателям. Книга рассчитана не только на специалистов по минералогии, но и на ювелиров, работников музеев и коллекционеров-любителей.

Предисловие

В книге столь небольшого объема чрезвычайно трудно охватить все, что касается кварца, даже если оставить в стороне его использование в ювелирном деле. Кварц встречается практически везде, а его месторождения настолько различны по типу и качеству самого минерала, что в каждом отдельном случае невольно приходится отмечать лишь наиболее существенное. Кварц широко используется в промышленности и науке. Сферы его применения столь многочисленны, что о многих из них мы можем упомянуть в этой книге лишь вкратце. Для отдельных регионов существуют специальные путеводители, в которых коллекционеры и старатели могут найти сведения о местонахождении месторождений кристаллов кварца. В данной книге не представляется возможным привести детальное описание всех месторождений.

Помимо широкой распространенности кварц, несмотря на простой химический состав, демонстрирует такое разнообразие форм и цветов, что никакой обзор всех его разновидностей нельзя считать исчерпывающим. В данной книге я попытался охватить все разновидности кварца, имеющие декоративное значение.

М. О'Доноху

Краткий перечень констант и характеристик кварца

Показатель преломления	Двупреломление	Дисперсия	Удельный вес	Твердость
Кварц 1,544–1,553	0,009	0,013	2,651	7
Халцедон 1,53–1,54	—	—	2,58–2,64	6,5

Кварц

Разновидности

Горный хрусталь (бесцветный), аметист (фиолетово-пурпурный), цитрин (от желтого до коричневого), розовый кварц (розовый, иногда с блестками), авантюрин (беловатый с сильным зеленым отблеском), праз (луково-зеленый), «тигровый глаз» и «ястребиный глаз» (полосчатые; от желтого до коричневого и синий соответственно, непрозрачные; псевдоморфозы по крокидолиту), яшма (темноокрашенная, обычно от красноватой до коричневой, непрозрачная), кварцит (беловатая тонкозернистая порода, непрозрачный)

Габитус

Одиночные кристаллы горного хрусталя, аметиста, цитрина и (реже) розового кварца встречаются в виде призм, оканчивающихся ромбоэдрами. На гранях призм наблюдается горизонтальная штриховка. Кристаллы могут относиться к левой или правой форме. Другие разновидности – чаще всего массивные

Плеохроизм

Ярко выражен в аметисте (синий, красновато-фиолетовый)

Месторождения

Почти во всех типах пород в большинстве стран

Халцедон

Разновидности

Агат (с чередующимися концентрическими светлыми и темными полосами, просвечивающий), кровавик (темно-зеленый с красными крапинами, непрозрачный), халцедон (серый или синий без полос, просвечивающий; зеленая хромистая разновидность)

называется мторолитом и обладает спектром поглощения хрома); хризопраз (яблочно-зеленый, просвечивающий), карнеол (оранжево-красный до телесного, просвечивающий), огненный агат (темный агат с игрой цветов, подобной игре опала, непрозрачный), моховой агат (бледно-желтый или зеленый с дендритами роговой обманки, просвечивающий), оникс (черный и белый с прямыми полосами, просвечивающий), плазма (темно-зеленая, непрозрачная), сард (коричневато-красный, просвечивающий), сардоникс (коричневато-красный и белый с прямыми полосами, просвечивающий)

Габитус	Массивный
Плеохроизм	Отсутствует
Месторождения	Почти во всех типах пород ¹ в большинстве стран

¹ Халцедон практически не встречается в крупнокристаллических изверженных породах.— *Прим. перев.*

Происхождение кварца в земной коре

Кремний занимает второе (после кислорода) место среди химических элементов, слагающих земную кору. Эти два элемента легко реагируют между собой с образованием силикатных минералов, в частности минералов группы полевых шпатов, семейства пироксенов и амфиболов. Оставшийся после кристаллизации минералов этих групп кремний обычно образует оксид — кремнезем SiO_2 .

Изверженные породы

Кремнезем слагает до 12% литосферы и встречается главным образом в виде кварца в изверженных породах (рис. 1.1). Силикаты являются главной составной частью почти всех магматических пород, в которые входит также кремнезем. Лишь небольшое количество оксидных и сульфидных образований не содержит кремнезема. Если рассматривать временную последовательность кристаллизации магмы, начиная с высоких и переходя к более низким температурам поздних стадий кристаллизации, то обнаружится, что сложность структуры следующих друг за другом минералов увеличивается от таких ортосиликатов, как оливин, через метасиликаты пироксены к амфиболам, слюдам и полевым шпатам вплоть до образования из остаточной магмы кварца с электро-нейтральной трехмерной каркасной структурой.

В изверженных породах кварц встречается в виде бесформенных зерен, однако в риолитах, обладающих тонкозернистой структурой из-за быстрого охлаждения, можно встретить кристаллы кварца с хорошо выраженными очертаниями. Кварц реже встречается в изверженных породах умеренно кислого типа, а в нефелиновых сиенитах и некоторых темных изверженных породах, таких, как габбро и базальты, он вообще редок. Кремнезем очень легко растворяется в воде при высоких температурах и давлениях, поэтому ему просто проникнуть в уже сформировавшиеся породы самого разнообразного типа. В некоторых гранитных пегматитах отмечались кристаллы кварца массой до 634 кг; эти кристаллы имели хорошую форму и легко распознавались. Были найдены также массивные кристаллы массой до нескольких тонн с неразличимой внешней кристаллической формой.

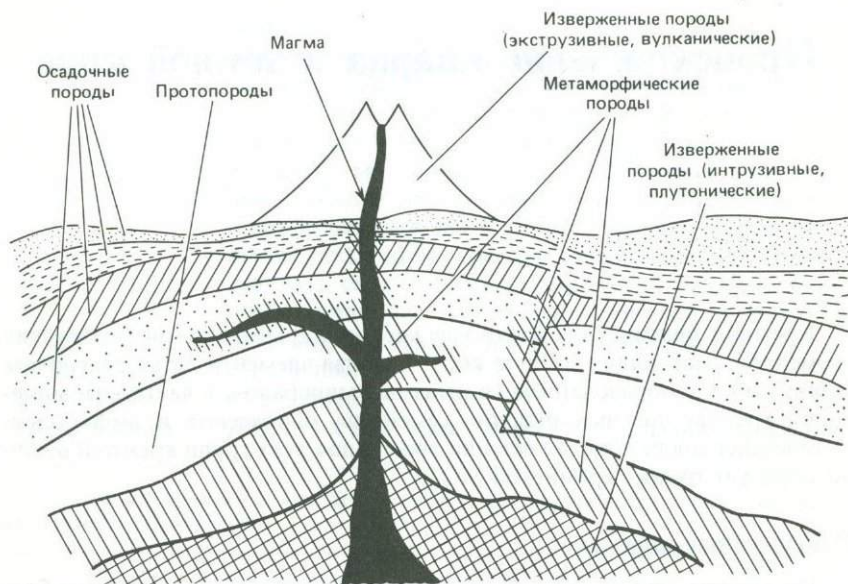


Рис. 1.1. Схема относительного расположения изверженных, осадочных и метаморфических пород. Кварц широко распространен в изверженных и метаморфических породах. Осадочные и изверженные породы рассекаются кварцосодержащими жилами.

Гидротермальные жилы

Кварц часто встречается в гидротермальных жилах, и считается, что жильный кварц представляет собой более низкотемпературное образование по сравнению с другими минералами пегматитов. Чтобы дать представление о масштабах отложения кварца, обратимся к статье Смита (1958 г). По его оценке, если кварц отлагается при выполнении жилы в условиях падения температуры на 10°C приблизительно с 500°C , то для отложения одного фунта кварца через трещину должно протечь минимум 1,5 т раствора. С другой стороны, если осадочная кварцосодержащая порода претерпевает метаморфизм при 500°C и теряет 2% своей массы в виде насыщенного водного раствора кремнезема, то каждый кубический километр такой породы даст количество кремнезема, достаточное для образования 200 тыс. т жильного кварца.

Большое количество прекрасных кристаллов кварца добывается в шт. Минас-Жерайс (Бразилия). Они встречаются в пустотах или карманах внутри пластообразных тел молочного кварца.

Из-за легкости переноса кварц может отлагаться в качестве вторичного минерала в пустотах среди песчаников, известняков и других осадочных пород. В таких случаях он образует жеоды из халцедона или отдельных, видимых глазом кристаллов; как правило, образование

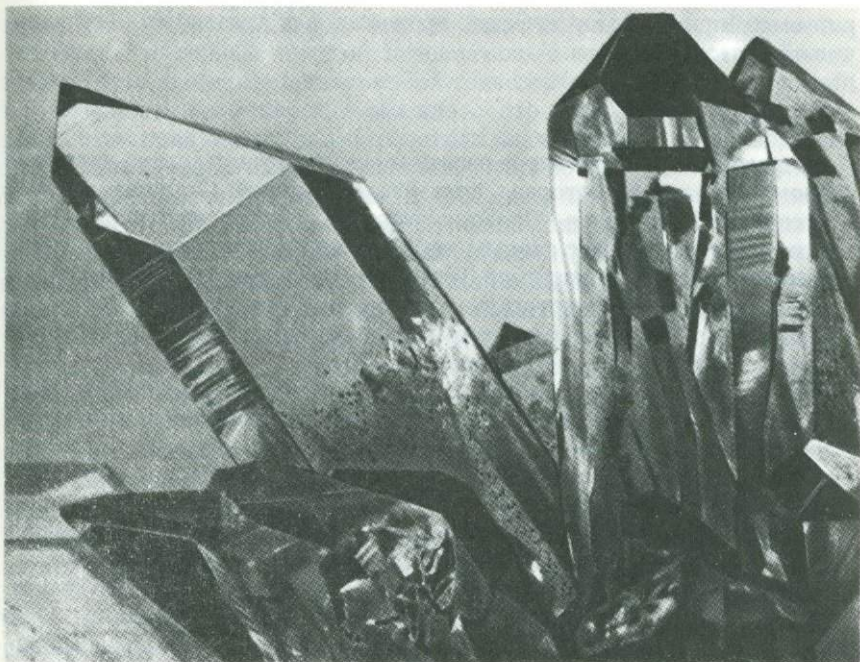


Рис. 1.2. Друза бесцветных кристаллов кварца.

микроструктурных различий кварца происходит либо за счет низкотемпературного гидротермального осаждения, либо из поверхностных вод при умеренных температурах и давлениях. Светлоокрашенный халцедон без заметной полосчатости обычно представляет собой позднее гидротермальное образование, и халцедон, как таковой, находят в измененных основных изверженных породах, иногда в ассоциации с цеолитами и карбонатами.

Прекрасные кристаллы кварца можно найти в доломитах (рис. 1.2); в частности, знаменитая разновидность горного хрусталя, известная под названием «херкимерский алмаз», найдена в шт. Нью-Йорк в месторождении именно такого типа и отличается ярким блеском и высокой прозрачностью.

Метаморфические породы

Широкое развитие кварца наблюдается также в метаморфизованных аналогах кварцсодержащих осадков и изверженных пород. Альпийские жилы, как правило, связаны с метаморфическими породами; наряду с кварцем они содержат такие характерные минералы, как сфен, рутил и флюорит. Эти минералы образуются под действием растворов, гене-

рируемых при метаморфических процессах или связанных с вулканической деятельностью.

Терминология

В течение нескольких веков название «кварц» существовало наряду со словом «хрусталь», которым пользовался Плиний Старший в своей «Естественной истории». Слово «хрусталь» применялось к разновидности, называемой ныне горным хрусталем. Оно использовалось также греческими учеными, например Теофрастом. Веками сохранялось представление, что горный хрусталь — это лед, замороженный до состояния постоянной твердости, чему, несомненно, способствовала хорошая теплопроводность кварца. Примерно до XVII в. название «хрусталь» применялось чаще всего к эвгедральным (хорошо образованным) формам кварца, а название «кварц» в течение долгого времени имело весьма ограниченное применение. Постепенно название «кварц» сделалось преобладающим для кремнезема и начало вытеснять слово «хрусталь», которое в свою очередь стали чаще использовать для обозначения любого тела с многогранной внешней формой. В то время как название «кварц» вошло в употребление для массивного материала в XVIII в., первоначальный термин «хрусталь» стал относиться к горному хрустально (*crystallus montanus*, или *Bergkrystall*). Валлериус (*Wallerius*, 1747) пользовался следующими категориями: «силекс» или «кизельштейн» (включая сюда агат и кремнистый опал); «петросилекс» или «геллефлинта» (для обозначения яшмы и некоторых типов пород); «кварц» (для различных типов окрашенного кварца и зернистых разновидностей); аметист и хорошо окристаллизованный горный хрусталь относились им к хрустальному и драгоценным камням. Название «горный хрусталь» употребляется и сейчас, а слово «хрусталь» применяется к высококачественному декоративному стеклу.

Происхождение самого слова «кварц» неясно. Впервые оно встречается в саксонских или богемских источниках XIV в.; слово «кварц» упоминается также в работе, посвященной рудным месторождениям и опубликованной в Аугсбурге примерно в 1505 г. Скорее всего слово появилось из Саксонии; считается, что оно является производным от немецкого термина *Querklutertz*, которым обозначались секущие прожилки (чаще всего богатые кварцем), распространенные в районах добычи металлических руд. Современная форма слова представляет собой сокращение этого термина. Дана (*Dana*, 1953) приводит перевод отрывка из книги Агриколы "*Bermannus sive de re metallica*" (*Agricola*, 1530): «... следующим является минерал другого рода, который, по-видимому, всегда прозрачен. Немецкие рудокопы называют его кварцем. Этот кварц иногда может быть почти белым, иногда слегка желтоватым, а иногда цвет его переходит в серый... Минерал четвертого рода гораздо тверже... В Германии он получил название «роговик». Его частицы обычно настолько тесно прорастают друг друга, что на

первый взгляд их нельзя различить». Этим, по-видимому, объясняется тот факт, что горный хрусталь первоначально не включался в понятие «кварц»; роговик представляет собой тонкозернистую просвечивающую разновидность кремнезема; возможно, в это понятие включался материал, известный сейчас под названиями «халцедон» и, вероятно, «кремень». В некоторых изданиях книги «О природе ископаемых» Агрикола отдает предпочтение латинским и греческим терминам и объединяет роговик и огненный камень (кремень) под латинским названием «силекс» (см. выше у Дана). Слова, начинающиеся с *quar-*, очень часто встречаются в работе Агриколы, и Матезиус (Mathesius, 1570) считает, что слово «кварц» произошло от слова *quaderz* (плохая, или бедная, руда).

Английская терминология. Первое упоминание слова «кварц» в Англии имело место во втором издании «Лекций о природных ваннах и минеральных водах», опубликованных Жорденом в Лондоне в 1632 г. По словам автора, «существуют также камни, именуемые шпатами; среди них, естественно, выделяются различные формы: под названием «хрусталь» – шестиугольный шпат, который датчане (и немцы) называют *Sput* или *Quertz* и который в определенных положениях сияет, как алмаз, подобно корнуолльским или бристольским камням». Эта фраза не вошла в издание 1631 г. Бристольский хрусталь представляет собой кварц (другой упомянутый материал – это скорее всего флюорит). Вебстер (Webster, 1661) говорит, что самородное золото в рудниках встречается «отчасти в чистом виде, а отчасти в виде мелких блесток, заметных на сколах белого минерала определенного типа, который на немецком языке называется кварцем». В 1652 г. в Лондоне была опубликована книга Т. Николса о драгоценных камнях. В ней не встречается название «кварц», хотя упоминается аметист; автор отмечает: «Хрусталь представляет собой хорошо известный прозрачный драгоценный камень, подобный чистой воде, застывшей в виде прозрачного совершенно правильного тела с шестью поверхностями, которые на концах стремятся сойтись в одной точке». Упоминается также бристольский «алмаз». В книге «*Mineralogia cognubiensis*» Прайса (Лондон, 1778 г.) о кварце говорится, что это твердый непрозрачный, а иногда полупрозрачный кристаллический камень. Автор приписывает название немцам и применяет его к массивным разновидностям минерала, в то время как для прозрачной разновидности использует название «хрусталь».

В «Системе природы» (1735 г.) Линней присваивает кварцу название *nitrum quartzosum* (кроме того, он использует название *crystallum*). Он считает, что кварц имеет ту же форму, что селитра, и что количество кристаллических форм, которые могут принимать минералы, относительно невелико. В первых двух изданиях «Системы минералогии» Дж. Д. Дана (Dana, 1837, 1844) кварцу было дано название «гиалус ромбоэдрус» (*hyalus rhombohedrus*). В третьем издании (1850 г.) он отказался от номенклатуры, в основе которой лежало, как и в биологии, подразделение на классы и порядки.

Разновидности кварца. Аметист. Название «аметист» восходит по

крайней мере ко времени первых классических трудов. Оно имеет греческое происхождение, и его смысл («не пьянящий») связан с представлением о способности аметиста ослаблять действие чрезмерно употребляемого алкоголя. Название может также происходить от цвета минерала, который близок, хотя и не вполне идентичен, цвету некоторых вин. Теофраст в IV в. н.э. упоминает в своих трудах как горный хрусталь, так и аметист, указывая, что они вместе с сардом (крово-красным халцедоном) встречаются при раскалывании глыб некоторых пород. Вероятно, он имел в виду, что кристаллы с кончиками аметистовой окраски могут находиться в жеодах (Дана, «Система минералогии»). Полагают, что первоначально название «аметист» применяли к широкому кругу минералов, окраски которых были близки к пурпурной, фиолетовой и розовато-лиловой. Наверняка сюда включали также корунды соответствующих цветов и некоторые из гранатов. Один из 12 драгоценных камней, составлявших орнамент на нагрудной пластине папы римского,—это аметист. Его не всегда считали разновидностью кварца. Этот факт был установлен лишь в начале XVIII в.: сперва Шейхцером в 1708 г., а позднее Роме де Лилем и Гаюи. Тем не менее уже Агрикола в «Природе ископаемых» указывал, что аметист был найден в виде крупных кристаллов, похожих на кварц, с шестиугольным основанием и острой вершиной. В 1817 г. в своей «Минералогии Британии» Соуэрби писал: «Некоторые считают, что аметист, издавна хорошо известный драгоценный камень, представляет собой кварц или горный хрусталь, окрашенный примесью марганца». В действительности оказалось, что марганец не является причиной окраски аметиста, как это считали в течение долгого времени.

Цитрин. Установить происхождение названия цитрина не составляет большого труда. Оно применяется к прозрачной разновидности кварца, цвет которой изменяется от желтого до желто-коричневого. Название образовано от французского слова *citron* — лимон. Единственный дискуссионный вопрос (в настоящее время даже более актуальный, чем ранее) — это использование слова «топаз» применительно к кварцу. В течение многих лет было принято торговать цитрином под названием «топаз», а настоящий топаз именовать «драгоценный топаз» (от немецкого *Edeltopas*). В конце концов в Великобритании эта путаница была ликвидирована официальным торговым актом.

Горный хрусталь. Название «горный хрусталь» имеет вполне ясный и четкий смысл, однако для этой разновидности кварца существует еще несколько наименований, которые следует упомянуть, поскольку они иногда все еще используются. Херкимерским алмазом называют хорошо окристаллизованную разновидность кварца из округа Херкимер (шт. Нью-Йорк), а мармаросским алмазом — аналогичный минерал из Венгрии. Немецкое название «рейнская галька» относится к окатанному кварцу, встречающемуся на Рейне (принесена этой рекой из альпийских месторождений), и соответствует английскому «рейнский камень».

Халцедон. Минералогии называют халцедоном любой кремнезем с

волокнистой микроструктурой, однако ранее это название применялось лишь к палевым или серым образцам независимо от наличия или отсутствия характерной полосчатости. Название происходит от города на Мраморном море, а не в Карфагене, как считал Теофраст. Полосчатые халцедоны всегда использовались для орнаментальных работ, и, возможно, слово *Onyxion* относилось главным образом к таким халцедонам. Почти наверняка, отсюда произошло употребляемое ныне слово «оникс». Термин «сард» является наиболее древним и определенным по своему смыслу названием одной из разновидностей халцедона. Он известен со времен Теофраста, который вкладывал в него тот же смысл, что и теперь, подразумевая при этом однородно окрашенный (от светло- до темно-коричневого цвета) просвечивающий материал. Название происходит от города Сардис (вблизи Эгейского побережья Турции), где, по-видимому, шла торговля этим камнем, хотя месторождения его, вероятно, находились в других местах.

Первоначально к сарду относили красновато-коричневую разновидность халцедона, которую сейчас называют карнеолом, карнелианом или корнелианом. Это название возникло, по-видимому, в средние века и происходит от латинского *carneus* (похожий на мясо). В средневековье пользовались словом *carneolus*. Хотя в наше время названия «корнелиан» и «карнелиан» употребляются одинаково часто, можно предполагать, что первое из них происходит от *cornus* — названия одного из сортов вишни с красноватыми ягодами.

Под моховым агатом подразумевается халцедон с дендритовыми вросками, напоминающими мох или ветвистые деревья. Плиний Старший применял к такому материалу название «дендрахат» (*dendrachates*). Сагенитовый агат содержит игольчатые включения. Собственно агатом называют разновидность халцедона с заметной полосчатостью. Почти всегда отдельные полосы различаются между собой по цвету и прозрачности. Название происходит от реки Ахатес (ныне Дрилло) в Сицилии. Старая форма слова — ахат (*Achates*) — не вполне соответствует по смыслу современному названию «агат»; к первому из них относили также другие материалы, например некоторые алебастры тоже именовались ахатами. Существует такое множество различных наименований для тех или иных типов агата, что еще в 1747 г. Валлериус пришел к выводу, что все их перечислить невозможно, да и незачем.

Хризопраз представляет собой яблочно-зеленую просвечивающую разновидность халцедона с волокнистой или микрозернистой структурой. Название «хризопраз» упоминается как Плинием Старшим, так и Агриколой, но оно имело у них более широкий смысл, так как под ним подразумевались еще бериллы, а также другие зеленые минералы. Название происходит от греческих слов, обозначающих золото и лук. От последнего из них образовано название «праз», относящееся к материалу луково-зеленого цвета.

В настоящее время яшмой называют тонкозернистый кварц, окрашенный в красный, красновато-коричневый или желтый цвет, — от слова

«яспис» (iaspis), которым называли первоначально все халцедоны светлой окраски. Агрикола вкладывал в это название смысл, более близкий к современному. В XVIII в. яшмой называли непрозрачные разновидности тонкозернистого кварца, а более просвечивающие (включая опал) — агатом. Яшма и яспис, по-видимому, происходят от корней слов одного из восточных языков.

Разновидность кровавик не требует особых пояснений в отношении своего названия (материал имеет зеленый цвет с красными крапинками оксида железа, напоминающими брызги крови). Термин «гелиотроп» в наше время применяют к материалу с желтыми крапинками (от греческого названия солнца); этот термин также говорит сам за себя.

Химия двуокиси кремния

5257

В кварце—двуокиси кремния (SiO_2)—по имеющимся в литературе данным содержится 46,751% кремния (если принять его атомную массу равной 28,095) и 53,249% кислорода, что в сумме составляет 100,0% по массе. Существующие небольшие отклонения от этого состава не влияют заметно на физические и оптические свойства кварца. В виде твердого раствора в природный кварц могут входить Li, Na, Al и Ti; отмечалось также присутствие Mg и OH. Замещение Si на Al влияет на окраску некоторых разновидностей кварца (возможные механизмы наблюдающихся изменений цвета рассмотрены в следующей главе). Замещения, вероятно, сопровождаются тем или иным типом компенсации валентности, очевидно, путем вхождения в интерстициальные позиции атомов Li или Na. Исследования кварца из разных месторождений показали, что для некоторых его образцов из гранитов характерно более высокое содержание Al, чем для образцов из связанных с этими гранитами пегматитов. Содержание Al, Li и H в кварце из альпийских месторождений выше в бесцветных образцах, чем в дымчатых. Одним из возможных механизмов компенсации валентности при вхождении ионов Al (или других трехвалентных ионов) могло бы служить одновременное замещение ионов кислорода на ионы OH.

Титан обнаружен в кварце из пегматитов, а также из некоторых метаморфических и изверженных пород. В розовом кварце присутствие титана¹ в ориентированных позициях приводит к астеризму, хорошо различимому в проходящем свете. Считается, что температура образования розового кварца в пегматитах намного выше, чем в случае кварца из гидротермальных жил.

Модификации

Хотя в этой книге мы рассматриваем только кварц, он не является единственной известной формой кремнезема. Кварц представляет собой одну из полиморфных модификаций кремнезема, и его иногда называют низкотемпературным (в новейшей литературе—низким) кварцем. Он устойчив ниже 573°C и переходит в высокотемпературный (высокий)

¹ Речь здесь идет, очевидно, не об изоморфном вхождении ионов Ti, а о наличии ориентированных микроскопических вrostков оксидов этого элемента.—Прим. перев.

кварц выше этой температуры. Выше 870°C (вплоть до 1470°C) устойчивой полиморфной модификацией кремнезема при атмосферном давлении является тридимит, а при температурах более 1470°C – кристобалит, плавящийся при 1723°C . В процессе охлаждения ниже этой температуры кремнезем кристаллизуется с большим трудом, и гораздо легче его получить в виде переохлажденного стекла; этот материал называют кварцевым стеклом и лешательеритом.

Структура

Для кварца характерна гексагональная решетка, при этом атомы Si в его структуре имеют четверную координацию по отношению к кислороду, образуя (SiO_4) -тетраэдры, составляющие основу структур подавляющей части силикатов и всех форм кварца¹. В последнем случае каждый атом кислорода соединяется с двумя атомами Si, и таким образом (SiO_4) -тетраэдры связаны общими вершинами (атомами кислорода) в трехмерный каркас. Атомы Si или (SiO_4) -тетраэдры расположены винтообразно вокруг тройных осей симметрии пространственной группы, причем правый ход винта приводит к образованию левых кристаллов, а левый ход – правых кристаллов.

Кристаллография

Кварц относится к тригонально-трапецеэдрическому классу симметрии (32) ромбоэдрической подсингонии (специалисты по драгоцен-

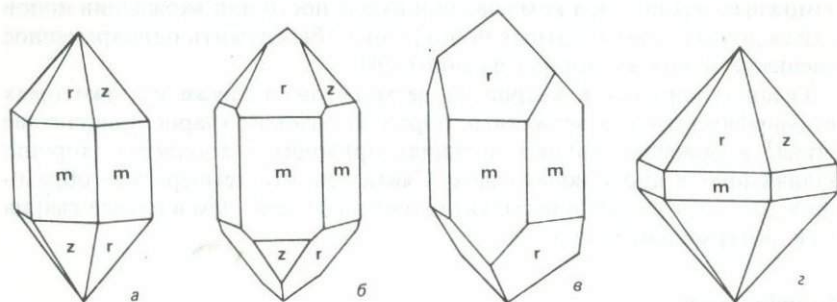


Рис. 2.1. Призматический габитус кристаллов кварца: r и z – грани ромбоэдров, m – грани призмы; a – гексагональный призматический кристалл, оканчивающийся развитыми в равной мере положительным и отрицательным ромбоэдрами; b – преобладает положительный ромбоэдр r ; v – развит только положительный ромбоэдр r ; z – одинаково развиты грани положительного и отрицательного ромбоэдров с коротким призматическим поясом (иногда призма вообще отсутствует).

¹ Обнаруженная недавно форма кремнезема, образующаяся при высоких давлениях – стишовит, – имеет шестерную (октаэдрическую) координацию кремния. – Прим. перев.

ным камням называют ее тригональной сингонией). Тип решетки – гексагональный, а класс характеризуется наличием одной оси симметрии третьего порядка и тремя перпендикулярными к ней осями второго порядка, составляющими между собой углы в 120° . В структуре отсутствуют плоскости и центр симметрии. Характерные кристаллы кварца образованы комбинацией граней призмы и ромбоэдра; ромбоэдры подразделяются на положительные и отрицательные; таким образом, габитус кристаллов кварца определяется главным образом комбинацией трех простых форм: призмы, положительного ромбоэдра и отрицательного ромбоэдра. Положительный ромбоэдр обычно более развит, чем отрицательный, и встречается гораздо чаще. Когда на кристалле присутствуют оба ромбоэдра, положительный преобладает (рис. 2.1). Менее распространенные простые формы – правый и левый тригональные трапецеэдры. Они нередко образуют узкие грани и легко обнаруживаются в штрихованных или закругленных частях кристаллов.

Развитие форм и габитус

Наиболее характерный для кварца габитус – короткопризматический, при этом отношение ширины кристалла (вдоль оси a) к его длине (вдоль оси c) изменяется от 2:3 до 1:4. Длинные и игольчатые кристаллы весьма редки. Эnantиморфизм присущ кристаллическому классу, к которому относится кварц; в этом классе возможно существование двух идентичных, но не совместимых друг с другом объектов. Поэтому кристаллы кварца могут вести себя как правые или левые. Наиболее просто различить эти формы по положению граней тригональной пирамиды: если они расположены в правом верхнем углу грани призмы, примыкающей к положительному ромбоэдру, – кристалл правый, если в левом верхнем углу той же грани – кристалл левый (рис. 2.2). Если правая тригональная пирамида покрыта штриховкой, гребни штрихов направлены вправо вверх, если левая – то влево вверх. Можно также отметить, что грани положительного ромбоэдра крупнее и имеют более сильный блеск, чем грани отрицательного ромбоэдра, имеющие меньшие размеры и более тусклый блеск. Грани второстепенных форм

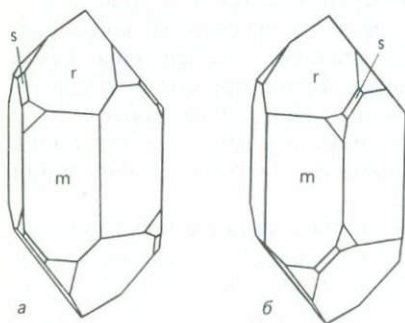


Рис. 2.2. Эnantиморфизм кристаллов кварца. В левостороннем кристалле (а) тригональная пирамида s примыкает к верхнему левому углу призматической грани m ниже грани положительного ромбоэдра r . В правостороннем кристалле (б) расположение граней зеркально-противоположное.

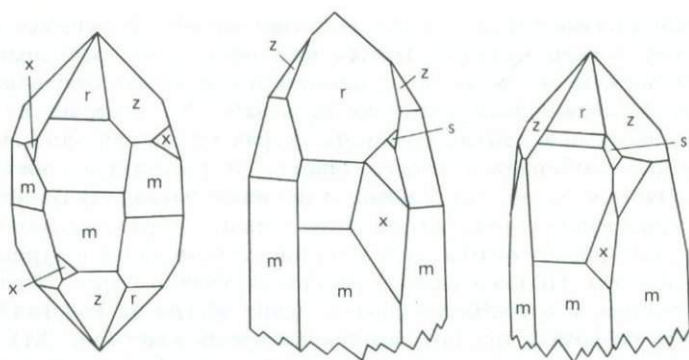


Рис. 2.3. Разновидности призматических кристаллов с развитыми зонами тригонального трапецоэдра и ромбоэдров: m —призма, r —положительный ромбоэдр, z —отрицательный ромбоэдр, x —тригональный трапецоэдр, s —тригональная пирамида.

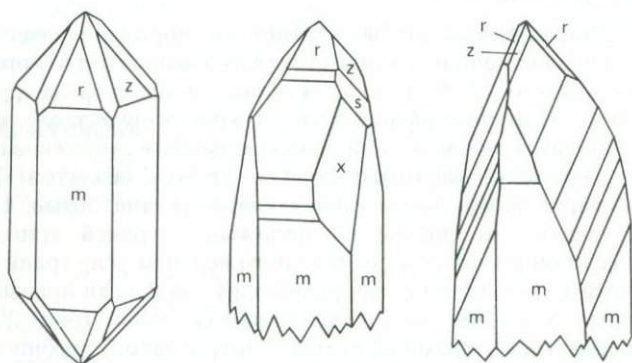


Рис. 2.4. Видоизмененные формы призм и ромбоэдров: m —призма, r —положительный ромбоэдр, z —отрицательный ромбоэдр, x —тригональный трапецоэдр, s —тригональная пирамида.

развиты в разной степени и часто полностью отсутствуют (рис. 2.3).

Призматический габитус становится менее выраженным, когда развиты преимущественно зоны граней тригонального трапецоэдра. Такие кристаллы могут иметь скрученную форму. Грани призмы почти неизменно имеют горизонтальную штриховку. Некоторые кристаллы с сильно развитыми гранями какого-либо одного ромбоэдра или обоих одновременно выглядят бипирамидальными из-за слабого развития или отсутствия граней призмы (рис. 2.4).

Весьма характерно для кварца развитие на кристалле поверхностей, не подчиняющихся кристаллографическим закономерностям, но выглядящих на данном кристалле как обычные простые формы. Такие поверхности известны под названием вицинальных граней и могут



Рис. 2.5. Гигантские кристаллы дымчатого кварца.

искажать или заменять простые формы. Преимущественной областью развития вицинальных граней у кварца является ромбоэдрическая головка кристалла, где эти грани могут напоминать уплощенные трехгранные пирамиды. На призматических гранях вицинальные поверхности выглядят как прямоугольные пирамиды. Как на природных, так и на синтетических кристаллах кварца можно наблюдать бугорки роста с отношением высоты к ширине 1 : 100 или больше; на одной грани может находиться несколько таких бугорков. Когда их много на какой-либо грани, она становится как бы покрытой морозным узором или похожей на булыжную мостовую; такие грани весьма характерны для синтетических кристаллов.

Зональность. Внутренняя зональность характерна для многих кристаллов кварца. Зоны располагаются концентрически, параллельно внешним граням кристалла: их происхождение связано с последовательными стадиями роста. Зональность окраски хорошо видна на поперечном срезе кристалла, причем рентгеновское облучение обычно приводит к дымчатому окрашиванию отдельных зон (рис. 2.5). Распределение цветов (например, сгущение пурпурного цвета на конце ромбоэдрической головки кристаллов аметиста) отражает стремление некоторых ионов концентрироваться в определенных участках кристалла. Были встречены кристаллы с чередующимся развитием участков аметистовой и цитриновой окраски.

Именно на кристаллах кварца Стено в 1669 г. обнаружил постоянство межгранных углов. Плиний Старший в «Естественной истории» отмечал шестиугольную форму призмы, в то время как для головки кристалла это наблюдалось не всегда. Дана (1962 г.) приводит для кварца 112 надежно установленных и, кроме того, 423 редкие или сомнительные формы.

Двойникование. Двойники представляют собой комбинации двух или более кристаллических индивидов одного и того же вещества, взаимно ориентированных в соответствии с определенным законом; такие ком-

бинации встречаются слишком часто, чтобы считать их случайными. Двойники чрезвычайно характерны для кварца, так что некоторые исследователи считают, что несдвоенных кристаллов кварца в природе не существует. Двойники кварца легко подразделить на два класса: такие, где каждый индивид связан с остальными параллельностью осей (в большинстве случаев это двойники прорастания), и двойники с осями индивидов, наклоненными на некоторый угол друг относительно друга (это обычно контактные двойники, или, как их иногда называют, двойники срастания).

Почти в каждом кристалле кварца наблюдаются двойники прорастания, а во многих случаях имеет место двойникование более чем по одному закону одновременно. Не совсем ясно, является ли двойникование в какой-то мере следствием тех или иных условий роста кристаллов; однако наблюдения показывают, что двойники по бразильскому закону (см. ниже) наиболее характерны для аметистов.

Дофинеи́ские двойники. Одним из типов двойникования с параллельными осями является двойникование по дофинеи́скому закону, когда индивиды геометрически связаны между собой поворотом на 180° вокруг оси c и оба относятся к правому или левому типу. Оси кристаллов параллельны, однако полярность пьезоэлектричества у двух индивидов противоположна. Правые и левые двойники, по-видимому, пользуются одинаковым распространением. Дофинеи́ские двойники – почти всегда взаимопроникающие (двойники прорастания), а иногда два индивида приблизительно одного объема могут быть объединены с образованием как бы нескольких контактных двойников с глубокими входящими углами между гранями на концах кристаллов и на их боковых частях (рис. 2.6). Однозначно отнести двойники к дофинеи́скому закону можно только по фигурам травления кислотой всего кристалла или его среза.

Бразильские двойники. В случае двойникования по бразильскому

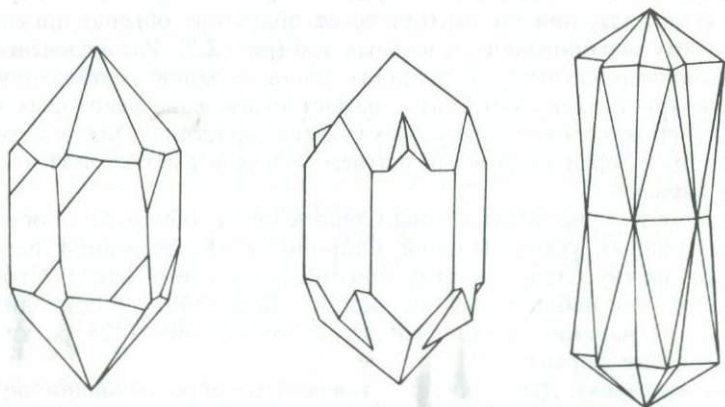


Рис. 2.6. Примеры двойникования по дофинеи́скому закону.

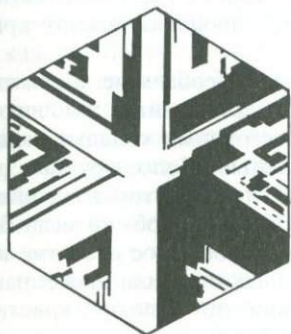


Рис. 2.7. Фигуры травления на базальном сечении двойника по бразильскому закону.

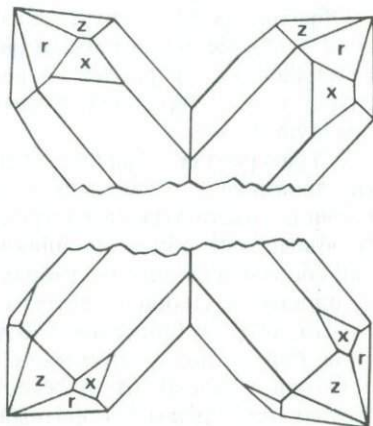


Рис. 2.8. Идеализированные формы двойников, образованных по японскому закону.

закону индивиды связаны между собой отражением гранями формы $\{11\bar{2}0\}$; срastaются правые индивиды с левыми (рис. 2.7). Аметист (по крайней мере, в некоторых случаях) встречался в виде закономерно чередующихся полисинтетических двойников по бразильскому закону, в которых индивиды представляют собой тонкие пластинки, параллельные граням головки.

Японские двойники. Наиболее широко распространенным примером двойникового кварца с наклонными осями индивидов могут служить японские двойники (рис. 2.8). Они относятся к контактному типу и состоят из двух индивидов, наклоненных на $84^{\circ}33'$ относительно друг друга; при этом плоскостью срastания служит $(11\bar{2}2)$ (рис. 2.8). Название двойников этого типа обусловлено тем, что в некоторых районах Японии имеются месторождения кварца, сдвойникового таким образом. В моей коллекции есть двойник по японскому закону, в котором один из индивидов является аметистом, а другой — цитрином.

Двойники по японскому закону распространены по всему миру, и места их находок невозможно перечислить в этой книге.

В Боливии такие двойники известны на месторождении Лалагуа; образцы состоят из отдельных уплощенных индивидов до 5 см в длину, плоские поверхности которых усеяны тонкими призматическими кристаллами кварца. Самые замечательные образцы двойников были найдены в Бразилии на руднике Пиража (округ Брумадо, шт. Байя) (двойники тонкие и полностью лишены входящих углов).

Во Франции классическим является месторождение Ла-Гардетт (Бур д'Уазанс, Дофине). Некоторые формы двойников из этого месторождения изображены на приведенных нами рисунках, взятых из Атласа Гольдшмидта (1913 г.).

Образцы из Вольфсбурга, находящегося в горах Гарц, представляют собой наиболее яркий пример развития данного закона двойникования. Неуплощенные, в равной мере развитые кристаллы соединяются в центре, а не в вершинах, в результате чего двойники имеют крестообразную форму.

В Траверселла (Пьемонт, Италия) найдены необычные множественные двойники по японскому закону; два уплощенных двойниковых индивида срастаются симметрично своими верхними концами, они как бы объединены общей двойниковой плоскостью. Более крупные двойники состоят из многочисленных индивидов по одну сторону двойниковой плоскости. Двойники встречались ранее в районе добычи меди Валь д'Аоста; здесь, в Брюссоне, наблюдается неравномерное развитие индивидов, причем призматические грани большого индивида простираются достаточно далеко от плоскости срастания до головки кристалла, нарушая тем самым V-образный облик двойников.

В самой Японии особенно хорошие двойники встречаются на руднике Отоме (Куробера, префектура Яманаси). Двойники находятся в пегматитах с топазом, турмалином, полевым шпатом и апатитом. Двойники из этого рудника примечательны хорошо развитыми гранями трапецоэдра, которые позволяют отличить правые индивиды от левых. Другое интересное японское месторождение известно на острове Нарусима (префектура Нагасаки). Здесь встречаются хорошо развитые уплощенные и прозрачные двойники.

В Швейцарии двойники по японскому закону можно найти в ассоциации с «игольчатым кварцем» в долине Бедретто (кантон Тичино). Характерные образцы двойников сравнительно хрупкие и окружены плотно прилегающими друг к другу иглоподобными кристаллами.

В США кристаллы кварца, сдвойникованные по японскому закону, встречаются в нескольких местах, причем некоторые из них представляют существенный интерес. К ним относится о. Принца Уэльского (Аляска), знаменитый кристаллами эпидота. Небольшие, но очень красивые образцы найдены на рудниках Коппер и Грин-Монстер: их длина редко превышает 3 см, но в них видны причудливые включения хлорита. Первое место среди месторождений США, на которых известны двойники, образованные по японскому закону, занимает рудник Холланд (Вашингтон-Кэмп, округ Санта-Крус, Аризона). Они достигают здесь 30 см от одного конца до другого и встречаются главным образом в пустотах. Образцы из Ледвилла (шт. Колорадо) довольно редки и напоминают японские двойники из Пасто-Буэно (Перу). В этом районе на руднике Уальяпон они найдены вместе с гюбнеритом, флюоритом и родохрозитом. Наиболее красивые образцы добываются из жилы Санта-Исабель, знаменитой также кристаллами родохрозита.

Прекрасные кристаллы известны и в СССР, главным образом из Гюдживасса (Памир). Сообщалось, что двойники достигают здесь 26 см в высоту и до 6 кг по массе.

Другие месторождения описаны в работе Кука (Cook, 1979).

Двойникование по японскому закону было, по-видимому, первым типом двойникования, установленным для кристаллов кварца. Оси c индивидов пересекаются под углом $84^{\circ}33'$ таким образом, что одна пара граней призмы является общей для обоих образующих двойник кристаллов и каждая такая грань выглядит как одно целое, не прерываясь на двойниковой границе. Тригональная симметрия определяет наличие шести плоскостей симметрии, соответствующих граням формы $\{11\bar{2}2\}$. Если принимать во внимание эти плоскости, а также правый и левый характер индивидов, то соотношения между индивидами приводят к десяти различным типам японских двойников, хотя на первый взгляд они могут показаться идентичными.

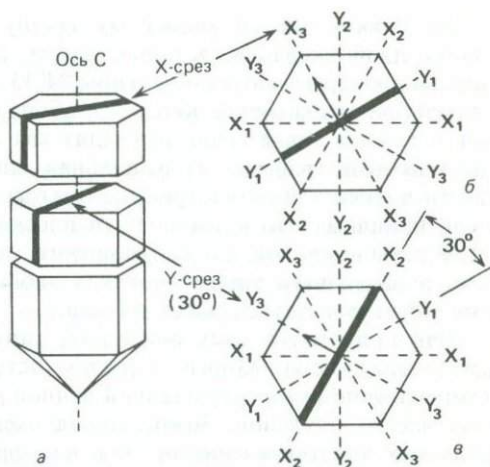
Что приводит к тому или иному типу двойникования, в настоящее время неизвестно. Многие образцы встречаются в условиях высокотемпературной гидротермальной рудной минерализации вблизи глубинных частей plutонов. Значительная часть находок связана с такими рудными месторождениями, как вольфрамовые и оловянные, или с жилами замещения на месторождениях наиболее распространенных сульфидных минералов. Некоторые находки приурочены к гранитным пегматитам или к чисто кварцевым жилам, пересекающим толщи осадочных пород. Как правило, образование двойников кварца следует за отложением крупнозернистых сульфидных минералов, оксидов или вольфраматов. Нередко в двойниках наблюдаются вроски турмалина и хлорита, которые находятся главным образом вблизи плоскости срастания и иногда встречаются только в кристаллах, сдвойникованных по японскому закону.

Кто первым употребил термин «японский двойник» — неизвестно, хотя Вайс в 1829 г. обнаружил явление двойникования при исследовании кристаллов из Ла-Гардетт (Дофине, Франция). Вначале о таких двойниках говорили, что они образованы по закону Ла-Гардетт. Другие названия — закон Вайса или закон $\{11\bar{2}2\}$. Японский двойник был изучен Вом Ратом в 1875 г. в Германии, причем указывается, что образец был найден в Хакодате (о. Хоккайдо, Япония). Крупные и красивые сдвойникованные кристаллы из рудника Отоме (Япония) стали поступать к европейским коллекционерам приблизительно в 1895 г. В 1905 г. Гольдшмидт применил к образцам кварца, сдвойникованного по рассматриваемому закону, название «японские двойники», которое привилось у минералогов.

Пьезоэлектричество

Если кристалл кварца сжимать в одном из направлений, показанных на рис. 2.9, то на ребрах призмы или на концах перпендикуляра к плоскости, проходящей через эти ребра, появляются электрические заряды; при этом если на одном из ребер возникает положительный заряд, то на противоположном — отрицательный. Если в том же направлении растягивать кристалл, то также появляются электрические заря-

Рис. 2.9. Пьезоэлектрический эффект в кристаллах кварца вызывает механические деформации оси Y , когда электрический заряд приложен перпендикулярно оси X . Пластины для электрических резонаторов вырезаются так, как показано на рисунке широкими черными полосами.



ды, но их полярность будет обратной по отношению к наблюдавшейся при сжатии. Направления X называют электрическими осями, а направления Y — механическими. Возникновение электрического заряда под действием механических напряжений называется пьезоэлектрическим эффектом, который был открыт супругами Кюри в 1880 г.

Пьезоэлектрические свойства кварца позволяют использовать его в качестве резонатора. С этой целью из кристалла кварца вырезаются тонкие пластинки, ориентировка которых показана на рис. 2.9, а. Три оси X_1 , X_2 и X_3 — проходящие через углы поперечного сечения призмы, являются электрическими осями, а оси, перпендикулярные к граням призмы и обозначенные как Y_1 , Y_2 и Y_3 — механическими.

Если взять пластинку, вырезанную таким образом, что ее широкие плоские поверхности перпендикулярны любой из электрических осей, например X_3 (см. 2.9, б), то механические напряжения, приложенные вдоль оси Y_1 , вызовут электрические заряды на плоских поверхностях пластинки. И наоборот, если эту поверхность зарядить электрически, можно обнаружить в пластинке механическое напряжение вдоль оси Y_1 .

Пластинка, вырезанная из кварцевой заготовки в направлении, показанном на рис. 2.9, б, называется X -срезом или срезом Кюри. Если поместить пластинку между двумя металлическими электродами, прижатыми к ее плоскостям, и приложить к электродам переменное электрическое напряжение, кристалл начнет испытывать механические колебания. В случае совпадения частоты переменного напряжения с собственным периодом механических колебаний кварцевой пластинки (этот период зависит от ее размеров) амплитуда колебаний резко возрастает. Этим пользуются при изготовлении электрических устройств для точного задания частоты колебаний в том или ином устройстве.

Пластинка, вырезанная в соответствии с рис. 2.9, в, называется Y -срезом или 30° -ным срезом. Такие пластинки обычно более легко

начинают колебаться, чем в случае X-среза, особенно при относительно низких частотах.

Именно этот принцип используется в кварцевых часах, что и привело к столь бурному развитию работ по синтезу кварца. Сдвойникованные кристаллы непригодны для пьезоэлектрических целей, поэтому возникает необходимость в получении несдвойникового материала искусственным путем.

Фигуры травления

На кварц не действуют кислоты, за исключением плавиковой, которая реагирует с ним, образуя летучий фторид кремния. В результате этой реакции кристаллы протравливаются, что и является основой для их идентификации, в частности когда нужно выяснить, имеем ли мы дело с правым или левым кристаллом. В лабораторных условиях травление может проводиться с помощью разбавленной плавиковой кислоты или раствором едких щелочей и карбонатов щелочных металлов, используемых в качестве растворителей. Фигуры травления на призматических гранях представляют собой треугольники с двумя прямыми сторонами, одна из которых длиннее другой: внутренний угол между ними несколько тупее прямого. Третья сторона искривлена. Острые углы треугольника направлены к соответствующим граням ромбоэдра. На этих гранях фигуры травления также являются треугольниками, но внутренний угол между двумя прямыми сторонами меньше 90° .

Структура скрытокристаллического кварца

Структура скрытокристаллических разновидностей кварца может быть тонкозернистой и волокнистой. Тщательные микроскопические исследования халцедона и его разновидностей показывают, что он имеет волокнистую структуру, причем волокна направлены перпендикулярно к линиям раздела слоев и к свободной поверхности. Разделить между собой волокна, как это легко делается в случае асбестоподобных минералов, физически невозможно. Волокна имеют лишь несколько микрометров в диаметре и достигают несколько сот микрометров в длину. Они образуют параллельные и субпараллельные, иногда расходящиеся пачки или же листовидные (чешуйчатые) агрегаты. В некоторых халцедонах волокна невозможно обнаружить, однако факт из присутствия устанавливается оптически по различию в погасании в направлении, параллельном и перпендикулярном полосчатости. Волокна обычно вытянуты в направлении, перпендикулярном оси c , и могут быть винтообразно скручены вокруг оси удлинения. Это может приводить к периодическому изменению величины двупреломления вдоль волокон, например в ирисовом агате. Халцедон относительно легко раскалывается в направлении, поперечном относительно полосчатости и параллельном волокнам, поэтому образуется шероховатая поверхность излома. Хал-

педон – в той или иной степени пористый материал; поры могут быть изолированы одна от другой или сливаться в нитевидные полости, параллельные волокнам. Это вызывает окрашивание минерала в различные цвета. Наблюдается некоторое непостоянство твердости халцедонов, которая колеблется около 6,5 (по шкале Мооса), т. е. несколько ниже, чем у монокристаллов кварца.

Состав. Халцедоны содержат 90–99% кремнезема, некоторое количество воды, а также примеси оксидов Al и Fe. Более высокие содержания кремнезема характерны для светлоокрашенных или молочных разновидностей, красноватые и коричневые имеют высокое содержание Fe_2O_3 . Обнаружено присутствие гидроксила (ОН), которые может входить во внутреннюю структуру волокон: большая часть воды может быть удалена при нагревании до 100°C. Потеря воды сопровождается снижением показателя преломления и удельного веса.

В статье Фрондела (Frondel, 1982) обсуждается вопрос о структурном характере гидроксила в халцедоне. Как показали исследования методами инфракрасной спектроскопии и рентгенографии, халцедоны, а также природные стекла, кремни и агаты содержат (ОН) в определенных позициях атомной структуры; кроме того, установлено несколько типов неструктурной воды, которая может сохраняться на поверхности волокон и в порах. Было обнаружено, что концентрическая зональность халцедонов сопровождается изменением межплоскостных расстояний, измеренных по рентгенограммам, что указывает на вариации состава. Содержание структурного (ОН) в волокнах халцедонов изменяется от зоны к зоне; это наблюдается как в природных, так и в синтетических кристаллах, характеризующихся такими же типами спектров, что и халцедон. Зоны, богатые (ОН), быстрее протравливаются, дают линии с меньшими дифракционными углами на рентгенограммах, имеют пониженные показатели преломления и белеют при прокаливании до температур 550–600°C. Такие разновидности халцедона, а также образующиеся при низких температурах вместе с халцедоном кристаллы горного хрусталя и аметиста, а также кристаллы синтетического кварца имеют специфические инфракрасные спектры поглощения в интервале от 3200 до 3600 cm^{-1} (2778–3125 нм). Для природного кварца, образовавшегося при более высоких температурах, спектр в этом интервале имеет другой вид. Механизм вхождения структурного (ОН) различен для этих двух типов кварца, что, по-видимому, зависит от содержания в них алюминия. Волокнистая природа низкотемпературного кварца может определяться содержанием (ОН) и его влиянием на дислокации.

Включения

Включения в кварце могут быть либо твердыми (кристаллы других минералов, захваченные в процессе роста кристалла-хозяина или образованные в результате распада твердого раствора после окончания роста кристалла-хозяина), либо жидкими (растворы, окружающие кристалл во



Рис. 2.10. Иголочки рутила в кварце («волосы Венеры»).

время роста или проникшие в него из-за наличия царапин на его поверхности, которые захватывают жидкость, а затем перекрываются или залечиваются; при этом включения жидкости внутри кристалла сохраняются).

Среди твердых включений легче всего распознать рутил по его игольчатым или волосовидным кристаллам, окрашенным в золотистый или красновато-коричневый цвет; длина таких вростков может достигать 25 см. Они могут быть струеобразно ориентированы или могут располагаться совершенно хаотично (рис. 2.10). Иногда рутил образует сетчатые или решетчатые образования внутри кристаллов кварца; такой материал получил название «сагенит». Рутил может вызывать астеризм. Турмалин также встречается в кварце в виде игольчатых кристаллов; он особенно характерен для кварца из пегматитов (рис. 2.11). Цвет турмалина может быть различным, но чаще всего это тот или иной оттенок зеленого цвета. Авантюрином называют разновидность, содержащую блестки слюды, которые придают кварцу металлический вид; в тех случаях, когда слюда представлена хромсодержащим зеленым фукситом, подобная разновидность кварца напоминает жадеит. Кварц другого типа содержит рассеянные частицы инородного материала (обычно глинистого или железистого), распределение которого может подчеркивать последовательные зоны роста кристалла-хозяина. Такие кристаллы иногда называют кварцем-фантомом.

Жеоды халцедона с включениями воды известны под названием «энгидрос»; их часто приполировывают, причем так, чтобы образовалось тонкостенное «окошко», сквозь которое видна вода. Однако жидкие включения в кварце редко содержат большое количество жидкого материала. В эвгдральных кристаллах они могут распределяться по плоскостям, параллельным внешним граням; такие включения обычно



Рис. 2.11. Игольчатые кристаллы турмалина в кварце.

двухфазны и состоят из жидкости и газа. Известны также включения с тремя фазами, в которых помимо газа и жидкости наблюдаются частицы твердой фазы. Состав включений непостоянен, хотя считается, что жидкость должна представлять собой преимущественно воду, в ряде случаев содержащую Na, K, Ca, Cl; при комнатной температуре постоянно отмечается наличие газовой фазы. Когда в жидкости наблюдаются взвешенные кристаллы, они обычно представляют собой NaCl (кубический, изотропный). При нагревании образца эти кристаллы растворяются. Более детально включения рассмотрены в гл. 4.

Псевдоморфозы

Минералы нередко замещают другие ранее существовавшие вещества, сохраняя их первоначальную внешнюю форму. Примером могут служить замещенные опалом ракушки и древесина. Кварц часто образует псевдоморфозы по другим минералам, обычно по кальциту. Псевдоморфозы могут быть с полным или лишь с частичным замещением объема; во втором случае инкрустирующие полости тонкие покровы кварца отлагаются на стенках. Кварц может встречаться также в виде псевдоморфоз по флюориту, что часто наблюдается в гидротермальных

жилых месторождениях. Подобным образом и в аналогичной обстановке замещается также барит. Известны находки псевдоморфоз кварца по сидериту, церусситу, арагониту, родохрозиту, смитсониту и многим другим минералам. Встречаются инкрустирующие псевдоморфозы по таким минералам, как пирит, марказит, галенит, гематит и др.

Волокнистый кварц может замещать гипс, кальцит, а также, как это хорошо известно специалистам по драгоценным камням, крокидолит. В этих случаях кварц имеет тонковолокнистую структуру, которая обусловлена силификацией поперечно-волоконистых прожилков асбестовидного минерала крокидолита. Первоначально этот минерал имеет синий цвет, и когда при инфильтрации кварца вдоль волокон этот цвет сохраняется, образуется так называемый «соколиный глаз». Сходный материал золотисто-коричневого или желтого цвета («тигровый глаз») образуется при окислении крокидолита до или после замещения. Иногда крокидолит представлен пустотелыми трубочками, которые могут заполняться гидроксидами железа.

Сведения о необычных формах

Кварц скорлуповатой формы был описан Шейдеггером (Scheidegger, 1979). Его месторождение Альпе-Тессин находится недалеко от Циллиса (кантон Гризонс, Швейцария). Предполагается, что образование этих уникальных кристаллов происходило в несколько стадий. Сначала сформировались первичные хорошо образованные кристаллы. Затем на их поверхности отложились в том или ином виде углеводороды. Возникшая пленка приостановила рост первичного кристалла; параллельно ему начался рост вторичных кристаллов, который в свою очередь также прерывался из-за возникновения углеводородной пленки; вторичный кристалл не имел непосредственного контакта с первичным. Под влиянием каких-либо тектонических подвижек первичный и вторичный кристаллы могли в какой-то момент соприкоснуться и остаться в виде скорлуповатых образований.

Группы кристаллов кварца, похожие на шкуру дикобраза, были описаны Рикартом (Rykarth, 1979). Они не характерны для альпийских месторождений и найдены в Альпе-Палтано (долина Бедретто), а также в Вейссе-Флу (Биннталь). Как правило, эти группы содержат мелкие обломки породы. Образование их связывают с трещинами, возникшими при тектонических подвижках. Объем трещин изменяется, в заполняющих их гидротермальных растворах нарушается равновесие, и от стенок трещин отрываются кусочки породы. Температура и давление резко падают, вызывая пересыщение гидротермального раствора. При этом на всех поверхностях обломков породы начинается кристаллизация, причем кристаллы, развивающиеся вертикально, быстро обгоняют в росте те, которые растут более или менее наклонно. Вертикальные кристаллы нормально развиваются и образуют группы, напоминающие шкуру

дикобраза. Возможно, что поступление в трещины углеводородов также вызывает процессы, приводящие к пересыщению растворов.

В друзах кристаллов из Альпе-Палтано можно выделить два типа кварца. Один из них представлен длинными прозрачными иголками, сдвойникованными по дофинейскому закону и иногда имеющими непрозрачные кончики. Второй тип напоминает цветочные бутоны. Они наблюдаются на месторождении Фесперо, где какие-либо другие формы кварца отсутствуют. Эти кристаллы имеют молочный цвет, укороченный габитус и гексагональную симметрию. Призматические грани покрыты отдельными крошечными кристалликами.

Рикарт (Rykart, 1979) описал также кристаллы кварца (горного хрусталя) из Мюзо, месторождения изумрудов в Колумбийских Андах. Здесь кристаллы имеют необычную форму, и их название происходит от данного месторождения. Шестиугольное в основании поперечное сечение кристаллов кварца Мюзо переходит в треугольное ближе к головке. Грани, примыкающие снизу к z -ромбоэдру, по мере приближения к концу кристалла расширяются, в то время как примыкающие к r -ромбоэдру сужаются и сходят на нет у вершины. Расширенные грани призмы напоминают ромбоэдр и покрыты горизонтальной штриховкой. В Альпах кристаллы кварца с габитусом типа Мюзо всегда имеют небольшие размеры (редко превышающие 6 см). Один из районов, где они встречаются, — Фешель в Вале.

Цвета кварца

Горный хрусталь имеет высокую степень чистоты, причем основной примесью является алюминий. Однако даже этот элемент присутствует в горном хрустале в ничтожном количестве; как правило, цифра среднего его содержания составляет 20 млн^{-1} , однако и эта цифра нередко ниже. В тех случаях, когда присутствует Al, при облучении гамма- или рентгеновскими лучами, а также при других активирующих цвет воздействиях кварц приобретает дымчатую окраску. Этот процесс происходит и в природных условиях, но лишь его воспроизведение в лаборатории помогло выявить причины изменения окраски. В природе существует много возможных источников радиации: например, в земной коре имеет место естественная радиоактивность, которая за весьма длительное время, характерное для геологических процессов, может привести к изменению окраски кварца. В лабораторных условиях при облучении рентгеновскими лучами на это требуется всего лишь несколько часов.

Дефекты и их влияние на окраску

Механизм изменения цвета заключается в образовании центров окраски (Nassau, 1980), которые возникают на дефектах в кристалле. Не все понимают, что, хотя кристалл на глаз может выглядеть вполне совершенным, на самом деле по своему внутреннему строению он может быть далек от идеального. *Точечный дефект* возникает в тех случаях, когда отсутствует какой-либо из атомов в надлежащей структурной позиции. Пространство, которое должен был бы занимать этот атом, называют вакансией. Иногда атом перемещается в другую позицию, которая в нормальном кристалле должна быть незанятой (*дефект по Френкелю*). Хотя ни один ион (заряженный атом) не может покинуть кристалл (иначе бы нарушилась электронейтральность последнего), можно удалить из кристалла пару электрически компенсирующих один другого ионов (*дефект по Шотки*). Иногда чужеродный (для данного кристалла) атом может занимать место обычного атома (*дефект замещения*) или же находиться в промежутках между правильно расположенными атомами кристаллической структуры подобно фигуре, которую игрок поместил на границе между клеточками шахматной доски (*ин-*

терстициальный дефект). Чтобы сохранялась электронейтральность структуры, замещающий ион должен иметь тот же электрический заряд, что и замещаемый. Примером может служить замещение трехвалентного алюминия трехвалентным хромом, обуславливающим красный цвет рубина. В некоторых кварцах четырехвалентный кремний может быть замещен трехвалентным алюминием. В этом случае заряды не сбалансированы и электронейтральность нарушается. Считается, что электронейтральность может достигаться здесь путем интерстициального внедрения ионов водорода. Процесс такого рода может вызвать окрашивание также любого иного бесцветного материала.

Дефекты, подобные перечисленным выше, могут влиять на цвет несколькими способами. Окрашивание всех разновидностей кварца связано с процессами, описываемыми *теорией кристаллического поля*. В случаях, подчиняющихся этой теории, предполагается наличие неспаренных электронов; такие случаи рассмотрены в следующих двух разделах.

Присутствие переходных элементов

Если ограничиться рассмотрением лишь разновидностей кварца, то наличие *переходных элементов* влияет только на окраску цитрина, в котором цвет вызван присутствием иона окисного железа. При этом неспаренные электроны железа возбуждены до определенных энергетических уровней, с которых они возвращаются в основное состояние. Переход из основного состояния на уровень возбуждения соответствует энергии света, поглощаемого при прохождении через цитрин; его цвет характеризует остаточную энергию за вычетом той, которая поглощается при прохождении через цитрин определенных длин волн белого спектра.

Это простейший механизм возникновения окраски. Гораздо сложнее вопрос о цвете аметиста, который до недавнего времени был предметом широких дискуссий. Сейчас известно, что этот цвет возникает при облучении кварца, содержащего железо, причем образуются центры окраски, связанные с появлением дефектов. Дефект может оказаться способным захватить электрон или дырку. Электронные центры окраски имеют лишний электрон, захваченный теми позициями, в которых обычно в данном материале электроны отсутствуют. Когда электрон покидает позицию, где обычно должна находиться электронная пара, неспаренный электрон и образовавшаяся дырка совместно вызывают окрашивание (дырочный центр окраски). Подобный механизм действует в случае дымчатого кварца, который вкратце уже рассматривался. Ионы трехвалентного алюминия замещают ионы четырехвалентного кремния. Для восстановления электрического баланса требуются ионы щелочных металлов (например, одновалентного натрия) или водорода. Считается, что природный кварц в большинстве случаев содержит алюминий, и для того чтобы кристалл приобрел окраску, необходимо наличие в нем неспаренных электронов. Когда кварц с такой примесью,

как алюминий, подвергается облучению рентгеновскими или гамма-лучами (с таким же успехом можно пользоваться облучением нейтронами или любым другим видом лучистой энергии, близким к энергии радиоактивного распада), один из спаренных электронов может быть вырван из своей позиции в ионе кислорода, сосуществующего с ионом алюминия. Это приводит к появлению неспаренного электрона и образованию дырочного центра окраски. Электрон, который был вырван под влиянием облучения, оказывается захваченным другой позицией в кристалле, но он не вызовет дополнительного поглощения света. Однако если кристалл нагреть, то перемещенный электрон приобретает подвижность и может вернуться в свою первоначальную позицию. Это достигается при достаточно низких (например, 400°C) температурах. Поскольку все электроны оказываются спаренными, дырочные центры окраски уже не могут существовать и кристалл теряет свою дымчатость. Независимо от того, происходит ли облучение в лабораторных условиях или в геологической обстановке, его результат один и тот же. После нагревания дымчатость можно снова вызвать повторным облучением.

Цвет аметиста зависит от присутствия в кристалле железа. В нормальных условиях железо вызвало бы желтую (цитриновую) или зеленую окраску. Часть этого материала могла подвергнуться облучению, обусловившему аметистовую окраску, которая после нагревания снова переходит в первоначальную. Получить аметист из чистого бесцветного горного хрусталя невозможно. Для этого обязательно присутствие в нем железа.

Некоторые окрашенные в розовый цвет кварцы изучены Машмейером и Леманом (Maschmeyer, Lehmann, 1982) методом электронного парамагнитного резонанса. Оказалось, что цвет, по крайней мере для некоторых розовых кварцев, обусловлен присутствием радиационных дефектов с неспаренными электронами у атомов кислорода, общих для замещающих ионов алюминия и фосфора. Поглощение света, необходимое для возникновения данной окраски, происходит вследствие вызванного светом переноса дырки внутри группы PO_4 .

В заметке об огненном агате Болл (Ball, 1978) утверждает, что игра цветов в нем происходит из-за особенностей строения вростков бета-гётита, образующего правильные слоистые отложения в этом агате. К моменту написания книги данная теория еще не была апробирована.

Искусственно вызванная окраска

Синтезирующий аметист, несмотря на содержание в нем железа, всегда получается бесцветный. Для облучения обычно применяют гамма-лучи. Если в кварце присутствует также алюминий, необходимо принять меры, предупреждающие возникновение дымчатой окраски. Обычно для предохранения от дымчатости добавляют такие соединения, как нитрид лития. Литий реагирует с алюминием с образованием

эвкриптита (литиевого алюмосиликата), так что лишь очень небольшое количество алюминия может войти в сам кварц.

Когда синтезируют цитрин, в кристаллизационный раствор добавляют оксид или гидроксид железа и создают окислительную среду. Для создания надлежащей среды можно применять щелочные нитраты или нитриты. Достижимая глубина цвета (степень желтизны) зависит от содержания железа, а также от скорости и направления роста. Нассау (Nassau, 1980) показал, что присутствие 0,01% Fe_2O_3 вызывает желтую окраску средней густоты.

В тех случаях, когда кристаллы кварца содержат железо, но рост происходит в восстановительной среде, возможно образование зеленого кварца, содержащего закисное железо. Зеленый цвет может быть от желтоватого или бледно-зеленого до почти черного, однако случаи получения изумрудно-зеленого цвета неизвестны. Некоторые аметисты при нагревании также могут стать зелеными.

Если в кристаллизационный раствор добавить кобальт, получится синий кварц. Чем кристалл богаче алюминием, тем больше в него можно ввести кобальта и тем самым получить более глубокую окраску. Синих кобальтсодержащих минералов практически не встречается в природе, все они обычно имеют розовый цвет.

В 1913 г. Дреер (Dreher) опубликовал книгу под названием «Цвета ахатов» ("Farben des Achat"). Сейчас эта книга стала редкостью, но некоторые способы окрашивания агатового материала приведены в работах Синкенкеса (Sinkankas, 1972) и О'Доноху (O'Donoghue, 1974). Чтобы получить красный цвет, Дреер рекомендует красящий раствор из $\frac{1}{4}$ кг железных гвоздей и 1 кг концентрированной азотной кислоты. Когда жидкость станет прозрачной, агатовые пластинки пропитывают ею в течение некоторого времени в зависимости от их толщины. Так, например, при толщине 3 мм — от 6 до 10 сут, а при толщине 7–10 мм — от 3 до 4 нед. Затем камни нагревают в закрытом тигле в течение 2–3 сут или, опять-таки в соответствии с толщиной, 8–10 сут. Чтобы получить синий цвет, для пропитки берут 250 г желтой кровяной соли, растворенной в 1 л теплой воды. Камни погружают в раствор на 8–14 сут. Затем их промывают и помещают в насыщенный раствор сульфата закисного железа. Для получения черного цвета камни погружают в раствор, содержащий 375 г сахара на 1 л воды, где они выдерживаются 2–3 нед. Время от времени к раствору добавляется вода, чтобы возместить потери при испарении. Затем камни промывают, сушат и помещают в ванну с концентрированной серной кислотой, которую нагревают в течение 1 ч до горячего состояния. Камни пропитываются от 1 до 2 ч в кислоте, температура которой близка к точке кипения (340°C). Вынутые из кислоты камни тщательно моют. Установлено, что не обязательно доводить кислоту до точки кипения, чтобы произошло обугливание сахара.

Для окрашивания в зеленый цвет используют насыщенный раствор трехоксида хрома в 1 л воды. Обработка этим раствором длится от 8–14

сут (для тонких пластинок) до 2–8 нед (при толщине 3–10 мм). Вынутые из раствора и промытые образцы погружают в бикарбонат аммония и затем нагревают до красного каления.

Синтез кварца

Казалось бы, не стоит синтезировать кварц только из-за его декоративных свойств, однако синтез кварца для поделочных целей широко распространен, и некоторые его искусственные разновидности трудно отличить от их природных аналогов. Дело в том, что техническая ценность кварца способствовала развитию его промышленного синтеза в широких масштабах. Мы уже упоминали, что если к монокристаллу кварца приложить давление в соответствующем направлении, то на кристалле возникает электрический заряд, а если к вырезанной из кварца пластинке приложить переменное напряжение, эта пластинка начнет вибрировать заранее заданным образом. Однако большая часть природных кристаллов кварца не соответствует требованиям, предъявляемым промышленностью, поскольку в них часто развиты двойникование и другие несовершенства (это портит пьезоэлектрические свойства кварца). В период второй мировой войны природного кварца оказалось недостаточно, чтобы удовлетворить растущую потребность его быстро развивающегося промышленного применения, поэтому жизненно необходимыми стали работы по получению синтетического материала. К концу войны из природных кристаллов изготавливались кварцевые пластинки общей стоимостью 1 млн. долл. и дальнейшее снабжение промышленности сырьем становилось затруднительным. Хотя кварц является широко распространенным минералом, найти пригодные для разработки месторождения подходящего для технических целей сырья нелегко.

Выращивание гидротермальным методом. Процесс, используемый в лабораторных условиях для выращивания кристаллов кварца, почти всегда по своей сущности тот же, что и в природе. Наилучший обзор методов выращивания дан Нассау (Nassau, 1980). Кварц растворяется в воде при достаточно высокой температуре (необходимые температуры воды могут быть достигнуты только под давлением). Помещенный в сосуд высокого давления (автоклав) с соответствующим образом контролируемой температурой и давлением, кварц будет растворяться в одной части сосуда и отлагаться – в другой. Это метод транспортного гидротермального роста. В качестве шихты используется крошка из природного кварца, а новые кристаллы образуются на специально подготовленной затравке (рис. 3.1).

Лабораторное выращивание кварца начали проводить в середине XIX в., и первым, кому удалось вырастить кварц гидротермальным методом, был Сенармон (Sénarmont, 1851). Он пользовался запаянной стеклянной трубкой, в которой были вода, бикарбонат натрия, щелочной силикат и одно из соединений мышьяка, по-видимому реальгар. Трубку помещалась в ружейный ствол, который затем нагревался. В

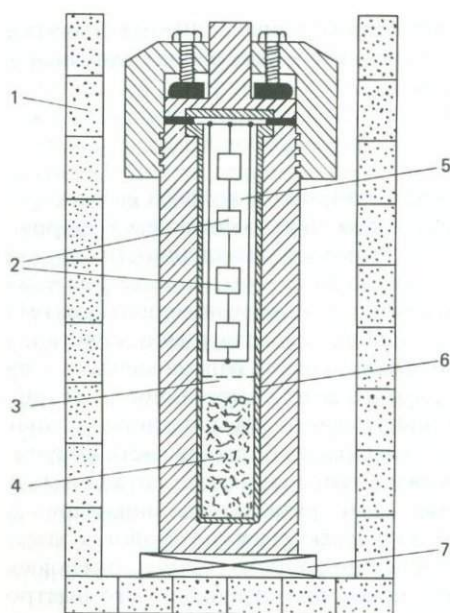


Рис. 3.1. Футерованный серебром автоклав, или «бомба», для гидротермального выращивания кварца. 1—термоизоляция; 2—затравочные пластинки; 3—дырчатая перегородка; 4—исходный материал (шихта); 5—обогащенный кремнеземом водный раствор; 6—серебряная футеровка; 7—электрический нагреватель.

результате образовались микроскопические кристаллики кварца.

С 1898 по 1908 г. были опубликованы работы итальянского экспериментатора Г. Специа (G. Spezia), который выращивал кварц на затравочных кристаллах и при этом получал кристаллы достаточных для промышленных целей размеров. Нассау (Nassau, 1980) приводит в своей книге детальное описание оборудования, использовавшегося Специа. Покрытый изнутри серебром автоклав имел 5 см в диаметре и 30 см в длину. Температура верхней его части, где находилась корзинка из серебряной проволоки с обломками природного кварца, достигала 320–350°C, в то время как нижняя часть была нагрета до 165–180°C. Кристаллизационный раствор содержал 2% $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Процесс протекал в течение 5 мес. Давление оценивалось в 150 бар. В работе, датированной 1908 г., Специа указывал, что он добавлял к раствору 1,9% Na_2SiO_3 и 12,7% NaCl .

Нассау приводит рисунок кристалла природного кварца длиной 1 см, который использовался в качестве затравки. После пяти месяцев отложения материала гидротермальным методом две обломанные головки выросли заново, на неповрежденном конце кристалла также происходил некоторый рост. Вновь нарощие участки казались более прозрачными, чем исходный кристалл. Затравки помещали в автоклав путем их подвешивания на серебряной проволоке: внутренняя поверхность автоклава также была покрыта серебром для предохранения от захвата кристаллизационным раствором каких-либо загрязнений и, как следст-

вие, окрашивания кристаллов. В качестве ростовой среды использовалась горячая вода с силикатом натрия и шихтой, состоящей из измельченного природного кварца. При длительности процесса до 199 сут на затравкеросло около 15 мм нового кварца. В отличие от современной гидротермальной методики Специа поддерживал более высокую температуру в верхней части сосуда и более низкую — в нижней части. Сейчас известно, что перенос происходит от более горячей части к более холодной. Ошибочным распределением температуры можно объяснить относительно малую скорость роста в опытах Специа. По словам Нассау, если бы Специа перевернул сосуд вверх дном, было бы куда как лучше.

В период перед второй мировой войной Ричард Накен (прославившийся также как один из пионеров выращивания изумрудов методом раствора в расплаве) проводил широкие исследования по кварцу. Его труды в некоторой степени облегчили ситуацию, возникшую из-за дефицита природного кварца в связи с резким увеличением производства электро- и радиоаппаратуры в военное время. В качестве шихты он использовал плавленый кварц; этот способ не дает таких хороших результатов, как применение чистого кристаллического кварца. После войны определенный импульс для развития гидротермального синтеза кварца дал все возрастающий интерес к драгоценным камням, однако сущность процесса в основном оставалась той же, что и в предыдущие годы.

Кварц, не растворимый в воде при комнатной температуре, начинает растворяться по мере приближения температуры и давления к критической точке воды в замкнутой системе. Повышения температуры до точки кипения воды недостаточно, поскольку растворимость при этом почти не увеличивается. Кристаллизационный сосуд обычно заполняют водой на 85%, герметически закупоривают и нагревают. При температуре выше 100°C давление начинает возрастать, поскольку вода частично закипает. Это повышает точку кипения воды. При 200°C большая часть воды превращается в пар, который при дальнейшем увеличении температуры становится перегретым. Давление растет за счет расширения пара, приближаясь к 1360 кг/см² при 300°C.

Закупоренный сосуд будет содержать пар с удельным весом 0,85, поскольку изначальное заполнение водой составляло 85%. Если допустить дальнейший подъем давления, то сосуд может взорваться (отсюда его второе название — «бомба»). Величина растворимости в 0,1% по массе достигается при давлении около 1400 бар, но для хорошего роста кристалла требуется более высокая растворимость. Чтобы ее повысить, к воде добавляют минерализаторы. Какой минерализатор взять — не имеет значения, лишь бы он реагировал с кварцем с образованием устойчивого соединения. На практике большей частью применяется едкий натр или сода (NaOH или Na₂CO₃).

Шихта в виде раздробленного природного кварца помещается на дно сосуда, а тонкие затравочные пластинки (толщина их может быть около

1 мм) располагаются над шихтой на серебряной решетке. Добавляется минерализатор и сосуд закупоривается. Так как при росте давление повышается, были разработаны специальные запорные устройства. Нагреватель располагается вокруг сосуда, и вся система помещается на нагреваемую плиту внутри хорошо закрывающегося бокса из стальных листов. Нередко весь аппарат помещают под землю, чтобы свести к минимуму последствия возможного взрыва, или же применяют защиту в виде брони.

Нагреватель и нагреваемая плита должна создавать температурный градиент около 40°C . Тогда в нижней части сосуда будет образовываться насыщенный кварцем раствор; происходящее при этом повышение плотности компенсируется увеличением температуры, вызывающим термическое расширение и снижение плотности. Различие в плотности приводит к образованию конвекционных потоков и заставляет насыщенный раствор подниматься вверх. При достижении верхней части сосуда этот раствор уже не может удержать весь содержащийся в нем кварц, и избыточное количество кварца осаждается на затравочных пластинках. Охлажденный раствор вновь спускается вниз, и процесс повторяется.

Чтобы достичь более быстрого роста нижних затравочных пластин и обеспечить равномерное отложение кварца, между нижней и верхней частями сосуда помещается перегородка. Она имеет форму пластинки с многочисленными отверстиями. Ее назначение – регулировать конвекцию. Скорость роста варьирует в значительных пределах в соответствии с условиями роста и требованиями к кристаллу; однако для получения высококачественных кристаллов оптимальная скорость роста – около 1 мм в сутки.

Гидротермальный процесс в целом достаточно эффективен; единственным затруднением является ежегодное сокращение ресурсов подходящего для шихты природного материала. Традиционным его поставщиком была Бразилия, где сбором так называемых *осколков* занимались люди самых различных социальных категорий. В 1974 г. на экспорт этого материала было наложено эмбарго, и та часть его, которая поступала в продажу, значительно поднялась в цене.

Nassau (Nassau, 1980) оценил объем мирового производства синтетического кварца в 70 тыс. кг/год. Синтетический кварц часто имеет характерную форму (до огранки). Если пользоваться сферическими затравками, то будет образовываться двуконечные кристаллы, копирующие природные. На таких кристаллах развиваются шесть граней призмы и по три пирамиды выше и ниже центра. Даже при весьма длительном росте грани призмы будут развиты минимально. При самом медленном росте развивается главный ромбоэдр, а второстепенные ромбоэдры лишь намечаются.

Поскольку большая часть кристаллов кварца выращивается для нужд радиотехники и электроники, получаемая продукция должна иметь такую форму, которая в дальнейшем потребовала бы минимальной механической обработки. Самые медленно растущие грани наиболее

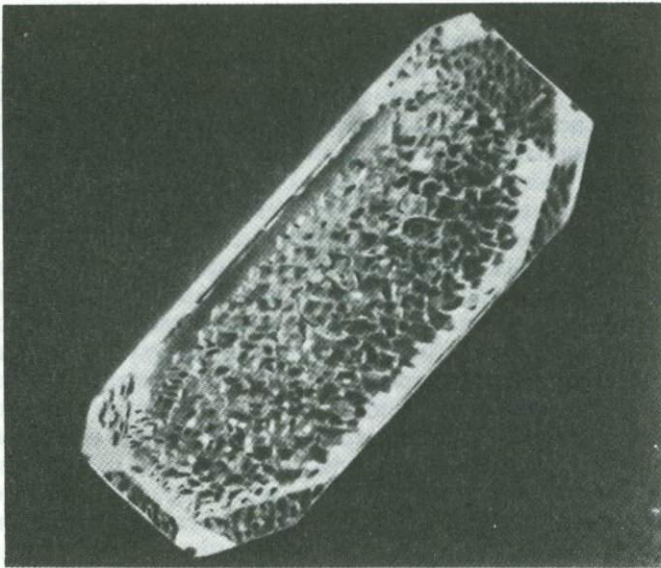


Рис. 3.2. Выращенный гидротермальным методом синтетический кристалл кварца с характерной бугристой поверхностью (похожей на галечную или бульжную мостовую), которая никогда не наблюдается у природного кварца.

развиты на кристалле после полного окончания процесса роста. Однако при выращивании промышленных кристаллов процесс роста не всегда доводится до естественного окончания, когда грани кристалла уже полностью развиты; в этих условиях преобладают быстро растущие грани. Для синтетического кварца особенно характерна бугристая или неровная поверхность, которая не встречается в природе (рис. 3.2).

В наши дни в больших автоклавах регулярно выращиваются достаточно крупные кристаллы. Некоторые из описанных в литературе автоклавов имеют внешний диаметр 46 см при длине 3,7 м. Внутренние их размеры — 15 см в диаметре и 3 м в длину. Типичные условия роста: температура 390°C для шихты на дне автоклава, 330°C — для верхней кристаллизационной части, заполнение — 80% водным 4%-ным раствором NaOH, что дает давление около 1700 бар, или 1700 кг/см². Пропускная способность перегородки — 5%. Расход кварца составляет 32 кг для 20-суточного цикла роста, что при сорока затравочных пластинках размером 4 × 15 см и толщиной 1 мм приводит к получению плит толщиной 5 см и массой 700 г каждая.

В немецком патенте (2 401 106) описан рост кристаллов цитрина. Они растут на пластинчатой затравке, параллельной базису {0001} или наклоненной по отношению к нему на угол до 20°. Кристаллизационный раствор содержит 5–10% по массе K₂CO₃, а также 2 г Fe на 1 л и 1 г LiNO₃ на 1 л. Условия роста, рекомендуемые для получения прозрачных

золотистых кристаллов, следующие: температура 300°C, давление 1430 кг/см², скорость около 0,4 мм/сут.

В другом патенте (США, 3936 726 от 1976 г.) описан рост аметиста. Кристаллы растут на затравках, параллельных базису {0001} или наклоненных к нему под углом до 15°. Раствор содержит 5% NH₄F и 5 г Fe₂O₃ на 1 л; максимальная температура 500°C и давление 1160 кг/см² при скорости роста около 1 мм/сут. Кристаллы, первоначально бесцветные, приобретают аметистовую окраску при обработке гамма-лучами дозой 1 млн. рад. При этом процессе дымчатость не возникает.

В статье Балицкого (Balitsky, 1980) описано получение синтетического аметиста гидротермальным методом и дан обзор его некоторых типичных характеристик. Первые попытки вырастить аметист были предприняты в конце 40-х – начале 50-х годов, причем рост осуществлялся на ромбоэдрических затравках с загрузкой кварцевым стеклом. Кристаллизационный раствор имел сложный состав и содержал 50 г метасиликата натрия на 1 л; температура равнялась 360°C, а давление – 1000 кг/см². Рентгеновское облучение придавало аметистовый цвет очень тонкому образовавшемуся поверхностному слою. Цинобер и др. (1959), по-видимому, были первыми, кто вырастил крупные кристаллы аметиста. Они пользовались гидротермальным методом, но в их статье подчеркивается необходимость использования сильнощелочных водных растворов и присутствия в системе железа. Кристаллы росли на затравках, параллельных граням положительного и отрицательного ромбоэдров. Более поздние работы по росту аметистов показали, что существуют два метода, с помощью которых можно вырастить кристаллы: в одном из них применяются калиевые щелочные растворы, а в другом – почти нейтральные растворы фторида аммония.

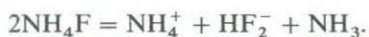
В первом случае кристаллы растут в растворе карбоната или гидроксида калия с молярной концентрацией от 0,3 до 1 при температуре 300–500°C и давлении 1700 кг/см². Температура верхней кристаллизационной части ограничена термической устойчивостью центров аметистовой окраски. Кристаллы можно выращивать на затравочных пластинках, параллельных положительному или отрицательному ромбоэдру; рост происходит быстрее на отрицательном ромбоэдре, и полученные при этом кристаллы имеют аномальный плеохроизм. При таком процессе добавляются окислители (например, нитрит лития) с тем, чтобы обеспечить наибольшее содержание в растворе трехвалентного железа. Добавка окислителей способствует получению более глубокой окраски аметиста и позволяет избежать появления дымчатости. Если дымчатость все же имеет место, кристалл можно отжечь, так как температура стабильности дымчатых центров ниже, чем центров, вызывающих аметистовую окраску. Высокая чистота исходного материала также уменьшает вероятность появления дымчатости. Кристаллы аметиста, выращенные в сильнощелочных растворах, имеют уплощенную форму с развитыми гранями ромбоэдра и гексагональной призмы. Габитус

получающихся кристаллов определяется как ориентацией и формой затравочной пластинки, так и скоростью роста. Как правило, грани призмы не растут, а рост на гранях отрицательного ромбоэдра происходит быстрее, чем на гранях положительного.

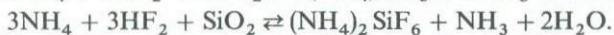
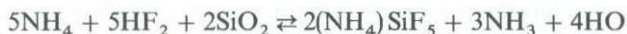
Если кристалл распилить поперек грани главного ромбоэдра, можно увидеть его секториальное зональное строение. Полагают, что зональность обусловлена нарушением стабильности условий кристаллизации. Цыганов и др. (1975) установили, что грани ромбоэдра покрыты вициналями в виде асимметричных бугорков роста; их склоны на гранях положительного ромбоэдра круче и покрыты полисинтетическими бразильскими двойниками. На гранях гексагональной призмы можно наблюдать сложную полигональную структуру. Множественные бразильские двойники встречаются на кристаллах аметиста, выращенных на затравках, ориентированных параллельно положительному ромбоэдру. Эти двойники представляют собой тонкие пластинчатые наросты левого кварца (если они нарастают на правый кварц), ориентированные параллельно граням $\{0111\}$ и $\{1101\}$ основного кристалла. Двойникование выявляется при протравливании 35%-ным HF, а также электронно-микроскопическими исследованиями.

Своеобразные трещины образуются при росте аметиста на затравках, параллельных положительному ромбоэдру (такие кристаллы имеют наиболее глубокую окраску). Рассекающие кристалл трещины, возникающие в слое роста на одной из сторон затравки, образуют систему, параллельную граням гексагональной призмы; иногда они проходят почти под прямым углом к оси X кристалла. Когда трещины встречаются на обеих сторонах затравки, они образуют трехмерную ромбоэдрическую сетку.

В основе второго метода выращивания кристаллов аметиста лежит применение растворов фторида аммония. В отличие от фторидов щелочных металлов фторид аммония в водном растворе диссоциирует следующим образом:



С повышением температуры равновесие смещается вправо. Присутствие в растворе NH_4^+ и HF_2^- повышает растворимость кварца вследствие образования таких растворимых комплексных соединений, как пента- и гексафторосиликаты.



Обратимость этих реакций способствует росту кварца, снижая температуру; в растворе NH_4F очень хорошо растворяются как окись, так и закись железа и накапливается достаточное количество трехвалентного железа для возникновения в кристаллах центров аметистовой окраски.

Применение водных растворов фторида аммония исключает образование обусловленных присутствием алюминия центров дымчатой окрас-

ки. Если в кварце имелся алюминий, образуются аммониево-водородные центры. Метод выращивания кварца с использованием фторида аммония тот же, что и для других типов кварца, получаемых из щелочных растворов. Кристаллы можно выращивать в интервале концентраций растворов 5–30% при температурах 210–500°C и давлениях 20–10 атм. Железо в качестве примеси концентрируется не только на гранях основного ромбоэдра, но и в других частях кристалла. Железо вводится не в форме металла, а в виде оксидов или гидроксидов. В результате реакции между металлическим железом и фторидом аммония выделяется водород, который мешает переходу железа в трехвалентное состояние и препятствует образованию центров аметистовой окраски. Чтобы избежать этого, для получения аметиста с хорошей окраской необходимо ввести некоторое количество ионов щелочных металлов. Прекрасной добавкой служит литий, так как он защищает в ходе роста потенциальные аметистовые центры от термического разрушения. Водород может выполнять роль компенсатора заряда в том случае, если необходимо скомпенсировать баланс между четырехвалентным кремнием и трехвалентным железом в отсутствие иона щелочи. Если кристаллы слишком долго находятся в сосуде, центральная их часть будет разрушаться из-за термической нестабильности (даже при таких низких температурах, как 250–300°C).

Аметист выращивается на затравочных пластинках во фторидном растворе; при этом поверхность пластинок обычно параллельна базису и они удлиненны в направлении оси Y . Такие затравки называют срезами ZY , а те, которые удлинены вдоль оси X , — срезом ZX . Когда кристалл выращивается на затравочных срезах ZX , поверхность базиса сходит на нет и кристалл оказывается ограненным плоскостями ромбоэдра. Если в качестве затравки применяется срез ZY , поверхность базиса больше, поскольку кристалл растет преимущественно в направлении оси X . Рассчитано, что скорость роста $+X$ в 10–15 раз больше, чем $-X$.

Поверхности кристаллов, выращенных из фторидных растворов, иные, чем в случае щелочных растворов. Основное различие обусловлено быстрым ростом исходной поверхности. Грани кристаллов, выращенных во фторидных растворах, покрыты мелкими, примыкающими друг к другу трещиноватыми пирамидами, грани которых ориентированы вдоль тригональной дипирамиды. Такая структура поверхности грани сохраняется в течение всего процесса роста. Для кристаллов, выращенных в щелочной среде, характерна округло-бугристая или похожая на булыжную мостовую поверхность.

Имеется также различие в вихриальных гранях, наблюдающихся на гранях ромбоэдра. При фторидной среде роста кристалла на гранях положительного ромбоэдра можно обнаружить пирамидки; они отличаются от бугорков овальной формы, образующихся при использовании щелочного метода.

Между аметистами, выращенными щелочным и фторидным методами, имеется не только внешнее, но и внутреннее различие. Для всех

пирамид роста характерен аметистовый цвет. Участки роста тригональных дипирамид и тригональных призм лишены какой-либо окраски. Когда кристаллы нагревают до 600–700°C, цвет исчезает; наблюдается помутнение и, как следствие, молочно-беловатый цвет. По данным инфракрасной спектроскопии этот эффект отчасти обусловлен абсорбированной водой.

Не существует метода, позволяющего отличить природный аметист от синтетического, если пользоваться обычными испытаниями, проводимыми специалистами по драгоценным камням. Как природные, так и синтетические аметисты дают полосы поглощения с максимумами при 950, 540, 360 и 270 нм. Кристаллы аметиста, выращенные в сильнощелочных калиевых растворах, проявляют аномальный плеохроизм. Красновато-фиолетовый цвет сменяется бледно-фиолетовым при наблюдении под различными углами. Полагают, что это связано с неравномерностью заселения позиций атомами трехвалентного железа. Как и природный, синтетический аметист обладает способностью терять окраску при нагревании. Под действием ионизирующих излучений этот цвет полностью восстанавливается. Плотность окраски кристаллов, выращенных в сильнощелочных растворах, несколько уменьшается, когда температура нагрева поднимается до 200°C. Максимальная скорость потери цвета наблюдается при температурах около 450°C. Окраска кристаллов, выращенных из почти нейтральных фторидных растворов, более устойчива. Если выдержать кристаллы в течение 160 сут при 330°C, то они частично сохраняют свой цвет, хотя интенсивность его становится значительно меньше (приблизительно вдвое).

Как для природного аметиста, так и для кристаллов, выращенных в сильнощелочных растворах, можно наблюдать широкую полосу поглощения в инфракрасном спектре. Существование этой полосы с серединой около 3400 см^{-1} (2941 нм) связано с присутствием молекулярной воды.

Обзор литературных данных

Цвета синтетического кварца, как правило, более тусклые, хотя и не лишены известной прелести. Для получения синего цвета можно добавлять кобальт и прокалывать кристалл в восстановительной атмосфере. Чтобы получить коричневый цвет, добавляют железо, темно-коричневый – алюминий и затем облучают; зеленый цвет достигается введением железа и нагреванием в восстановительной атмосфере; фиолетовый (аметистовый) – примесью железа и облучением; желтый – добавкой железа, а желто-зеленый – гамма-облучением и нагреванием.

Ежегодно в литературе приводятся сведения о многочисленных примерах огранки синтетического кварца; их систематика может помочь тем, кто имеет дело с ограненными камнями известного состава, но неясного происхождения. В начале 1970-х годов я исследовал прекрасный золотисто-желтый цитрин, изготовленный фирмой Sawyer Research Product, шт. Огайо. Этот камень массой 49,28 кар имел очень красивый

цвет; значения его удельного веса и показателя преломления указывали на принадлежность к кварцу. Он был исключительно прозрачен; в нем наблюдались лишь включения мельчайших групп кристалликов, представленные, по-видимому, натриево-железистым силикатным минералом – акмитом. Вероятно, этот минерал образовался при реакции железа с натрием и кремнием в гидротермальном кристаллизационном растворе. В некоторых кристаллах, выращенных гидротермальным методом, наблюдается эффект, похожий на мерцание теплого воздуха над шоссе на дороге в жаркий день. Этот эффект возникает в том месте кристалла, где затравка переходит в нарощеную на нее часть. Во многих ограненных камнях затравка, как таковая, отсутствует, потому что гранильщик выбирает для огранки материал из внешней части кристалла, тем не менее мерцание можно видеть и, следовательно, понять, с какой стороны находилась затравка. Так как многие из синтетических кристаллов достаточно велики, кристаллического материала с лихвой хватает, чтобы разнообразить игру камня. Указанная выше фирма выпустила зеленый кристалл, в котором ясно видна затравка.

Другой описанный в литературе камень происходит из СССР. Его вырастили из пластинки прозрачного кварца, которая была схвачена двумя проволочными петлями. Слелом за затравкой с обеих ее сторон образовались слои бесцветного материала, а затем полосы зеленого и коричневого цвета. Описанный кристалл очень напоминает один из имеющихся в моей личной коллекции.

Аметист-цитриновый кварц. Нассау (Nassau, 1981) обращает внимание читателей на аметист-цитриновый кварц. В нем аметистовый и цитриновый цвета объединены в одном кристалле. По словам Нассау, в некоторых случаях в кристалле можно искусственно вызвать появление по меньшей мере двух цветов. Неоднократно сообщалось о месторождения природного разноокрашенного материала (месторождения такого сырья не единичны и известны во многих странах).

Мы уже убедились в том, что и цитриновая, и аметистовая окраска обусловлена присутствием железа, хотя густота ее не коррелирует с концентрацией этого элемента. В сообщениях о природном аметист-цитриновом кварце авторы указывают, что в нем можно видеть шесть чередующихся участков, причем аметистовый цвет соответствует области роста главного ромбоэдра, а цитриновый – малого ромбоэдра. Возможно, железо, которое (после облучения) вызывает аметистовую окраску, в процессе роста накапливается в области главного ромбоэдра. Не исключено также, что в ходе роста железо, вызывающее аметистовую и цитриновую окраску, было распределено по всему кристаллу и природное облучение придало аметистовый цвет образцу. Позднее малый ромбоэдр, по-видимому, подвергся тепловому воздействию, которое изменило цвет до цитринового, тогда как область главного ромбоэдра по тем или иным причинам такого воздействия не испытала. И наконец, нагрев, вероятно, влиял на кристалл таким образом, что при последующем облучении окрасились лишь определенные участки.

Отправным моментом, общим для всех этих теорий, является температура исчезновения аметистовой окраски (из-за разрушения центров окраски), или температурная точка, выше которой цитрин не может больше превращаться в аметист. Нассау подвергал участки природных образцов гамма-облучению с помощью изотопа кобальт-60, при этом доза достигала по крайней мере 1 млн. рад. Некоторые участки как аметистовой, так и цитриновой области приобретали дымчатый оттенок (который был слабым и не искажал первоначальный цвет). Затем образцы нагревали до 350°C и дымчатость исчезала.

Во втором эксперименте разноокрашенные фрагменты двух различных кристаллов нагревали на воздухе (выдерживая при постоянной температуре в течение двух часов) сначала при 250°C, а затем температуру повышали ступенями в 50°C. Аметистовые участки желтели после двухчасовой выдержки при 400°C. В цитриновых участках изменений не отмечалось. Некоторая дымчатость, образовавшаяся после нагрева при 350°C, была ликвидирована последующим облучением, причем восстанавливались оба первоначальных цвета. Для сравнения испытывались два природных аметиста с чередующимися секторами темной и бледной окраски, соответствующими главному и второстепенному ромбоэдрам. Первый эксперимент, описанный выше, дал аналогичные результаты (появление дымчатости); первоначальный цвет восстанавливался после нагревания до 350°C. Однако после следующих стадий нагревания секториального аметиста при более высокой температуре были получены разные результаты. При 400°C темно-пурпурные секторы посветлели, а бледные стали желтыми. Кристалл приобрел общий вид, сходный с аметист-цитрином. При нагревании до 350°C аметистовый цвет полностью восстанавливался.

Даже после облучения гамма-лучами кобальта-60 (доза 200 Мрад) имеющиеся в настоящее время аметист-цитрины не превращаются полностью в аметист. Когда секториальные аметисты нагревались до 450°C, все секторы с исходной аметистовой окраской становились желтыми. Последующее облучение, сопровождаемое нагреванием до 350°C, позволило восстановить прежний вид типичного аметист-цитрина, но не обеспечило получение сплошной аметистовой окраски.

Все это показывает, что комбинация аметист-цитрин можно получить либо термической обработкой секториального аметиста бразильского типа при средней степени нагрева (облучение возвращает к исходной окраске), либо более интенсивным нагреванием с последующим облучением и повторным прокаливанием при менее высоких температурах. Второй способ не оставляет возможности для восстановления сплошного аметистового цвета. Можно отличить материал, окрашенный таким путем в природных условиях, от материала, подвергнутого лабораторной обработке. Вероятно, можно с успехом обрабатывать кварц различного происхождения.

Синий кварц. Идентифицировать синюю разновидность синтетического кварца, окрашенную кобальтом, сравнительно легко. Достаточно

характерен не только цвет, непохожий на цвет сапфира или аквамарина, но и специфический спектр поглощения, состоящий из трех широких полос в оранжевой, желтой и зеленой областях. Они находятся около 650 и 535 нм.

Один образец синего синтетического кварца, полученный в СССР, давал спектр кобальта, в котором центральная полоса была уже, чем полосы, наблюдаемые для окрашенных кобальтом синих синтетических шпинелей.

Аметист. Несколько лет назад на рынке начал появляться синтетический аметист, что вызвало некоторую тревогу, хотя и не в такой степени, как если бы этот камень был более важным в коммерческом отношении. Сообщалось, что некоторые аметисты обладают слабой зеленоватой флюоресценцией, но ее можно наблюдать только в бледноокрашенных камнях. Природные аметисты иногда проявляют сходную флюоресценцию, хотя более темноокрашенные разновидности лишены этого эффекта. Отмечается некоторая неясная цветовая полосчатость; характерных включений не наблюдалось. Цвет изменяется от бледного коричневатопурпурного до густого пурпурного, который, однако, сохраняет несколько коричневатый оттенок. Я отмечал подобную особенность в двух камнях, присланных мне в 1978 г. для исследования. Некоторые синтетические кварцы пропускают коротковолновые ультрафиолетовые лучи, но присланные мне камни были для них непрозрачны.

Идентификация

В одной из статей Шнайдера и Дрешеля (Schneiler, Dröschel, 1983) утверждается, что можно найти метод, позволяющий отличать природный аметист от синтетического. У синтетического аметиста не наблюдается полисинтетического двойникового по бразильскому закону (гл. 2), тогда как для большинства (если не для всех) природных аметистов характерны такие двойники. Синтетический материал отличается не только по интерференционной фигуре, но и по отсутствию видимых двойниковых пластинок на поверхности, полированной тонким абразивом на мягком круге с низкой частотой вращения; при той же обработке естественных камней эти пластинки становятся видимыми. После такой проверки камень можно снова отшлифовать с очень небольшой потерей в его массе.

Инфракрасная спектроскопия. Был предложен другой способ отличить природный аметист от синтетического, основанный на применении инфракрасной спектроскопии. Критерием оценки природы образца служит пропускание или поглощение света с длинами волн $4000-100 \text{ см}^{-1}$ (2500–100 000 нм). Электромагнитное излучение в этой части спектра имеет частоты, соответствующие колебаниям молекул или определенным решеточным модам твердых тел. Колебания можно возбуждать с помощью электромагнитных излучений с той же частотой, если они сочетаются с изменением соответствующего дипольного мо-

мента. Дальнейшее обсуждение этого метода приведено у Линда и Шмецера (Lind, Schmetzer, 1983).

Энергия излучения поглощается и переходит в энергию колебаний молекул твердого тела. Спектрометр непрерывно регистрирует поглощение образцом, подвергающимся облучению, и сканирование происходит по всему интервалу частот, который может оказаться полезным при исследовании. Положение и интенсивность линий поглощения позволяют получить информацию о составе образца (поскольку определенные группы молекул имеют характеристические частоты), а также сведения о способе вхождения некоторых молекул в данный материал.

Исследовать кварц с помощью инфракрасной спектроскопии совсем просто. При этом нет необходимости в какой-либо мере разрушать образец; для исследования вполне достаточно иметь монокристаллы. Линд и Шмецер показали, что отличить синтетический аметист от натурального можно по инфракрасному спектру в области $3800-3000 \text{ см}^{-1}$. Еще не вполне точно установлена взаимосвязь между содержанием элементов-примесей и интенсивностью спектральных линий (в особенности это относится к аметисту). Измерения на отражение непригодны для определения связанной воды или гидроксида, так как излучение недостаточно проникает в глубь образца. Вуд и Нассау (Wood, Nassau, 1968) исследовали плоскопараллельные пластинки, помещавшиеся перпендикулярно к падающему пучку. При такой схеме не происходило преломления и путь луча не претерпевал каких-либо геометрических изменений. Это — идеальный метод, однако совершенно ясно, что ограненные камни исследовать таким способом сложнее. В этом случае показатель преломления неодинаков для разных длин волн падающего луча вследствие дисперсии, и поэтому геометрия прохождения луча также непостоянна и непрерывно изменяется в зависимости от длины волны. Нельзя быть уверенным, что пути прямого и прошедшего через ограненный камень лучей останутся симметричными.

Кроме того, после прохождения через камень лишь небольшая часть общего количества излучения окажется зарегистрированной детектором. Цеччини (Zecchini, 1979) рассматривал взаимно противоположное действие преломления и дисперсии на регистрируемый инфракрасный спектр. Для исследования ограненных кристаллов кварца он применял открытую кювету с постоянной длиной пути луча, заполненную CCl_4 , выполняющим роль иммерсионной жидкости. При длине волны 589 нм четыреххлористый углерод имеет показатель преломления 1,4607. Некоторое неудобство использования содержащих галогены углеводородов, подобных CCl_4 , заключается в опасности повреждения зеркал гидридами галогенов. Линд и Шмецер предпочитали пользоваться жидким парафином, который не содержит галогенов и не имеет линий поглощения в области $3800-3000 \text{ см}^{-1}$. Его показатель преломления составляет 1480–1484. Поскольку прозрачность парафина низка, была сделана специальная кювета с переменной длиной пути луча. В качестве материала окон применялся бромистый калий.

Дефекты, способствующие диагностике

Было обнаружено, что некоторые поставляемые промышленностью высококачественные синтетические кварцы обладают синей люминесценцией под действием ионизирующих излучений при низких температурах (Alonso и др., 1983). При возбуждении кварца с помощью импульсного источника электронов с энергией 500 кэВ при температуре 4,2 К некоторые исследователи обнаружили испускаемое излучение с энергией около 2,7 эВ (463 нм). Это же возбуждение вызывает кратковременное поглощение света с длиной волны 215 нм. Сходная, сохраняющаяся после возбуждения полоса поглощения в ультрафиолетовой области приписывалась влиянию дефектов — кислородных вакансий. В статье указывается на существование трех перекрывающихся линий с различными температурами гашения и максимумами при 440, 425 и 380 нм. Термическое гашение этих линий происходит соответственно в интервалах 120–160, 170–210 и 220–270 К. Полосу при 380 нм можно уничтожить интенсивным облучением электронами при комнатной температуре или с помощью электродиффузии в атмосфере водорода. Полагают, что эта полоса возникает в результате рекомбинации электрона и дырки, расположенных вблизи скомпенсированного примесью щелочи иона алюминия. Происхождение полос при 440 и 425 нм неизвестно. Считается, что эти наблюдения могут лечь в основу отборочных испытаний блоков кварца, предназначенных для устройств с точной регулировкой частоты.

Прохождение через кристалл интенсивных ударных волн вызывает образование дефектов. Возникающие в кристалле дефекты могут в ряде случаев обуславливать термолюминесценцию. Это явление применительно к кварцу рассматривается в статье Серебренникова и др. (1982). При самых низких импульсных давлениях большая часть образующихся дефектов имеет структурный характер (к ним относятся вакансии и ионы с измененной валентностью). Авторы исследовали образцы кварца из взрывной брекчии метеоритного кратера методами термолюминесценции, рентгенолюминесценции и электронного парамагнитного резонанса. Для термолюминесценции наблюдались максимумы при 365, 470 и 610–680 нм. Изучение методом ЭПР показало присутствие электронных вакансов типа E_1 и дырочных центров. Считается, что они вызваны центрами в том числе образующимися при замещении Si^{4+} на Al^{3+} и (или) Fe^{3+} .

Статья Макларена и др. (McLaren et al., 1983) посвящена исследованию водяных пузырьков в синтетическом кварце. Эти пузырьки выявляются с помощью измерений интенсивности рассеянного света; об их появлении можно также судить по степени возрастания объема кристалла в зависимости от температуры и времени нагревания. Микроструктуры исследовались под трансмиссионным электронным микроскопом. Предложенное автором объяснение механизма основано на допущении вхождения водорода в структуру кварца в виде дефектов $(4H)_{Si}$. При

нагревании кристалла дефекты диффундируются с образованием кластеров. Кластер, состоящий из n $(4\text{H})_{\text{Si}}$, вызывает образование водяного пузырька с $(n - 1)$ H_2O без какого-либо изменения объема кристалла. При некоторой температуре T имеется некоторый критический диаметр пузырька, выше которого давление пара P превышает давление p , соответствующее механическому равновесию пузырька с вмещающим его кристаллом. Если P становится больше p , пузырек увеличивается в объеме вплоть до $P = p$, причем рост объема достигается путем диффузии Si и O по каналам из пузырька в связанную с ним ловушку на краевой дислокации. Такой процесс сопровождается заметным увеличением объема кристалла. Два диффузионных процесса протекают одновременно до тех пор, пока все дефекты $(4\text{H})_{\text{Si}}$ не будут поглощены пузырьками.

Прочие физические и оптические свойства

Спайность

Проявляемое многими минералами свойство раскалываться вдоль определенных кристаллографических направлений не слишком характерно для кварца и никоим образом не мешает его огранке в виде драгоценных камней. Если кристалл кварца разбить резким ударом, то получившиеся осколки скорее всего не будут иметь никаких признаков спайности, хотя некоторые поверхности и могут обладать характерным для спайности перламутровым блеском. Спайность может возникать по граням семи различных простых форм кристаллов кварца, однако лишь три из них заслуживают внимания. Наиболее заметна спайность по ромбоэдру. Такие спайные поверхности получить легче, чем по призме. Спайные поверхности несколько неровные. Для некоторых плохо ограненных выделений кварца пегматитового происхождения отмечалась ясная и легко образующаяся ромбоэдрическая спайность. Дана (Dana, 1962) описал ромбоэдрические спайные поверхности, достигающие в поперечнике 0,6–2,7 м, наблюдавшиеся в ядрах некоторых калифорнийских и аризонских пегматитов. Иногда спайность проявлена лишь по одной из трех симметрически эквивалентных плоскостей; при этом кварц приобретает пластинчатый облик. Некоторые авторы связывают такие случаи с отдельностью, а не со спайностью. Анизотропии излома кварца посвящена статья Блосса (Bloss, 1957). Им изучались обломки измельченного кварца с целью установить угол между оптической осью и плоскостью, на которой эти обломки лежат в препарате. По данным большого числа измерений установлено, что наилучшая спайность наблюдается по r или z , а вторая по качеству — по m (см. рис. 2.1).

В одном из экспериментов выпиленные по базису пластинки кварца обкатывались и измельчались на подложке, покрытой очень грубым абразивом; при этом возникали выемки, ограниченные плоскостями ромбоэдрической спайности по r и z . Тонкий луч света, наблюдаемый сквозь полученную таким способом поверхность, образует шестиугольную фигуру со сторонами, параллельными следам граней призмы. Поскольку все стороны шестиугольника проявляются с одинаковой интенсивностью, спайности r и z должны быть развиты в равной степени. Если из кристалла кварца выточить сферу с грубо обработанной поверхностью, то при падении на эту сферу светового луча будут

наблюдаться поверхностные рефлексы, свидетельствующие об одинаковом развитии спайности по r и z . Тепловой удар или высокое локальное давление будут вызывать ромбоэдрическую и призматическую спайность; тот же эффект иногда возникает при ударе, причем лучше всего это наблюдать на тонких срезах кварца. Указывается, что спайности r и z могут выявляться путем надавливания слегка закругленным металлическим острием на тонкие срезы, вырезанные параллельно $\{1120\}$.

Поскольку атомы двух образующих кварц элементов связаны в тетраэдры, при расколе по спайности разрываются связи между кремнием и кислородом. Расчет числа разрывающихся связей в тех или иных участках структуры показывает, что минимальная энергия разрушения связей имеет место при расколе кварца по плоскостям r и z ; в обоих случаях сила связи одинакова, и тот факт, что спайность по r выглядит более гладкой, чем по z , вероятно, является следствием большей однородности плоскости r на атомном уровне.

Твердость

Шкала твердости по Моосу представляет собой качественную последовательность минералов в зависимости от сопротивления царапанью. Кварц занимает в этой последовательности промежуточное положение — его твердость равна 7. Поскольку большая часть взвешенной в воздухе пыли представляет собой кремнезем такой же твердости, значение 7 по шкале Мооса соответствует границе, ниже которой используемые для украшений материалы будут постоянно изнашиваться, если не принимать мер для предотвращения такого износа. Твердость кварца различна в зависимости от направления; по $\{10\bar{1}0\}$ он заметно тверже, чем по $\{0001\}$. Некоторые мастера обнаружили, что грани призмы труднее пилится и шлифуются, нежели другие грани. Это совпадает с результатами двух других методов испытания твердости, где применяется вдавливание. Интересно отметить, что хотя кварц занимает в шкале Мооса более низкое положение, чем топаз (твердость 8), он более устойчив в отношении износа под действием пескоструйной обработки. Различие в твердости можно соотнести с направлениями потенциальной спайности.

Кристаллы кварца раскалываются с образованием раковистого излома; иначе говоря, он разламывается по произвольным направлениям, причем структура поверхности по форме напоминает раковины моллюсков. Такой тип излома имеют многие минералы; особенно он характерен для стекол. Отмечалось, что по мере увеличения угла между осью c и поверхностью излома последняя становится более ровной, а «раковины» — более пологими. Наблюдались раковистые трещинки размером до 1 мм, расходящиеся от минеральных включений в кристаллах кварца; трещины появляются в результате изменения объема при нагревании. Как массивные, так и волокнистые разновидности кварца имеют занозистый излом.

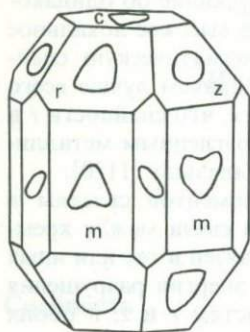


Рис. 4.1. Идеализированное изображение фигур удара, образующихся на различных гранях кристалла кварца.

Если на естественную или отпиленную поверхность кварца уронить стальной шарик, образуются трещины спайности по ромбоэдру $[01\bar{1}1]$ (z). Фигуры, получающиеся под действием давления и удара, сходны между собой, но в последнем случае трещины несколько неправильнее по форме. Фигуры удара изменяются в зависимости от испытываемой поверхности; по-видимому, каждая такая фигура обусловлена следами пересечения исследуемой поверхности гранями идеального ромбоэдра (рис. 4.1).

Удельный вес

Наиболее достоверное значение удельного веса ($2,65074 \pm 0,00001$) приведено Дана (Dana, 1962) для произвольно выбранного бесцветного кристалла природного кварца; оно получено в вакууме при 0°C по отношению к воде при 4°C . Абсолютная плотность ниже приблизительно на 0,00007.

Окраска

Различные типы кварца охватывают очень широкий интервал окрасок, хотя ни одна из них не является наиболее чистой из возможных для данного цвета. Существуют красные кварцы, но ни один из них не достигает чистоты красного цвета рубина; любой зеленый кварц трудно принять за изумруд. В случае рубина и изумруда окраска вызывается присутствием хрома, который входит в кристаллическую решетку, замещая в ней алюминий. Хром поглощает свет в видимой части спектра таким образом, что остающиеся цвета чисты и эстетически привлекательны. Цвет разновидностей кварца имеет иное происхождение; процесс его возникновения более сложен и был уже рассмотрен в гл. 3. Кварц не только имеет более спокойный цвет, но и обладает менее яркой окраской по сравнению с другими драгоценными камнями. Отчасти это связано с его меньшей твердостью, а отчасти — с относительно низким показателем преломления; обе эти причины приводят лишь к умеренной силе отраженного света.

Показатель преломления

Показатель преломления кварца, как и его удельный вес, весьма постоянен. Для натриевого света (589,3 нм) при комнатной температуре установлены следующие значения: 1,5533 для необыкновенного луча и 1,5442 – для обыкновенного. При тех же условиях двупреломление было равно 0,0091. В камнях, которые обладают двупреломлением, обыкновенному лучу соответствует величина показателя преломления, остающаяся неизменной. Переменный показатель преломления наблюдается для необыкновенного луча. При исследовании кварца на рефрактометре край подвижной шторки (соответствующий необыкновенному лучу) оказывается в положении с более высокими значениями показателя преломления, чем неподвижный край. Поэтому кварц относится к классу оптически положительных минералов (если минерал оптически отрицателен, подвижный край занял бы положение с меньшей величиной показателя преломления по сравнению с неподвижным краем). Поскольку кварц относится к тригональной сингонии, в кристаллах которой имеется одна оптическая ось (направление одинакового преломления), его можно назвать одноосным положительным минералом. Двупреломление кварца снижается по мере увеличения длины волны, и об этом следует помнить при пользовании стандартным рефрактометром, калиброванным для натриевого света. Двупреломление уменьшается, хотя и в меньшей степени, по мере повышения температуры вплоть до 573 °С; в этой точке наблюдается скачок (при этой температуре кварц испытывает переход в другую модификацию). Слабое двупреломление наблюдается также в направлении оптической оси, но оно не играет существенной роли при оптическом исследовании.

Бесцветные и окрашенные разновидности кварца несколько различаются по показателю преломления, значения которого для дымчатого кварца ниже, чем для горного хрусталя. По-видимому, показатели преломления снижаются по мере увеличения густоты окраски; при уничтожении дымчатости при нагревании (напомним, что этот эффект связан с центрами окраски) показатели преломления повышаются. Сообщалось даже о различии показателей преломления для правого и левого кварца (показатель правого кварца выше в пятом десятичном знаке после запятой).

Вращение плоскости поляризации света

Кварц обладает способностью вращать либо вправо, либо влево плоскость поляризации света, проходящего параллельно вертикальной оси кристалла. В разных образцах горного хрусталя эта способность несколько изменяется, хотя и незначительно; так же незначителен и ее рост по мере повышения температуры. В точке перехода (573 °С) рост усиливается. В области существования высокотемпературного кварца величина вращения вновь падает. По данным Дана, скорость увеличения

при комнатной температуре составляет 0,014% на 1 °С. Под углом $56^{\circ} 10'$ к оси *С* кварц становится оптически неактивным. При рассмотрении вращающей способности кварца принято называть кристаллы, вращающие плоскость поляризации по часовой стрелке, правыми, а против часовой стрелки – левыми.

В соответствии с принадлежностью к тригональной сингонии кварц в нормальных условиях одноосен, но может иметь и аномально двuosный характер, наблюдаемый для тех кристаллов, в которых проявлены те или иные напряжения. Двuosность можно вызвать путем сжатия кристалла в направлении, наклонном относительно оптической оси, а также путем создания термического градиента или электрического поля. Двuosность характерна для аметистов, что может быть связано с их зональным строением, при котором могут чередоваться зоны правого и левого кварца. Если вырезать сферу из прозрачного куса кварца (лучше всего горного хрусталя), то, поместив ее между скрещенными поляризаторами, можно наблюдать уникальную интерференционную фигуру. Она особенно хорошо видна, если кристаллу придана сферическая форма, так как при этом он сам по себе действует подобно конденсорной линзе. Наблюдатель видит черный крест, ветви которого становятся слегка размытыми по мере приближения к периферии (рис. 4.2). Там, где ветви должны пересекаться (в центре креста), они исчезают, а в центре наблюдается серия концентрических цветных колец (похожих на мишень для стрельбы). Исчезновение ветвей креста в месте их пересечения однозначно указывает на принадлежность исследуемого минерала к кварцу. Следует отметить, что если образец слишком тонок, чтобы существенно повернуть плоскость поляризации, ветви креста будут смыкаться в месте пересечения. Необходимо также отметить, что большинство минералов, относящихся к семейству каркасных силикатов,

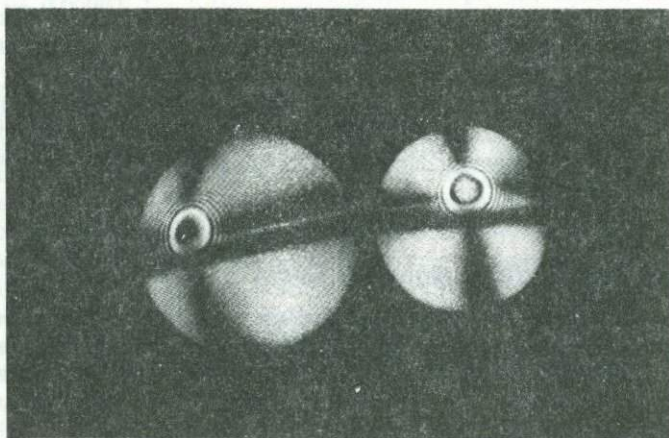


Рис. 4.2. Уникальная интерференционная фигура для двух кварцевых бусин, помещенных между поляризаторами в полярископе.

имеет очень низкое двупреломление. Интересно сравнить интерференционные фигуры кварца и других минералов (для несферических препаратов нужно поместить под анализатор сильную собирающую линзу). Черные ветви креста называются изогирами и наблюдаются в тех местах, где направления колебаний фигуры совпадают с одним из направлений поляризации света в скрещенных поляризаторах. Темное пятно в центре (напомним, что оно отсутствует в случае кварца, если только препарат не представляет собой тонкий шлиф) называется мелатопом; это пятно соответствует точке выхода оптической оси, и, следовательно, вдоль этой оси отсутствует как разность хода лучей, так и двупреломление. Все другие сходящиеся в образце лучи выше него расщепляются на два компонента. Вызванная разностью хода этих компонентов интерференция вызывает появление интерференционных цветов. Образующиеся цветные кольца называются изохромами.

Люминесценция

Люминесценция — появление видимого излучения с большей длиной волны, чем возбуждающее облучение образца, — не представляет собой важного свойства для диагностики кварца. Никаких изменений не наблюдается при облучении монокристаллов различных разновидностей кварца коротко- или длинноволновым ультрафиолетом, а также рентгеновскими лучами. Сообщалось о вспышках люминесценции, наблюдавшихся для некоторых массивных зернистых разновидностей, но, по-видимому, связаны с присутствием чужеродных включений в трещинах или вдоль границ зерен. Некоторые аметисты с жидкими включениями обладают локальной флюоресценцией синевато-зеленого или желтовато-белого цвета. Дана (Dana, 1962) упоминает также о молочно-белом кварце из Вернона (Британская Колумбия), который становится розовато-оранжевым при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом. Некоторые кварцы могут проявлять синевато-белую флюоресценцию под действием ультрафиолета, если их предварительно подвергнуть действию рентгеновских лучей. В некоторых искусственно полученных кварцах, содержащих двухвалентный марганец и алюминий, наблюдается красная катодоллюминесценция с максимумом интенсивности при 650 нм; слабая катодоллюминесценция может проявляться и для некоторых природных кварцев.

Отдельные образцы агатов и халцедонов могут светиться зеленым цветом под действием коротковолнового ультрафиолета; это свечение, возможно, обусловлено вростками соединений уранила. На плато Колорадо халцедоновая форма кремнезема приурочена к урановым месторождениям песчаникового типа. Моховые агаты из района Суитуотер (шт. Вайоминг) также обнаруживают зеленую флюоресценцию.

Бесцветные кварцы иногда обладают слабой синевато-белой флюоресценцией при воздействии на них рентгеновских лучей; в некоторых случаях свечение сохраняется после удаления источника облучения (это

явление называется фосфоресценцией). Некоторые розовые кварцы при таком же воздействии могут светиться оранжевым цветом. Иногда для необработанного кварца может наблюдаться бледная синевато-белая или желтоватая термолюминесценция (свечение при нагревании); в отдельных случаях ее можно наблюдать в темноте, но после достижения температуры 300–400 °С она исчезает. Различные зоны роста одного и того же кристалла могут реагировать на возбуждение по-разному. Облученный рентгеном кварц обладает термолюминесценцией, которая может проявляться также в уранилсодержащем халцедоне.

Триболюминесценция. Цветные вспышки света можно наблюдать у некоторых минералов при их растирании, трении кусков один о другой или царапаны. Это явление известно под названием триболюминесценции. Некоторые образцы кварца при растирании становятся ярко-желтыми; это явление наблюдается для розового или молочного кварца, а также для аметиста. Некоторые халцедоны в тех же условиях могут тускло светиться красновато-коричневым светом.

Иногда при измельчении кварц под действием сильного сдавливания может светиться зеленым светом; такой же эффект наблюдается при раскалывании кремня.

Все сказанное выше носит лишь информативный характер, и ни один из перечисленных способов не следует применять к кварцу в диагностических целях, ибо существуют другие более эффективные способы его диагностики.

Включения

Большие различия в геологической обстановке, в которой встречается кварц, обуславливают широкий спектр включений, для которых кварц играет роль минерала-хозяина. Эти включения можно подразделить на: протогенетические (во всех случаях твердые, независимо от того, представлены ли они тем же минералом, что и хозяин, или другим), под которыми подразумеваются включенные растущим кристаллом кварца ранее образованные материалы; сингенетические – образовавшиеся одновременно с кварцем, как твердые, так и жидкие; эпигенетические – возникшие после завершения роста минерала-хозяина. К последнему классу относятся трещины, радиационные нарушения и выпадение других минералов внутри кварца.

Протогенетические включения. К протогенетическим включениям в кварце относятся различные типы востков асбестовых минералов, актинолита, анатаза, эпидота, а также некоторых разновидностей слюды и рутила. Некоторые из этих минералов могут встречаться также в виде сингенетических включений. Как правило, протогенетические включения редко наблюдаются в виде совершенных кристаллов, обычно они частично разрушены: изъедены, корродированы или же целиком растворены, и от них остался лишь скелетоподобный каркас. Присутствие в кварце востков хорошо образованных кристаллов свидетельствует об

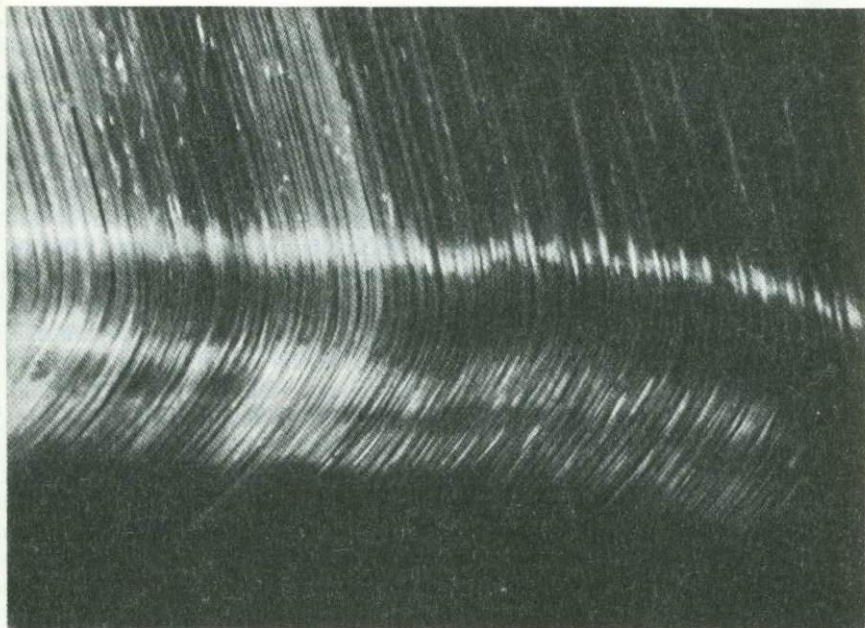


Рис. 4.3. Увеличенное изображение волокон псевдоморфозы кварца по асбесту в «тигровом глазе». Линия переливающегося отражения света располагается под прямым углом к волокнам.

их кристаллизации в ходе одного и того же процесса, хотя включения возникают на более ранних его стадиях. Хорошим примером такого рода могут служить включения в горном хрустале игольчатых кристаллов эпидота; они обрастают горным хрусталем, относящимся к более поздней фазе процесса образования породы. Наглядными примерами корродированных протогенетических включений являются вроски зеленых кристаллов актинолита, наблюдающиеся в некоторых образцах горного хрусталя из Альп. Эффект образования желтых и черных полос в «тигровом глазе» обусловлен кварцевыми волокнами, представляющими собой псевдоморфозы по асбесту (крокидолиту) (рис. 4.3).

Сингенетические включения. К сингенетическим включениям относятся хлоритовые вроски в моховом агате (название произошло от конфигурации этих вросток), кристаллы роговой обманки, образующие густую сеть в горном хрустале, а также иголки рутила и гематит, эффектно выглядящие в кристаллах горного хрусталя.

Хорошо образованные кристаллы турмалина в горном хрустале тоже выглядят весьма привлекательно. Обычно цвет турмалина либо зеленый, либо черный; считают (Gübelin, 1974), что кварц с включениями черного турмалина встречается в пегматитах, поскольку черный турмалин чаще всего связан с пегматитовыми, а зеленый — с гидротермальными

месторождениями. Иногда в горном хрустале наблюдается халцедон, в некоторых случаях образующий сферулы. Совместно с ним присутствуют другие минералы, например рутил, имеющий обычно золотисто-желтый цвет; когда в горном хрустале его много, такие камни называют «волосы Венеры».

К сингенетическим относятся не только твердые включения. Во многих кристаллах кварца обнаружены жидкие включения, и их пространственное распределение и взаимное положение служат индикаторами механизма роста кристалла-хозяина. Поскольку в драгоценных камнях, образовавшихся из очень горячих растворов или безводной магмы, не может сохраниться вода, в них отсутствуют жидкие включения. Это один из признаков отличия ограненного горного хрусталя от алмаза, образующегося на больших глубинах в условиях очень высокого давления; в алмазе не может сохраниться жидкость. Кварц в таких условиях не образуется, и в нем часто содержатся жидкие включения.

Один из типов включений, характерных для кварца и заполненных жидкостью, связан с первичными пустотами. Они образуются при поступлении жидкости, из которой растет кристалл, кратковременными порциями. Рост кристалла сосредотачивается на достройке наиболее важных граней и ребер; пространство между ними при этом остается не заполненным твердой фазой. Прежде чем поступление кристаллизационного раствора станет более обильным, пустоты заполняются газовой или жидкой фазой, и при возобновлении роста новый кристаллический материал перекрывает эти пустоты, а не заполняет их. Жидкость или газ оказываются заключенными в пустоте, принимающей форму кристалла-хозяина, поскольку пустоты замыкаются плоскими гранями. Такие пустоты имеющие отчетливую кристаллографическую форму, могут не только повторять форму кристалла-хозяина, но и превращаться в трубочки роста, сужающиеся к одному из концов и располагающиеся параллельно направлению роста. Содержимое пустот представляет собой первичную жидкость.

Пустоты другого типа образуются в тех случаях, когда росту кристалла мешают препятствия типа минеральных включений, затрудняющих поступление кристаллизационного раствора. Подъемы и спады температуры и давления также могут снижать скорость роста. При этом остаются пустоты, часто похожие по форме на сами кристаллы, так как стенки пустот представлены такими же плоскими гранями, что и у кристалла-хозяина. Подобные пустоты называются отрицательными кристаллами. При определенном освещении (например, отраженным светом) в отсутствие газовых пузырьков их можно ошибочно принять за твердые включения, состоящие из того же материала, что и кристалл-хозяин.

В процессе роста кристалла-хозяина могут развиваться вторичные жидкие включения за счет заполнения питающим раствором трещин и полостей, возникающих в результате нарушения условий роста (могут образоваться, например, трещины спайности). Когда одна из таких

трещин заполняется за счет притока кристаллизационной жидкости, ее называют залеченной. При залечивании некоторое количество жидкости остается внутри трещины; эта остаточная жидкость занимает лишь небольшую часть исходной трещины, поскольку остальное пространство уже заполнено в ходе залечивания; вследствие выпадения твердой фазы сохранившаяся жидкость сжимается в очень малом пространстве, принимающем своеобразную форму.

Жидкость, находящаяся в пустотах, может представлять собой воду, рассол, двуокись углерода, углеводороды или свободный аммиак, а также другие вещества. Гюбелин (Gübelin, 1974) приводит рисунки горного хрусталя, содержащего многочисленные первичные включения прозрачной жидкости, в которой плавают нефтяные капли. Это свидетельствует о присутствии нефти, которая захватывалась включениями во время роста кристалла.

Эпигенетические включения. Процессы, происходящие после завершения роста кристалла-хозяина, могут привести к возникновению целого набора эпигенетических включений. Наиболее важным, по-видимому, является появление астеризма — эффекта звездчатости, характерного для корунда, розового кварца и некоторых других драгоценных камней. В случае корунда минеральные включения, образующие звезды, почти неизменно представлены рутилом; в некоторых розовых кварцах в качестве такого минерала был зафиксирован силлиманит. Вначале, когда завершалось формирование кристалла-хозяина, материал, который впоследствии войдет в состав звезды, находился в виде примеси к основным компонентам кристалла. В более поздние периоды геологического времени кристалл мог подвергаться нагреву до определенной степени, при котором образующий звезду минерал выделялся по определенным кристаллографическим направлениям кристалла-хозяина, в то время как последний сам по себе не подвергался плавлению. В этом случае в кабошоне, вырезанном таким образом, что основание его образует прямой угол с вертикальной осью кристалла, будет наблюдаться шестилучевая звезда.

Обзор включений

В кварце встречается так много различных включений, что посвященный им обзор представляет значительный интерес при исследовании драгоценных камней. В дополнение к уже упомянутым минералам, образующим включения в кварце, следует назвать следующие.

1. В некоторых кристаллах горного хрусталя из Франции и Канады было найдено золото. Иногда оно заключено в неправильных полостях, а иногда заполняет отрицательные кристаллы.

2. Небольшие выделения золота остаются в пустотах вместе с жидкостью и имеют характерный для золота габитус.

3. В кристаллах горного хрусталя из Биннталя (Швейцария) можно встретить анатаз (как и рутил, являющийся одной из полиморфных

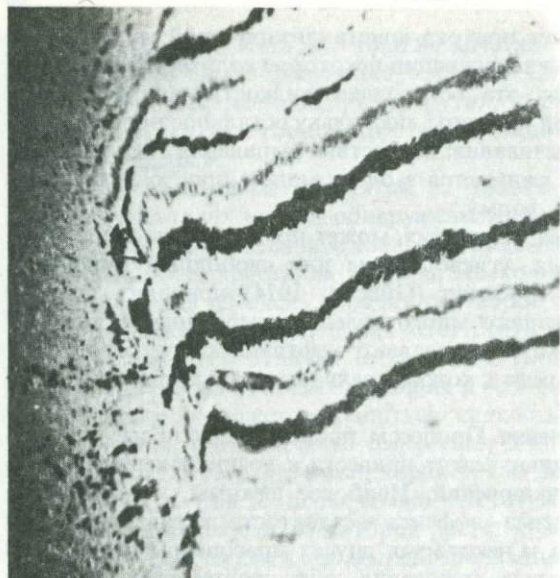


Рис. 4.4. Характерная структура узора зебровой или тигровой шкуры в аметисте.

модификаций TiO_2). Анатаз представлен хорошо образованными тетрагональными дипирамидальными кристаллами от желтого до коричневого цвета. Из Биннталя поступает также горный хрусталь с включениями сульфида свинца и мышьяка – дюфренуазита. Он встречается в виде очень тонких серебристых иголочек, тесно ассоциирующихся с включениями, содержащими двуокись углерода.

Различные наименования получили многочисленные аметисты, имеющие полосчатое строение, напоминающее шкуру зебры или тигра (рис. 4.4). Полосы образуются, по-видимому, вследствие тех или иных нарушений процесса роста или же из-за внутренних разрывов, вызванных давлением. Они состоят из заполненных жидкостью трубочек, расположенных параллельно друг другу.

Исследование богатых включениями кристаллов горного хрусталя весьма информативно: здесь можно встретить роговую обманку, турмалин, гётит и гематит. Рутил и роговая обманка указывают на пегматитовое происхождение кварца, в то время как гётит и турмалин характерны преимущественно для кварца гидротермального генезиса.

Среди массивных разновидностей кварца наиболее привлекательно выглядят моховые агаты и похожие на них разновидности, которые образуются при кристаллизации инородных минералов по трещинам. Эти минералы обычно представлены гидроксидами железа или марганца (например, лимонитом или манганитом). Их выделения принимают характерный облик, напоминающий причудливые растения. Это обусловлено кратковременностью кристаллизации внедренных в кварц минералов, при которой успевают образоваться лишь скелетные формы.

Хлорит или роговая обманка, создающие рисунок мохового агата, представляют собой сросшиеся псевдоромбоздрические пластинки, располагающиеся вдоль оси под прямыми углами к базальной плоскости. В одной из разновидностей кварца, сходной с «тигровым глазом», характерный отблеск могут обуславливать группы кристаллов какоксена.

Наличие блесков и красивого цвета зеленого авантюринового кварца вызывается рассеянными в нем листочками фукситовой (хромсодержащей) слюды.

Разновидность кварца с проявлением астеризма приобретает это свойство благодаря присутствию в ней плотно уложенных иголок гётита, придающих кварцу как цвет, так и звездчатость. Окраска красновато-коричневая; кристаллы гётита лежат на гранях двух ромбоздров (правого и левого) вблизи окончания кристалла кварца. Кристаллики гётита имеют довольно большую длину и вытянуты параллельно трем горизонтальным осям кварца. Они не достигают ребер ромбоздра, и поэтому вдоль них остаются прозрачные участки. Именно эти светлые области при симметрии ромбоздра образуют подобие лучей звезды.

Описание некоторых включений в кварце приведено Гюбелином (Gübelin, 1976); они представлены гельвином и турмалином в ассоциации с грюнеритом. В обработанном горном хрустале он обнаружил хорошо образованные зеленовато-желтые тетраэдры, которые были проанализированы на электронном микроанализаторе. Анализ показал присутствие железа, алюминия, кремния, магния, марганца и отсутствие кальция. Вначале предположили, что включения представляют собой один из иносилкатов группы амфиболов или какой-либо минерал группы асбеста. Низкое содержание магния послужило аргументом, отрицающим возможность отнесения минерала к иносилкатам типа серпентин-асбеста. Присутствие следов марганца окончательно подтвердило принадлежность иглоподобного минерала к грюнериту, а желтоватых тетраэдров — к гельвину (марганецсодержащему бериллиевому незосилкату). Грюнерит представляет собой почти чисто железистый гидроксил-амфибол с небольшим количеством MgO и Al_2O_3 , но обычно содержащий MnO . Цвет его изменяется от бесцветного до коричневого, а некоторые кристаллы обладают зеленой окраской; он образует асбестовидные волокна и расходящиеся из одной точки агрегаты. Этот минерал является обычным включением в кварце.

Пабиан (Pabian, 1978) исследовал включения в агате. Протогенетические включения (кристаллизовавшиеся раньше минерала-хозяина) весьма обычны в желваках агата из «молодых» геологических провинций. Желваки из более древних провинций беднее протогенетическими включениями. Примерами могут служить кристаллы арагонита и гипса. Иногда включения замещаются халцедоном. Сульфидные включения, характерные для молодых агатов из третичных отложений Техаса, замещены оксидами в более старых агатах из отложений позднего докембрия в районе Верхнего озера. Исходя из природы и характера

включений можно определить температуру образования содержащего их агата. Включения продуктов распада вмещающих пород и низкотемпературных модификаций минералов (арагонита и гипса) указывают на низкие температуры (25–30 °C) и небольшие давления, при которых формировался содержащий их агат.

Характерными чертами сингенетического агата являются цветные полосы, пузырьки жидкости и деформационные структуры. Как правило, агатовые желваки имеют зоны, сложенные полосчатым сферолитовым халцедоном, внутри которых находятся эвгедральные кристаллы кварца. На внешней стороне желваков можно наблюдать другие минералы, в частности кальцит и арагонит, но они не соприкасаются с полосчатой частью желвака. Согласно общей теории образования агатов, вначале образуется первичное ядро SiO_2 , и от него радиально растут волокнистые поликристаллические агрегаты, в которых кристаллиты развиваются под небольшим углом к оси волокна. Считается, что сферолитовый рост происходит в многокомпонентных системах, в которых компоненты накапливаются в ходе процесса кристаллизации и коэффициент диффузии в жидкой фазе мал по сравнению со скоростью роста кристаллов. Подобные условия могут возникнуть только в коллоидной среде, в которой концентрация компонентов намного выше насыщения. В зависимости от достигнутого уровня вязкости среды будет происходить сферолитовый или несферолитовый рост кристаллов. Если в среде возрастает концентрация кремнезема, то в определенный момент достигается такой порог вязкости, при котором начинается сферолитовый рост и образуется полосчатый халцедон. Рост продолжается до такого момента, когда весь коллоидный раствор оказывается израсходованным или когда происходит его разбавление (Oehler, 1976). В системах с низкой вязкостью или сильным разбавлением происходит нарастание эвгедральных кристаллов кварца. Таким образом, полосчатая часть желвака характерна для такой стадии роста, при которой вязкость коллоидного раствора кремнезема была высокой. Эвгедральные кристаллы кварца отвечают такому периоду формирования желвака, когда вязкость кремнеземистого коллоидного раствора становилась низкой или же он был разбавленным.

Природные кремнеземистые коллоидные растворы обычно содержат загрязняющие примеси, которые могут отторгаться халцедоном в процессе роста сферолитов. Эти примеси концентрируются в промежутках между сферолитами, эффективно препятствуя дальнейшему росту кристаллов в данных участках. Такой процесс способствует дальнейшему росту лишь кончиков сферолитовых кристаллов, в то время как промежутки между скоплениями кристаллов заполняются примесями с образованием полос.

Происхождение полосчатости агатов являлось предметом постоянных споров. Лизеганг (Liesegang, 1915) искусственно получил полосы хромата серебра в желатиновой среде при реакции нитрата серебра с бихроматом калия. Хромат серебра осаждался только в том случае,

когда раствор насыщался нитратом серебра. Серебро стремится проникнуть за пределы слоя осаждения, и при насыщении образуется новый его слой; затем процесс циклически повторяется до тех пор, пока не прекратится поступление исходных веществ. Такое же объяснение было предложено Фаррингтоном (Farrington, 1927).

Во многих желваках наблюдаются полосы, пересекающие поверхность под прямым углом, причем образуется нечто похожее на трубку. Некоторые авторы приписывают такой трубке роль канала, по которому питающий материал поступает вовнутрь желвака. Можно представить себе и обратную картину, когда трубки служат для вывода материала; иногда в одном и том же образце можно найти не одну такую трубку. В некоторых из этих агатов внешние полосы деформированы. Это, по-видимому, свидетельствует о желеобразном состоянии агата в тот момент, когда раствор уходил из желвака по трубке. В ходе кристаллизации пространство, занимаемое гелем кремнезема внутри желвака, сжимается, деформируя его структуру.

Наличие пузырьков в агате может означать, что химические процессы приводили к вскипанию содержимого желвака. В дальнейшем пузырьки оказываются заключенными внутри затвердевшего геля.

Дендриты и перистые образования могут возникать соответственно при образовании оксидов и окисленных сульфидов. По-видимому, дендриты сосредотачиваются в пространстве между полосами халцедона; перистые образования были обнаружены внутри кристаллических агрегатов. Один из типов агата, называемый оолитовым, имеет концентрически-зональную структуру. Агатовые оолиты росли от центра к периферии в результате поступления материала на их внешние поверхности. Вероятно, полость, в которой рос агат, заполнялась минерализующей водой многократно.

Одна из статей посвящена распространению трещин в кварце (Joshi and Paul, 1976). Пластические деформации и зарождение трещин наблюдаются в тесной пространственной связи между собой. Трещины можно обнаружить в передней части образований, которые авторы называют скоплением дислокаций; на плоскости ромбоэдрической спайности после протравливания водяным паром при 280 °С в течение 12 ч можно видеть треугольные ямки травления. Они располагаются вдоль одной из возможных плоскостей скольжения в кварце (0001). Поскольку видимых границ на концах скоплений дислокаций не наблюдается, можно заключить, что эти границы обусловлены наличием некоего препятствия, которое может представлять собой загрязняющую примесь. Трещины можно наблюдать также на пересечении полос скольжения с границами зерен. Зарождение микротрещин на таких пересечениях отмечалось вдоль некоторых направлений спайности в кварце. Плоскость спайности протравливается расплавленным КОН в течение 1 ч при 250 °С. При этом обнаруживаются две системы рядов ямок травления. Межзерновые трещины двух видов – клиновидные и сферические – приурочены к границам зерен: клиновидные образуются в углах зерен, а сферические – вдоль

всех границ зерен. Трещины обоих типов появляются только на поверхности излома прокаленных образцов кварца. Был сделан вывод о том, что в хрупких материалах типа кварца зарождению трещин способствуют пластические деформации. Релаксация накопившихся напряжений (вызванных выклиниванием ряда множественных дислокаций) осуществляется в результате смыкания передовых дислокаций с образованием трещины. Эти трещины имеют тенденцию к распространению вдоль направлений скольжения.

Месторождения Европы

Введение

Три следующие главы посвящены описанию некоторых важнейших месторождений кварца в мире. Кварц как минерал вездесущ и встречается в столь многих местах, что для описания выбраны лишь те месторождения, в которых проявляются какие-то своеобразные его черты — например, необычные цвета или формы кристаллов, ювелирное качество материала или красивые включения. Однако даже эти черты обнаружены в достаточно большом числе месторождений, так что необходимо было и среди них выбрать такие, которые бы действительно заслуживали серьезного научного, а не только любительского изучения.

Невозможно перечислить месторождения в порядке их ценности для коллекционеров, поэтому читатель сам должен выбрать и оценить наиболее интересующие его месторождения. Коллекционеру-любителю следует придерживаться принципов сохранности месторождений, так как в большинстве случаев лучше оставить материал на месте, нежели затерять его в коллекции, которая в лучшем случае увидит свет на местной выставке.

Агаты на морских отмелях. В книге Роджерса (Rodgers, 1975) содержится ряд полезных советов любителям сбора агатов на морских отмелях. Гальки не остаются на одном месте, а подвержены действию так называемого прибрежного дрейфа. Угол, под которым волны накатываются на берег, не является прямым и зависит от направления ветра. Галька выносится на отмель при опадании волны. Вода, откатывающаяся обратно, возвращает гальку в сторону моря, но уже прямо вниз, перпендикулярно к береговой линии. В целом движение гальки оказывается зигзагообразным, и в результате галечник транспортируется вдоль береговой линии в направлении преобладающих ветров. Гальки на восточном побережье Англии, например, перемещаются к югу, а на южном и западном побережьях — соответственно к востоку и северу. Движение гальки может прерываться природными факторами типа изгибов береговой линии, а также такими рукотворными сооружениями, как пирсы и волнорезы.

Агаты после их вымывания из прибрежных скал рассеиваются на очень больших пространствах морских отмелей, причем этот процесс длится тысячелетия. Хотя в результате истирания агаты уменьшаются в

размере, благодаря своей твердости они достаточно хорошо сопротивляются этому процессу, так что нередко можно встретить целые желваки. При переносе реками или ручьями через их устья к морским отмелям агаты также подвергаются некоторому истиранию; в этом случае желваки часто приобретают характерную форму, облегчающую их распознавание. Большая часть прибрежно-морских агатов представляет собой обломки желваков, на которых сразу же можно увидеть полосчатость (особенно в мокром виде). Целые желваки труднее узнать, хотя для них характерна изъеденная ямками поверхность. Обнаружению желваков способствует их полупрозрачность, которая также лучше видна на мокрых образцах.

Месторождения Альп

Кристаллы кварца с признаками нарушений процесса роста из Зафина (Гризонс, Швейцария) были описаны Рикартом (Rykart, 1978a) (рис. 5.1). Они были найдены в ряде расщелин. Большинство из них представляют собой кристаллы горного хрусталя с классическим призматическим габитусом; среди них встречаются и другие кристаллы, имеющие габитус Мюзю. Они достигают 6 см в длину, а отношение длины к ширине составляет 9:1. Включения хлорита придают кристаллам глубокий зеленый цвет. Вероятно, рост большинства кристаллов прерывался отложением хлорита. Обследование двух кристаллов указывает на то, что кристаллизация кварца типа Мюзю не начиналась непосредственно перед кристаллизацией призматического кварца. Следовательно, они представляют собой две различные генерации кристаллов кварца.

В одной из расщелин обнаружены кристаллы кварца с признаками перерыва в росте. Именно из-за этих признаков кристаллы такого типа называют «кварц с мантией», поскольку они кажутся как бы окутанными плащом или заключенными в муфту. На поздней стадии кристаллизации такого кварца на всех призматических гранях выпало некое неидентифицированное вещество. Дальнейшее отложение кремнезема происходило

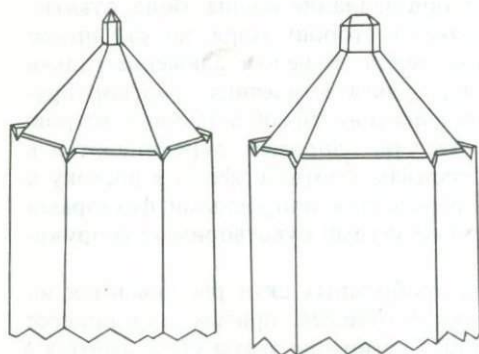


Рис. 5.1. Признаки перерывов в росте кристаллов кварца, найденных в пещерах Зафина (Гризонс, Швейцария).

поверх образовавшегося слоя в виде прозрачного покрытия толщиной 1–2 мм. На ромбоэдрических гранях слой постороннего вещества не отлагался. Благодаря последующим стадиям кристаллизации некоторые кристаллы представляют собой фантомы; это свидетельствует о неоднократности осаждения постороннего вещества и отложения кварца. Одним из интересных следствий такого процесса является тот факт, что грани призмы по высоте кристалла как бы выступают за свои обычные пределы, почти целиком обрамляя нижнюю часть головки.

Рикарт (Rykart, 1978b) сообщает также о находке кристаллов кварца с включениями, напоминающими белые нити. Они обнаружены в Фирстгебит (вблизи Гриндельвальда, Бернезе-Оберланд). Полагают, что нити представляют собой вместилище водных растворов, возможно, насыщенных метаном.

Этим же автором (Rykart, 1979) были описаны ориентированные сростки кристаллов кварца из альпийского месторождения в Центральной Швейцарии. Со многими из них можно ознакомиться в Музее естественной истории в Люцерне. Среди этих кристаллов можно выделить по меньшей мере две генерации. Вопреки обыкновению кристаллы второй генерации растут не на вершинах кристаллов первой генерации (с образованием хорошо известных «скипетров»), а на некоторых других участках первичного кристалла. Процесс мог протекать следующим образом: когда в первый раз кристалл начал расти из раствора, на нем развивались двуконечные головки при очень коротких гранях призмы. В течение временного перерыва грани одного из кристаллов покрывались пленкой углеводородов (основную роль здесь играл метан). По-видимому, некоторые из граней особенно охотно затягивались этой пленкой. При возобновлении роста из раствора начиналось отложение кремнезема на гранях, лишенных такой пленки (рис. 5.2).

Кристаллы эпидота в кварце были описаны Шталдером (Stalder, 1980). Кварцевые кристаллы из Эггишорна (недалеко от Фиша, Вале, Швейцария), прозрачные и дымчатые, содержали включения игольчатых зеленых или бесцветных кристаллов. Как показали анализы, это были кристаллы эпидота. Некоторые из них оказались пустотелыми, а другие представляли собой псевдоморфозы. Значительная часть эпидота замещена кварцем. Оказалось невозможным установить, принадлежат ли такие пластинки кристаллу-хозяину, или же это кварц, заместивший эпидот, который в большом количестве присутствует в первичных жидких включениях и в свою очередь также содержит мальчайшие кристаллики, цвет которых изменяется от ярко-красного до черного. По-видимому, это оксиды или гидроксиды железа. В некоторых пустотелых кристаллах можно различить небольшие агрегаты прозрачной слюды (по всей вероятности, серицита). Лучше всего это видно вблизи поверхности кристалла. Отрицательные кристаллы эпидота можно обнаружить только в таких кварцевых кристаллах, поверхность которых не несет каких-либо признаков рекристаллизации. Многие из кристаллов кварца представляют собой совершенные двуконечные кристаллы от 4

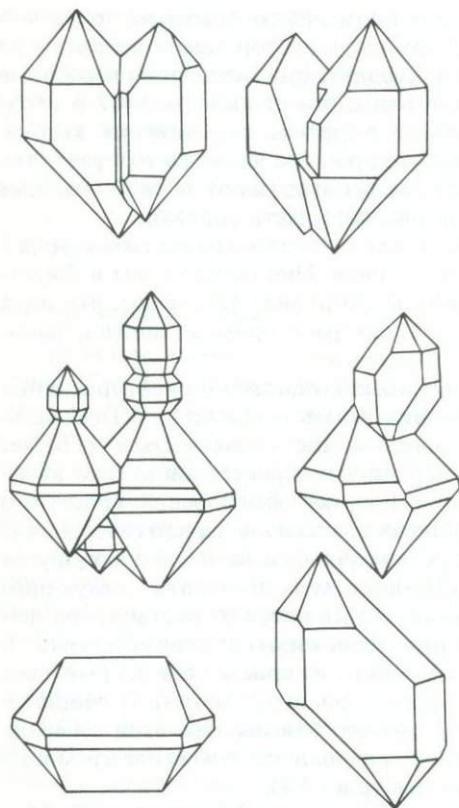


Рис. 5.2. Двуконечные кристаллы с признаками аномалий роста, встречающиеся в Центральной Швейцарии. После первого этапа роста имел место временный перерыв, в течение которого некоторые грани покрывались пленкой углеводородов. После возобновления процесса роста кремнезем начинал отлагаться на гранях, свободных от пленки углеводородов.

до 7 см в длину. В одном случае наблюдались включенный в кварц кристалл эпидота длиной 4,6 см, а также отрицательные формы.

Некоторые из жидких включений, содержащихся в кварцевых псевдоморфозах, были подвергнуты анализу, показавшему их двухфазность; часть из них представляет собой водный раствор с 9% по массе хлористого натрия и пузырьками газа.

Рассматриваемые кристаллы встречаются в гранитогнейсах. Возможно, что различные кристаллические фазы образовывались следующим образом. Первыми в трещинах породы кристаллизовался игольчатый эпидот из растворов, обедненных CO_2 . Затем эти кристаллы эпидота были целиком заключены в кристаллы кварца. Трещины, вызванные тектоническими подвижками, отделили многие из кварцевых кристаллов от подложки. В этот момент заполняющий трещину раствор содержал около 8% по массе CO_2 , что привело к нарушению равновесия между гидротермальным раствором и кристаллами эпидота, которые начали растворяться. Затем поверхности излома кварца раскристаллизовывались с образованием двуконечных кристаллов. В это же время каналы,

оставшиеся после растворения эпидота, заполнялись кварцем. Наконец, после кристаллизации кристаллы кварца становились дымчатыми в результате воздействия радиоактивных эманаций из вмещающих пород.

В кварцевых жилах вблизи Пиппергвальда (южный Тироль) добывают кристаллы кварца своеобразной формы. Некоторые из них описаны Рикартом (Rykart, 1981). Хотя эти кристаллы отчасти напоминают найденные на склоне массива Готтард к северу от Айроло, тирольские образцы обладают более резко выраженным своеобразием. Кристаллы образуются из жильного кварца в полостях, заполненных гидротермальными растворами. Друзы состоят из четко ограненных кристаллов с заостренным ромбоэдром, напоминающих кварц из верховьев долины Бедретто. Наиболее крупные кристаллы (длиной до 10 см) находятся на дне пустот. Некоторые кристаллы двуконечны. Облик кристаллов определяется присутствием нескольких по-разному заостренных ромбоэдров. Наиболее часто встречаются грани положительного ромбоэдра, примыкающие к граням положительной призмы, а грани отрицательного ромбоэдра соседствуют с гранями отрицательной призмы. Призматические кристаллы редки. Иногда на призмах присутствуют вицинальные грани, придающие поверхности волнообразный характер, как и у некоторых кристаллов из других альпийских месторождений. Нередко встречаются дофинеийские двойники, а некоторые кристаллы имеют игольчатый габитус, сходный с габитусом типичных кристаллов кварца из Палтано. В этом месторождении кварц ассоциируется с пиритом, борнитом, кальцитом, мусковитом, малахитом, гётитом, лимонитом и ковеллином.

В Пиппергвальде жилы приурочены к пустотам, образующимся в процессе складкообразования конечных стадий формирования Альп. Они заполнялись богатыми кремнеземом гидротермальными растворами, при охлаждении которых кристаллизовался практически чистый кварц.

Все кристаллы обладают пластинчатым строением. Большая часть кристаллов, прикрепленных к стенкам, была оторвана от них при тектонических подвижках. Сохранились на своем месте лишь мелкие кристаллы. Кварц частично покрыт халькопиритом, выделения которого достигают 4 см. В некоторых случаях на кварце найдены отложения кальцита в виде мелких кристаллов с сильно корродированными гранями. Иногда на кристаллах кварца можно видеть тонкие чешуйки серицита, который также служит одним из минералов, выполняющих пустоты. Отдельные кристаллы кварца имеют гётитовые оболочки медно-красного цвета; мелкие кристаллы пирита размером менее 1 мм полностью превращены в гётит и предстают собой блестящие черные псевдоморфозы.

Редко встречающиеся бразильские двойники кварца были описаны Офферманом (Offermann, 1981). Эта форма кварца не характерна для альпийского региона, она установлена в районе Галенсток. В южной части новой Готтардской линии туннель врезается в склон ниже Мотто-

Бартола. Паркером (Parker, 1954) были описаны минералы из этого района, в том числе кристаллы кварца с хорошо заметным своеобразным строением поверхности некоторых граней. Это строение обуславливает эффект чередующихся блестящих и тусклых участков граней; такие кристаллы получаются в результате очень сложного двойникования, при котором некоторые из граней подверглись интенсивной эрозии. Такой кварц был еще раз обнаружен в 1953 г. на южной стороне Пиан-Зекко; на нем видны только две грани, так как образец представляет собой обломок кристалла. На этих гранях наблюдаются блестящие и тусклые пятна. Несколькими годами позже было замечено, что в целом ряде образцов кварца из Тицино наблюдается чередование призматических граней с гранями притупляющего кристалл ромбоэдра. Эти грани расположены горизонтально относительно главной оси кристалла *c*. Грани с чередующимися пятнами наблюдаются только на отдельных участках кристалла и образуют прямоугольники, напоминающие паркетный пол, в котором отдельные паркетины расположены под углом 45° к обычной горизонтальной штриховке на призматических гранях. Когда на такие чередующиеся пятна падает свет, светлые и тусклые участки видны очень отчетливо. Если повернуть кристалл хотя бы на 2° вокруг главной оси, светлые и темные пятна меняются местами. До настоящего времени считается, что подобный эффект возникает как следствие двойникования либо по бразильскому, либо по дофинейскому закону или по обоим этим законам одновременно.

Кварц с марганцовистыми включениями описан Рикартом (Rykart, 1982). Рассматриваемые им образцы найдены в районе Оберхальбштейн, но аналогичные образцы известны и на других альпийских месторождениях. Считается, что некоторое количество марганца поступает из скелетов живых организмов типа радиолярий (обитатели моря), которые были найдены в марганцевых желваках, добытых со дна океана. В период альпийского орогенеза формировались такие соединения марганца, как браунит, родонит, сурсассит, тинценит и пьемонтит. В кантоне Гризонс (Швейцария) встречается кварц с коричневатыми и красноватыми включениями, причем иногда они имеют форму фантомов.

В ряде статей Вайтала (Vital, 1980) рассматриваются интересные кристаллы кварца, найденные в кантоне Гризонс (Швейцария). На этих кристаллах грани отрицательного трапецоэдра чередуются с гранями призм. Такие же кристаллы известны на некоторых месторождениях Бразилии, которые, как и швейцарские, имеют штриховку на гранях отрицательного ромбоэдра. Наиболее богато такими образцами месторождение Серра-до-Сипо вблизи Диамантина (шт. Минас-Жерайс). При внимательном осмотре в них можно разглядеть ничтожное количество по крайней мере одного неидентифицированного минерала.

Кристаллы кварца с включениями гематита были найдены в ущелье Кавради в районе Тавеч (кантон Гризонс, Швейцария). Они замечательны своими тончайшими кристалликами гематита, на которые часто эпитаксиально нарастает рутил. Эти пластинки образуют колоннообраз-

но вытянутые скопления внутри кристаллов кварца. В одном из обследованных образцов скопления гематитовых пластинок протягиваются наклонно к вертикальной оси кристалла-хозяина, хотя в некоторых других образцах они направлены приблизительно параллельно этой оси. В некоторых случаях гематит выходит на поверхность кварца, а иногда целиком заключен внутри. Включающий гематит кварц обычно прозрачен, но в отдельных случаях в нем наблюдаются признаки перехода в светло-молочный. Некоторые включения имеют плоские грани, и в этом случае все кристаллики одинаково ориентированы. Зерна гематита могут соединяться между собой, и иногда на них можно заметить группы мелких кристалликов рутила длиной до 0,4 мм. Считают, что образование вытянутой цепочкой включений гематита происходит за счет многократного расчленения более крупных кристаллов этого минерала в тот момент, когда они обрастали кварцем. Часть кристаллов кварца имеет дымчатый оттенок, обусловленный действием соседствующих источников излучения.

Во многих месторождениях встречаются кристаллы кварца, сгруппированные в звездоподобные друзы; процесс их формирования рассматривается в статье Маллиса (Mullis, 1982) (рис. 5.3). Такие друзы были встречены, в частности, на месторождениях Швейцарской Юры, а также в полостях среди вулканических пород в Высоких Альпах (Дром, Франция). Во всех случаях звезда состоит из сферического агрегата кристаллов халцедона с отдельными монокристаллами кварца, исходящими как бы из общего центра; концы их расположены таким образом, что напоминают лучи звезды. Иногда монокристаллы имеют форму скипетра, но в любом случае они обычно хорошо развиты (рис. 5.4). Положительный ромбоэдр всегда развит лучше отрицательного, который может вообще отсутствовать. Трапецоэдры не наблюдаются.

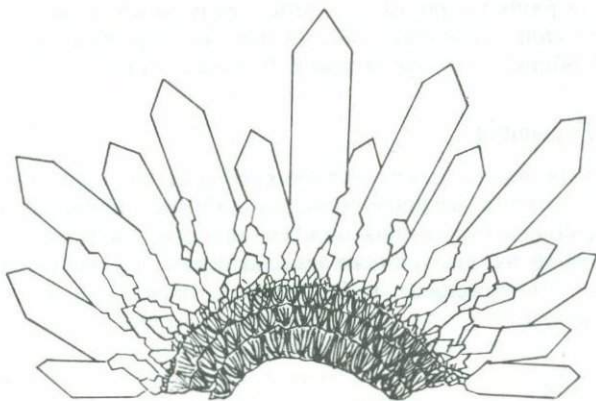


Рис. 5.3. Сферический агрегат кристаллов халцедона внутри образования, напоминающего звезду, встречающийся в альпийских месторождениях Швейцарской Юры и в Высоких Альпах (Дром, Франция).

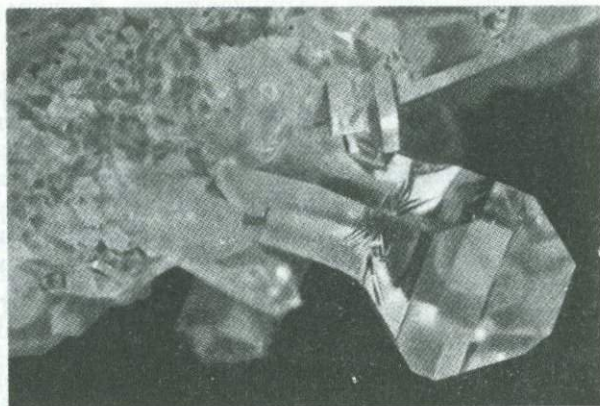


Рис. 5.4. Скипетровидный (булавовидный) кварц.

Звездчатые образования зарождаются из волокон двух разновидностей халцедона (собственно халцедона и кварцина), на которых развиваются монокристаллы кварца. Оси c монокристаллов параллельны аналогичным осям волокон халцедона. Поэтому рост кристаллов направлен перпендикулярно волокнам халцедона и параллельно волокнам кварцина. В халцедонах многие зародыши параллельны поверхности сферолита, и лишь немногие из них могут вызвать начало вертикальной кристаллизации кварца. Обратная картина наблюдается в кварцине, где происходит геометрический отбор: возможность развиваться имеют лишь кристаллы, перпендикулярные к поверхности, на которой они растут. Если эта поверхность сферическая и потенциальные горизонтальные поверхности роста угнетены, возможность роста имеют не только вертикальные кристаллы, но все они стремятся придать друзе звездчатый облик из-за сферической формы субстрата.

Западная Германия

Редкая разновидность кристаллов кварца была найдена в Зауэрланде (ФРГ). Они имеют псевдокубический габитус, который вызывается большой разницей в размерах положительного и отрицательного ромбоэдров; второй из них, а также призма почти полностью отсутствует. Кристаллы, обнаруженные в Варштейне, окрашены в желтый цвет примесью железа.

Остров Эльба

Интересные кристаллы, представляющие собой параморфозы β -кварца по α -кварцу, были найдены на о. Эльба и описаны Рикартом (Rykart, 1980). При температуре 573 °C образуется только α -кварц, единственно

устойчивый при этой и более высокой температуре. Ниже этой точки образуется обычный β -кварц. Переход из одной модификации в другую изменяет структуру кристалла; при этом α -кварц с гексагональной структурой становится β -кварцем с тригонально-трапецеоздрической структурой. Такое превращение называют параморфным¹. Внутри небольшой полости в Кампаноне (о. Эльба) были найдены в той или иной степени корродированные кристаллы параморфного кварца. Головки кристаллов закруглены, и под микроскопом видно, что грани покрыты мельчайшими ориентированными кристалликами кварца. По-видимому, эти кристаллики образовались под действием корродирующих гидротермальных растворов, создававших полость, в которой кварц замещал перешедшую в раствор породу. Кристаллы этого кварца испытывали поверхностную коррозию. Затем по мере снижения температуры гидротермального раствора кремнезем осаждался на гранях параморфных кристаллов, и в этом обогащенном кремнеземом слое начинала расти вторая генерация кварца. Ни в одном из альпийских районов не обнаружено образцов такого типа, так как там магматические образования, которые могли бы содержать такой кварц, настолько изменены позднейшим метаморфизмом, что никаких следов параморфоз в них не сохранилось.

Англия

Многочисленные месторождения кварца известны на Мендип-Хиллс (Сомерсетшир). Одно из наиболее важных месторождений вблизи деревни Далкот расположено между Уэлсом и Шептон-Маллет. Здесь имеются действующие разработки известняка, и в южной части карьера известняки перекрываются довольно мощным горизонтом красных глин, в которых можно обнаружить жеоды. Из-за своего внешнего вида их здесь называют картофельными камнями. Они характерны для конгломератов и мергелей кейпера, или верхнего триаса (возраст 190–200 млн. лет), отложения которого несогласно залегают на складчатых и разрушенных породах силурийского, девонского и каменноугольного возраста (420–280 млн. лет). Породы кейпера представлены преимущественно известняковыми и доломитовыми аргиллитами и алевролитами с некоторым количеством песчаника и мергеля общей мощностью 50–130 м на севере Мендипа и 460 м и более в южной части района. Между двумя участками развития осадочных пород залегают главным образом конгломераты и брекчии, подстилаемые более древними породами и образующими кольцо вокруг Мендипа, свидетельствующее (Harding, 1978) о существовании в этом месте древней береговой линии. Конгломераты и брекчии слагают свиту доломитовых конгломератов, состоящую в основном из обломков карбонового известняка с некоторым количест-

¹ Если после превращения сохраняется внешняя форма высокотемпературной фазы. — Прим. перев.

вом древних красных песчаников и кварцитовых (жерновых) песчаников, рассеянных в матрице из тонкозернистого известняка. Известковистый характер матрицы изменялся за счет привноса магния и образования доломита; в отдельных локальных участках она подвергалась силификации и гематитизации. Доломитизация захватывала как обломочный материал, так и матрицу и сопровождалась частичной дегидратацией, которую можно обнаружить по превращению желтого лимонита в темно-красный гематит. Чем дальше от береговой линии, тем более тонкозернистыми становятся конгломераты. Мергели также претерпевали доломитизацию; в них $MgCa(CO_3)_2$ замещал рекристаллизованный кальцит. В результате переработки водными растворами оксидов железа эти породы приобретали желтый или бледно-коричневый цвет. В растворах помимо воды и карбонатов присутствовали также хлоридные и сульфатные ионы, что выразилось в появлении галита, гипса и целестина. Эти замещающие минералы можно встретить как в матрице, так и в виде желваков.

Таким образом, желваки кремнезема возникали на фоне широкого проявления химических изменений. Некоторые из них сложены крупными кристаллами кварца с внутренним слоем из более мелких зерен. Другие состоят из волокнистого кварца, в которых призматический кварц может присутствовать или отсутствовать. Оба типа могут иметь внутри либо полость, либо ядро из кварца, кальцита или целестина. Было показано, что рост минералов кремнезема происходил от периферии к центру. Присутствие ангидрита в молочных участках кварцевых желваков, а также (в очень малых количествах) в халцедоновых желваках свидетельствует об образовании желваков кремнезема путем замещения ангидрита. В триасовое время Британские острова находились на линии тропиков, и поэтому по своему происхождению и составу рассматриваемые желваки в некоторых отношениях напоминают современные аналогичные образцы из Персидского залива. Возможно, кремнезем поступал за счет разрушения спикул кремневых губок или в результате выветривания глинистых минералов. Согласно одной из теорий, при одинаковой скорости замещения ангидрита кремнеземом и поступления сульфатных растворов желваки были бы скорее всего сплошными; если скорость притока растворов была бы выше, чем скорость роста, ангидрит растворялся бы с образованием пустот, внутри которых росли бы затем минералы кремнезема.

Твердые желваки халцедона или яшмы сходны по своей текстуре с найденными в Далкоте желваками из ангидритовых пластов верхнепермского возраста (235 млн. лет). В статье Харрисона (Harrison, 1975) отмечается возможность зарождения желваков в виде коллоидальных масс кремнезема, сохраняющихся в богатых ангидритом грунтовых водах. Они могут сростаться друг с другом, затвердевать при ритмическом отложении халцедона и захватывать различные количества гематита, который обуславливает цветную полосчатость, а также немного флюорита и барита.

С точки зрения гранильщика, существуют два типа материала. К первому из них относится ярко-пурпурный полосчатый агат, а ко второму — кварц-агат с красными и белыми полосами, содержащий многочисленные глазки. Жеоды варьируют от чисто кальцитовых конкреций с мелкими, покрытыми кристаллами полостями до желваков, состоящих из колец белого кварца и красного агата с бесцветной, белой, бледно-аметистовой, красной или дымчатой окраской в центре. Иногда из кристаллов кварца выступают тонкие кристаллики гёта, длина которых достигает нескольких миллиметров. В некоторых жеодах содержатся очень тонкие двуконечные кристаллы кварца. С помощью кислоты они могут быть очищены от обычно обволакивающего их кальцита. Чаще всего эти кристаллики имеют микроскопические размеры.

После распиливания значительная часть материала пригодна для изготовления часовых циферблатов и облицовки шкатулок. Наилучшим полирующим средством считается окись церия, а следы белого порошка, остающегося в наиболее пористых участках, можно затем удалить с помощью размягченного воска. Наиболее подходящим средством при галтовке, по-видимому, является окись олова, и сложности возникают только в том случае, когда агат с красными полосами чередуется с серым кварцитом, особенно если данная разновидность агата содержит некоторое количество включенного в него кальцита. В этих случаях необходимо тщательное предварительное шлифование.

Уэссекский звездчатый агат представляет собой замещенный агатом коралл, встречающийся на юго-западном побережье Англии. Он имеет бледно-коричневую окраску с белым, как мел, звездчатым узором.

Корнуолл и Девон. Коллинз (Collins, 1982) приводит список месторождений кварца, который заслуживает воспроизведения в этой книге, хотя во многих случаях местá находок могут быть указаны не точно или же месторождение может оказаться полностью выработанным. Для горного хрусталя он упоминает, начиная с Корнуолла: Баталлак; Боскауэн-Клифс; Баллсуидден; Сперн-Мур; Труэллард; Хьюл-Даймонд с несколькими месторождениями в Сент-Джаст; Сент-Майкелс-Маунт; Хьюл-Алфред; Филлак (знаменито хорошо развитыми ромбоэдрами); Херланд; Тревакас; район Лизард (в серпентинах); Суонпул и Мейнпорт вблизи Фалмута (с первичными ромбоэдрами); Долкот; Норт-Роскир и другие рудники в районе Камборн; рудники Ист-Хьюл-Крофти, Ист-Пул и Карн-Бри; Хьюл-Баллер; рудники Хьюл-Спарнон и другие в районе Редрут; Консолидейтед и другие рудники в Гуэннапе (здесь на кристаллах наблюдаются первичные ромбоэдры и другие формы); Перранзабулло (двуконечные пирамиды без призм); Сент-Ю (в сланцах); вблизи Кархейза (с преобладанием первичного ромбоэдра); Пенлейн и Трелоуэт в Сент-Колумбе; Ист-Криннис, Сент-Блейзи; Рестормел; Лостуител; Хьюл-Мэри-Энн; Мененион вблизи Делабола; Тинтаджел (заметим, что «Хьюл» представляет собой новое написание «Уил»).

В Девоне Коллинз упоминает месторождения Роборо-Даунс; Бакленд-Моначорум (здесь найдены красивые дипирамиды); Хьюл-Бетеи

вблизи Тавистока; в окрестностях Окгемптона; Джидли вблизи Мортон-Хампстида; Норт-Бови; Комбемартин возле Илфракомба; Ланди-Айленд.

Аметисты известны в месторождениях Боталлак; Хьюл-Беллон; Хьюл-Кок; Босаверн; Ливант, Нанджисел-Ков; Роскоммон-Клиф и в других месторождениях вблизи Сент-Джаста; Хьюл-Юни, Коппер-Хилл; Пенандера; Хьюл-Толгас; Ист-Пул (здесь аметист найден с бледно-желтым чейлибитом); Грейт-Хьюас-Юнайтед, Сент-Мьюан; Полгут; Сент-Клир, Сент-Ю (красивые кристаллы с выпуклыми гранями призмы). Цитрин встречен в месторождениях Боталлак, Сент-Майклс-Маунт, Карн-Бри и Рестормел.

Коллинз приводит также список месторождений, на которых можно встретить любопытные включения в кварце. Горный хрусталь с включениями касситерита, пирита и халькопирита найден в Хьюл-Даймонд; с включениями гематита — в Боталлак, Долкот, Ист-Пул и Рестормел; аметист с вросками шерла обнаружен в Роскоммон-Клиф. Жидкие включения известны в кристаллах из месторождений Юнайтед-Майнс, на руднике Виртуоз-Леди, а также в Биралстоне.

По наблюдениям Коллинза, кварц из медных жил редко бывает прозрачным, а в оловянных жилах чаще всего представлен длинными тонкими призматическими кристаллами. Они не известны в свинцовых жилах, где кристаллы отличаются сильным блеском, что, в частности, характерно для месторождений Уэст-Чивертон, Хьюл-Роуз и Хьюл-Пенроуз в Ситни.

На пляже в Маразционе (Корнуолл) добываются агаты желтоватой окраски, которые вообще типичны для Корнуолла. Хотя это графство и богато различными минералами, наибольшим распространением здесь пользуются граниты, не являющиеся источником агатов.

Суррей. Места находок халцедона в Суррее описаны в статье Бербиджа (Burbage, 1972). Халцедон найден в песчаниках Хайт-Бедс к югу от Гилдфорда и образует наросты или тонкие оболочки на песчанике. Камень можно вырезать таким образом, чтобы обыграть красоту халцедона. Обычно минерал имеет белый цвет, но в некоторых образцах наблюдается очень бледный синий оттенок.

Северо-восточная Англия. На восточном побережье Йоркшира, приблизительно в двух милях к югу от Скарборо, тянется уступ, сложенный валунной глиной, которая подстилает прибрежные пески. Из нее добывается оранжевый агат; здесь можно найти как карнеол, так и полосчатый агат с оранжевыми и белыми полосами.

Интересный агат встречается вдоль реки Кокет (Чивиот, графство Нортумберленд); в нем красивые участки комбинируются с чередующимися полосами халцедона и грубозернистого кристаллического кварца. Находящийся недалеко пляж в Амбле богат агатами; по данным Роджерса (Rodgers, 1975), материал, встречающийся на северной отмели эстуария реки Кокет, принесен из Шотландии.

Шотландия

На острове Арран в Шотландии имеется гористый район (Грей-Киллин), сложенный эродированными гранитами. Возможно, это остатки третичного вулкана. Граниты пронизаны дайками и жилами базальтов, пегматитов и аплитов. Часто встречаются друзы. В южной части острова третичные лавы перекрывают песчаники, конгломераты и брекчии с небольшими интрузиями гранитов. В южной части также находится остаточное жерло вулкана, окруженное габбро-диоритами. На севере горизонт древних красных песчаников и некоторые карбоновые породы содержат яшму; в песчаниках спорадически встречаются также агаты. Они невысокого качества; преобладающими цветами являются пурпурный и красный, в отдельных случаях цвет агата молочно-синий. Сообщалось о находках аметиста в Глен-Розе, но точное место этих находок не известно, так как невозможно опираться на старые сведения и неточные публикации поисковиков. Агаты можно найти также на юге острова; они образовывались в лавах и затем сохранялись при их выветривании, переотлагаясь в виде конгломератов и вновь подвергаясь выветриванию. Некоторые крупные миндалины содержат кристаллы аметиста вместе с кернгормом и горным хрусталем; все эти кристаллы, как правило, небольших размеров. На пляжах Макрай и Корриджилс можно найти агаты из конгломератов и брекчий горизонта молодых красных песчаников. Сообщалось, что метаморфизованные песчаники вблизи истоков реки Глен-Клой содержат аметист; карьер для его добычи когда-то существовал вблизи Роса в Ламлаше. В настоящее время ни в одном из этих мест разработок не ведется.

Одно из лучших месторождений агата в Шотландии находится в южном Пертшире (рис. 5.5). Все еще заслуживает посещения Охилл, хотя коллекционеры должны быть осторожны при поисках, так как некоторые из наиболее продуктивных участков находятся на площади функционирующих сельскохозяйственных угодий. Агаты образовывались в лавах, изливавшихся во время каледонского горообразования более 370 млн. лет назад; позже лавы подвергались эрозии и поднятиям, сформировавшим современные холмы. Агаты встречаются в заполненных газом пустотах в затвердевшей лаве. Указывалось (Heddle, 1901) на несколько месторождений, расположенных вдоль отелей Тея. На пляжах в Балмерино, Тейпорт и Уормит встречаются агаты различных типов, в том числе крепостные, глазчатые и моховые, цвет которых варьирует от красного до желтого.

Другие пляжи Шотландии оказались весьма благоприятным местом поисков агатов. На пляжах Кинтайра можно найти карнеол, яшму и агат; говорят, что одним из лучших мест является Килдаллоиг-Бей к югу от Кэмпбелтауна. Стоит посетить также пляжи Макариок и Брунерикан. Конгломераты, встречающиеся в районе южного побережья Кинтайра, могут содержать агаты, слагающие матрицу с включенными в нее гальками и характеризующиеся красивыми, похожими на крепостные

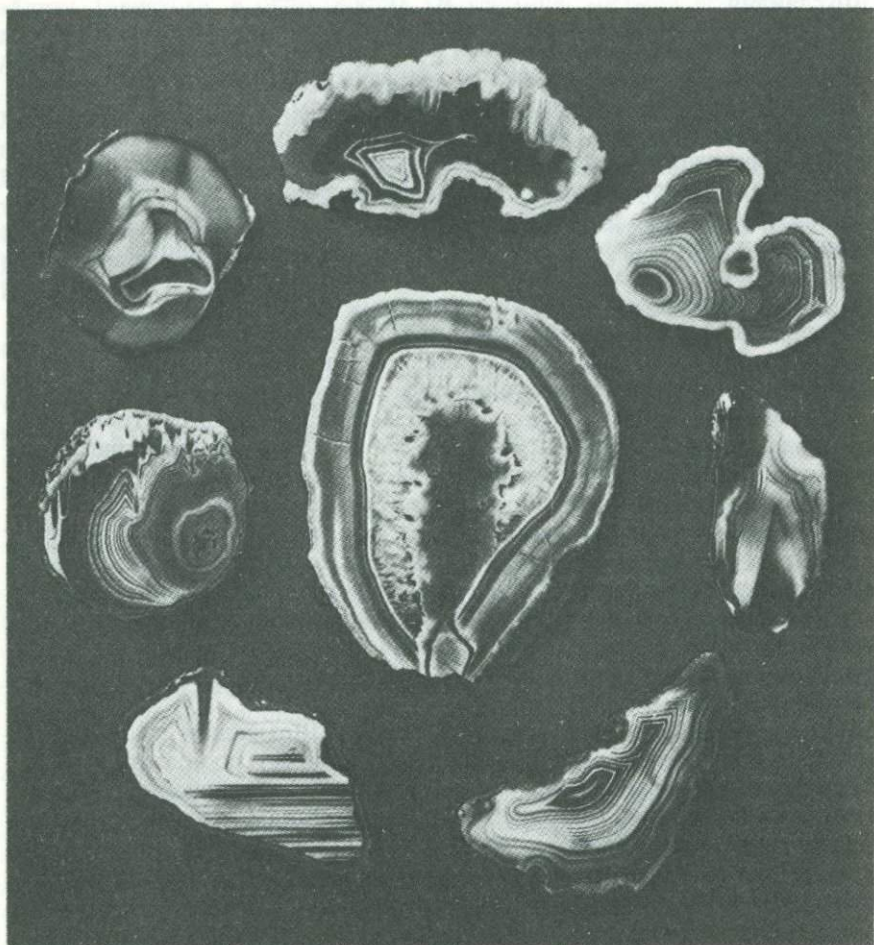


Рис. 5.5. Разновидности шотландских агатов.

стены узорами. Кроме того, на южных пляжах Кинтайра можно найти молочный кварц с включениями хлорита. Известны также агаты от оранжевого до желтого цвета из Кайллан-Хилл, которые образовались из базальтовых лав карбонового возраста. Хеддл (Heddle) указывает также на несколько мест, где был найден аметист, однако большую их часть нельзя указать точно.

Агаты в Шотландии были найдены в целом ряде мест, из которых одни внушают больше надежд, нежели другие. Хотя лавы установлены на плато Лорн и в других районах Западной Шотландии, агаты обычно в них не встречаются. В долине Мидленд (Северная Шотландия) известны

два лавовых массива, представляющие собой наилучшее место для поисков агатов. Эта долина протягивается в северо-восточном направлении от побережья Эйршира на западе до Монтроза и Стоунхавена на побережье Абердин на востоке. В каменноугольном периоде базальты покрывали большую часть этой площади, однако агатов в них, как правило, не содержится. Андезиты, образовавшиеся в ту же эпоху, что и древние красные песчаники, богаты агатами. Они чаще всего заполняют полости в породах; в этом районе их часто можно встретить на возделанных полях, куда они попали в результате эрозии материнских пород.

Большое число работ, посвященных агатам Шотландии, выполнено Хеддлом; их результаты опубликованы в его книге. По сегодняшним стандартам эта книга носит весьма поверхностный характер в отношении описания месторождений, и, по-видимому, многое принималось автором на веру; поскольку с того времени не было опубликовано ни одной работы, указанная книга все еще может служить отправной точкой в этой области. Прекрасную коллекцию агатов из собрания Хеддла можно увидеть в Королевском шотландском музее в Эдинбурге. Большое количество сведений о местах находок агатов в Шотландии приведено у Роджерса (Rodgers, 1975), который по возможности посетил места, упомянутые Хеддлом.

Роджерс указывает большое число мест, которые стоит посетить в настоящее время. Сюда относится Скерди-Несс недалеко от деревни Феррайден в Ангусе. Здесь, на отмели реки Саут-Эск, обнажаются лавы, содержащие агаты. Цвет их варьирует от синего, красного и белого (наиболее обычные окраски) до пурпурного, зеленого, оранжевого, коричневого и, изредка, желтого. Наиболее часто встречаются глазчатый и крепостной агаты. В том же графстве деревня Узан (в настоящее время почти покинутая), знаменита месторождением, известным под названием «Голубая пещера». Ее точное местоположение является одним из предметов разногласий между Хеддлом и его последователями. Роджерс считает, что указанная пещера расположена ниже наивысшей точки подъема воды и поэтому должна выглядеть в наше время иначе, чем во времена Хеддла.

Роджерс нашел синий агат, сходный по цвету и рисунку с классическими образцами из «Голубой пещеры», но ни один его образец не мог сравниться по размерам с теми, которые можно найти в коллекции Хеддла. Кроме того, был обнаружен агат с красными сталактитоподобными формами на синем фоне; Хеддл указывает, что подобные агаты с красной яшмой характерны для «Голубой пещеры». Образцы из данного района имеют зеленую внешнюю оболочку. Это может влиять на окраску синего агата; в тонких срезах он кажется серым, а не синим.

Многие считают, что месторождение Агейт-Ноув в Пертшире служит источником наилучших шотландских агатов. Оно находится на территории фермы Баллиндин в Сидло-Хиллс, к северо-востоку от Перта. Большая часть встречающихся здесь агатов имеет сталактитовую форму

и красивый узор из оранжевых, розовых, коричневых, серых и синих витков, концентрически расположенных вокруг оси сталактитов. Цвета, как правило, не слишком яркие, но сочетание рисунка и цвета исключительно красивое. Более нежные по окраске агаты можно встретить в Норманс-Лоу, в нескольких милях к юго-востоку от месторождения Агейт-Ноув.

Другая проблема связана с местом находки агатов в Хитер-Хилл, (Латри, Северный Файф). Недавними исследованиями в районе, упомянутом Хеддлом, никаких агатов не обнаружено. Возможно, что Карфин-Хилл (где Роджерс нашел коричнево-оранжевые агаты) и есть Хитер-Хилл Хеддла. Здесь найдены также участки лавы и вада (под этим названием подразумевают смесь массивных оксидов марганца с низким удельным весом, причем отдельные оксиды не идентифицируются). Нигде больше вблизи данного района не известен вад в ассоциации с агатом коричневой окраски. Другим месторождением в Файфе, где агаты более разнообразны по окраске, чем обычно, является Балмиду-сайд. Ониксы здесь не встречаются. Очень красивые агаты с красными, желтыми и розовато-лиловыми основными цветами отмечались Роджерсом на территории фермы Мидлфилд, недалеко от дороги, ведущей из Купара в Сент-Андрус. Все образцы из этого места окатаны водой и, возможно, принесены ледником.

Франция

Во Франции имеется целый ряд месторождений красивых кристаллов кварца; наиболее широко известно месторождение Бур д'Уазан; под этим названием, по всей вероятности, подразумевается не одно, а многочисленная группа месторождений. Город с таким названием находится к юго-востоку от Гренобля (где в музее представлена прекрасная коллекция минералов), но в окрестностях есть еще много других мест, где можно изучать жилы альпийского типа. С юго-востока над городом возвышается массив Луазан; город относится к департаменту Изер (название происходит от одноименной реки), а в старину этот департамент и еще два соседних назывались общим именем Дофине. Все эти названия можно часто встретить на этикетках старых образцов. Очень крупные кристаллы кварца были найдены в Сен-Поль-ля-Рош (Дордонь), приблизительно в 50 км юго-западнее Лиможа.

Месторождения Американского континента

В течение многих лет весьма популярными среди коллекционеров и гранильщиков камня в Соединенных Штатах были образцы петрифицированной древесины. Синкенкес (Sinkankas, 1976) приводит географический обзор таких находок, известных к моменту написания его книги. В 1964 г. министерство внутренних дел США разрешило коллекционировать лишь ограниченное количество этого материала, а в некоторых районах, например в национальных парках, сбор его был вообще запрещен. Подробное изложение соответствующего распоряжения можно найти в циркуляре 2147 этого министерства. Наиболее остро данный вопрос стоял в отношении Национального парка окаменевшего леса в Аризоне.

Строго говоря, термин «петрифицированная древесина» должен применяться к любой древесине, в которой органическое вещество замещено каким-либо минеральным материалом, а в тех случаях, когда замещенным веществом служит кварц, правильнее пользоваться термином «силифицированная (окремнелая) древесина». Однако эти понятия различают не так уж часто. Коралл может быть замещен халцедоном, как это имеет место в коралловых жеодах, найденных в заливе Тампа. Большая часть жезд из этого месторождения выполнена кремнеземом не полностью, а кораллы из района Панамского канала замещены полностью, и на их срезе можно наблюдать звездчатую форму первоначального скелета коралла. Такой коралл называют бекитом (или беекитом).

Брюхоногие моллюски туррителла на одном из месторождений шт. Вайоминг замещены кремнеземом (рис. 6.1); в них среди халцедона можно увидеть даже песчинки, проникшие в устье раковины (Sinkankas, 1959). Этот материал называют туррителловым агатом. На западе Соединенных Штатов и в Канаде были найдены останки динозавров, в которых органическое вещество замещено минеральным материалом. Замещающий материал частично представлен красивым красным карнеолом.

В западных районах Соединенных Штатов встречаются желваки с ядрами звездчатой формы, состоящими из просвечивающего халцедона, который может быть полосчатым или пятнистым. Ядро окружено кольцом силифицированного пепла, а на внешней поверхности наблюдаются похожие на бородавки выступы (желваки халцедона из газовых карманов в лавах чаще всего гладкие). Такие желваки называют

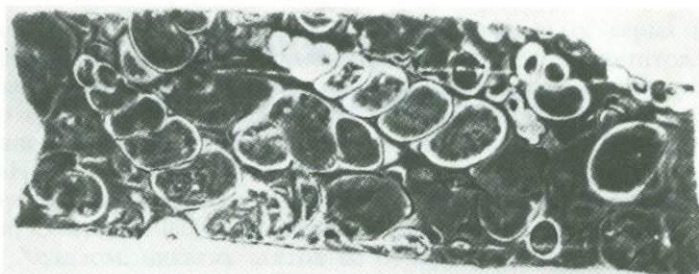


Рис. 6.1. Замещенные кремнеземом моллюски туррителла в образце туррителлового агата.

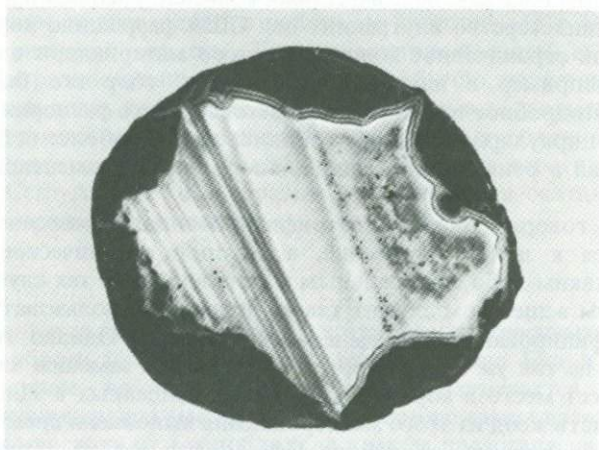


Рис. 6.2. Поперечный срез желвака «громового яйца».

«громовые яйца» (рис. 6.2). Синкенкес указывает на способ их образования: желваки формируются в залежах мягких пеплов и затем отделяются от них при выветривании. Они отличаются от нормальных халцедоновых желваков: последние являются результатом заполнения газовых карманов и пустот в вулканических лавах, а «громовые яйца» встречаются только в виде конкреций в шлаковых залежах или пористых отложениях пемзы. В таких отложениях нет крупных пустот, и несущие кремнезем растворы просачиваются сквозь шлаки до тех пор, пока не достигнут места, где мог бы отложиться халцедон. «Громовые яйца» являются продуктами сегрегации кремнезема, а не выполнения пустот. Прежде чем окончательно затвердеть, центральная часть конкреции расщепляется и образовавшееся пространство заполняется вновь поступающим материалом. «Громовые яйца», как правило, имеют в поперечнике 5–12 см, хотя сообщалось об образцах, достигающих в поперечнике 90 см.

США

Шт. Нью-Йорк. Знаменитые херкимерские алмазы из шт. Нью-Йорк представляют собой хорошо ограненные образцы горного хрусталя. Они встречаются в районе Мидлвилл и тяготеют к южной части округа Херкимер. Их можно обнаружить в поверхностном почвенном слое, а также в пустотах среди известковистых песчаников. Более мелкие занорыши, по-видимому, служат источником самых лучших кристаллов. В некоторых кристаллах имеются включения черного углеродистого материала, а другие содержат заполненные газом или жидкостью включения. Размеры наиболее хороших кристаллов составляют примерно 1,25 см в диаметре. Отдельные высококачественные кристаллы, очень похожие на херкимерские, найдены в последние годы в Фонде (округ Монтгомери, шт. Нью-Йорк). Синкенес указывает на существование в публичной библиотеке в Литл-Фолс прекрасной коллекции образцов горного хрусталя.

Шт. Флорида. Источником кораллов, встречающихся в заливе Тампа, являются осадки северо-восточного ответвления залива. Материал на первый взгляд напоминает обычные кораллы: полые образцы кажутся легкими. Халцедон внутри обладает значительной твердостью и обычно окатан. Ветвистые и дисковидные кораллы встречаются чаще, чем сферические. Материал из залива Тампа чаще всего используется для галтовки, поскольку стенки жезд очень тонкие. Преобладающие цвета халцедона — от темно-серого до коричневого. Более сильно силифицированные кораллы находят на севере центральной части Флориды; они отличаются от образцов из залива Тампа тем, что среди них полностью замещенные халцедоном образцы преобладают над частично замещенными. Большая часть материала поступала с отмели реки Суворни. Цвета здесь весьма разнообразны; образцы обычно состоят из желтых ядер, окруженных темными кольцами.

Шт. Арканзас. В западной части шт. Арканзас встречаются очень красивые образцы горного хрусталя. По размеру они очень различны, а форма и прозрачность определяют их весьма высокие качества. Большая часть кристаллов встречается в обнажениях кварцевых жил, секущих песчаники ордовикского возраста. Районом распространения таких жил является центральный хребет горного массива Уошито. Жилы сложены молочным кварцем с дискообразными полостями, устланными кристаллами. Образец, хранящийся в Национальном музее США, состоит из трех участков песчаника, покрытого кристаллами кварца длиной до 4 дюймов. Приросшие к субстрату кристаллы имеют прозрачные окончания и молочный цвет у основания.

В этом же штате популярностью у коллекционеров пользуется порода новакулит. Она имеет чисто белый цвет и состоит из мельчайших кристалликов кварца, сцементированных халцедоном. Эта порода ассоциируется с глинистыми сланцами в горах Новакулит округа Хот-Спрингс. Иногда она бывает окрашена оксидами марганца. Брекчи-

рованные разновидности состоят из угловатых обломков, цементированных халцедоном и окрашенных в ярко-красный, желтый цвет или же имеющих окраску от оранжевой до черной.

Шт. Огайо и Мичиган. Роговик из месторождения Флинт-Ридж в шт. Огайо используется для декоративных целей. Его залежи протягиваются более чем на восемь миль. Цвет определяется содержанием оксидов железа. Агаты озера Верхнего принесены со стороны шт. Мичиган; большая их часть происходит с полуострова Кивино; многие образцы имеют вид небольших галек. Цвет обычно красновато-коричневый. Красивый бирюзово-синий материал найден на медном руднике в Аллоуэс (полуостров Кивино). Он представляет собой халцедон с рассеянной в нем хрозоколлой.

Шт. Миннесота. Одна из разновидностей кварца — бингамит — встречается только в шт. Миннесота. Она представляет собой волокнистый гётит, замещенный кварцем, и обладает цветовыми переливами, обусловленными отражением света от волокон, одна часть которых отливает красным за счет гематита, а другая — желтым за счет лимонита. Разновидность с местным названием «атласный камень» имеет более низкое содержание кварца, чем бингамит, и поэтому труднее полируется.

Шт. Айова. Значительная часть агатов озера Верхнего поступает из шт. Айова; они встречаются в виде галек в гравийных пластах, залегающих вдоль долины реки Миссисипи. Некоторые из этих агатов относятся к крепостной разновидности; темный коричневатокрасный полупрозрачный материал чередуется в них с непрозрачными белыми полосами.

Шт. Южная Дакота. В этом штате в Цикадофитном национальном парке (округ Фолл-Ривер) найдены отпечатки цикадофитов; они представляют собой ископаемые растения, нечто вроде гибрида цветкового растения и папоротника. Силифицированные отпечатки имеют темно-коричневый цвет.

Шт. Техас. В округе Брустер этого штата встречается своеобразный тип агата, известный под названием сливового (пудингового) агата. Черные «сливы» рассеяны на фоне халцедона, имеющего окраску от бесцветной до молочной и образующего окатанные желваки. Эти желваки обладают весьма неровной поверхностью: чтобы получить наилучший эффект, их следует разрезать поперек, чтобы рисунок оказался в плоскости распила. Некоторые желваки содержат только красные «сливы», а другие — красные и черные одновременно. Считают, что красные должны сильнее просвечивать; общий фон агата обычно розовый или кремово-белый.

Шт. Монтана. В этом штате агаты встречаются среди гравия реки Йеллоустон; они представляют собой бледно-серый халцедон с черными включениями, которые чаще всего принимают форму дендритов. В некоторых агатах наблюдаются яркие красно-оранжевые полосы на светлом фоне. Разноцветные агаты кажутся почти непрозрачными, даже если их поместить перед сильным источником света, — это может служить полезным признаком при вырезании пластин. В шт. Монтана

найлены также многочисленные образцы петрифицированной древесины.

Шт. Вайоминг. В этом штате встречается тот же материал, что в шт. Монтана. Здесь известны также крепостные, так называемые драйхедские агаты (по названию местности), выполняющие пустоты в известняке. Их месторождения расположены вдоль бортов каньона реки Биг-Хорн. Агаты имеют разнообразную окраску; некоторые из них ассоциируются с аметистом. В конце прошлого века в шт. Вайоминг добывались моховые агаты с черными, желтыми и красными дендритами. Суитуотерские агаты встречаются в виде небольших серых просвечивающих желваков с дендритовыми образованиями звездчатой формы. Сообщалось также о находке аналогичного материала в районах к северу от реки Суитуотер в округе Фремонт. Желваки рассеяны на поверхности земли.

В Йеллоустонском национальном парке сбор материала запрещен, однако этот район изобилует ископаемыми лесами. Некоторые окаменелые стволы богаты кристаллами кварца и кальцита; другие, достигающие в отдельных случаях 50 футов в длину, полностью замещены кремнеземом в виде кварца или опала. В некоторых стволах встречаются кристаллы аметиста.

Шт. Аризона. Аризонский национальный парк окаменелого леса расположен к северо-востоку от Холбрука на территории двух округов — Навахо и Апач. Силифицированные стволы деревьев из этих мест считаются одними из самых красивых, так как при полировке их поперечных срезов образуется очень живописный узор, хотя цвета рисунка не слишком яркие. Деревья чаще всего ограничиваются вымершими представителями семейства сосен. Стволы разбиты на поверхности земли во всех направлениях, многие из них расколоты на куски. В некоторых стволах сохранились еще остатки угля или лигнита. Часто встречаются участки, окрашенные марганцем; они придают рисунку еще более привлекательный вид.

В округе Хила в многочисленных медных рудниках района Глоб встречается халцедон, окрашенный хризokolлой. В медных месторождениях этот материал содержится в виде пропластков или окатанных желваков в верхних выветрелых частях рудных тел. Окраски весьма разнообразны, а в некоторых образцах присутствуют кристаллы малахита, которые хотя и красивы, но затрудняют распиловку материала.

В округе Марикоба имеются очень крупные месторождения ярко-красной яшмы, которую называют яшмой Пещерного ручья (Cave Creek); она идет на изготовление кабошонов, для которых используются серые просвечивающие участки кристаллического кварца с розетками тончайших кварцевых иголок, пропитанных оксидами железа. Эти образцы похожи на глазчатую яшму из Калифорнии. Другое аризонское месторождение — Кристал-Пик в округе Юма — служит источником чрезвычайно красивого переливчатого кварца. Эффект игры света обусловлен присутствием включений чистого белого цвета.

Сообщалось о находках халцедона аметистовой окраски (Американский геммологический институт, Winter, Gems and Gemology, 1985). Массивная пурпурная разновидность найдена в шт. Аризона пока лишь в одном, лишенном естественных обнажений месте и была впервые отмечена в виде разрушенных обломков среди наносов в сухом русле, пересекающем серию осадочных пород. На близлежащих холмах было обнаружено и коренное месторождение. Халцедон встречен здесь в отдельных блоках и жилах, причем блоки, залегающие среди выветрелых осадочных пород, достигают 1 м в толщину; масса некоторых извлеченных кусков составляет 100 кг. Поскольку в данном районе находятся горячие источники и опаловидные кремнеземистые образования, халцедон, по-видимому, отлагался из низкотемпературных растворов и процесс протекал таким же образом, как и при образовании других халцедоновых месторождений. Как указывалось, к моменту публикации добыча была прекращена, и весь пригодный материал поступил в продажу. В отдельных образцах халцедон — полупросвечивающий или просвечивающий, но лишь в тонких кусках; более толстые куски полностью непрозрачны. Согласно описанию, цвет халцедона сероватый, слегка красновато-пурпурный, но насыщенность цвета может изменяться в пределах одного месторождения. Указывалось, что приблизительно половина добытого материала имела темно-пурпурный аметистовый оттенок. Часть такого пурпурного материала содержит красновато-коричневые прожилки, сложенные, по-видимому, гематитом, гётитом или яшмой с железистыми пятнами. В нескольких кусках были найдены округлые дендритовые образования, состоящие, очевидно, из пиролюзита (оксид марганца).

Физические константы такого материала обычны для халцедона: показатель преломления равен 1,54, а на плоской поверхности были измерены значения 1,531–1,539 при двупреломлении 0,004. Удельный вес, определенный с помощью тяжелых жидкостей, составлял в среднем для семи исследованных образцов 2,61. Гидростатическим методом было получено значение 2,60. С помощью портативного спектроскопа ничего примечательного обнаружено не было; измерения на спектрофотометре показали повышение поглощения по мере приближения к ультрафиолетовой области, на фоне которого имелась линия с центром около 540 нм. При облучении коротко- и длинноволновыми ультрафиолетовыми лучами никаких эффектов не наблюдалось. Определение твердости дало значение около 7 по шкале Мооса. Под микроскопом видны рассеянные в халцедоне обильные коричневато-красные сферолиты. Цвет красновато-пурпурный малонасыщенный, а тон — от бледного до умеренного. Значения по шкале оценки цвета Американского геммологического института составляют 1–2 для насыщенности и 2–5 для тона.

Шт. Орегон. Этот штат очень богат представителями минералов семейства кварца; большая часть материала, имеющего важное значение, поступает из центральной части штата. Здесь агаты и халцедоны распространены на очень большой площади и представлены весьма

многочисленными разновидностями; значительная их часть накапливалась при эрозии риолитов и светлоокрашенных изверженных пород. Лишь немногие находки связаны с более темными изверженными породами, например с базальтами. «Громовые яйца» встречаются только в жилах или пропластках риолитового перлита. На месторождении Ячатс добываются красивые светлые халцедоны и жеоды, содержащие халцедон вместе с водой. Если их встряхивать, они издают свистящий звук; в лучах сильного света внутри жеод можно увидеть воду. Такие жеоды известны под названием «энгидросов».

Район Антилоп в шт. Орегон знаменит своими ирисовыми агатами; материал здесь не столь просвечивающий, как мексиканский или тexasский, но полосы всех цветов радуги, наблюдающиеся при распиловке агата поперек его слоев, чрезвычайно красивы. Некоторые из агатов являются псевдоморфозами по древесине. Материал, называемый васкоитом (неофициальное название) и встречающийся в обогащенных кремнеземом осадках со дна озера Уаско, обладает рисунком, напоминающим узор окаменелого дерева. Время от времени в нем встречаются остатки ископаемых. В округе Уаско можно встретить окаменелые сосны.

Из округа Крук поступают очень красивые пудинговые агаты из пластов и жил; их толщина достигает 7,6 см. Куски этого материала просвечивают, и сливовидные образования растут под прямым углом к стенкам. Наилучший эффект достигается при двусторонней полировке очень тонких срезов. Более красивые пудинговые агаты, пожалуй, самые красивые из всех известных, добываются в Пауэлл-Бьютт вблизи Прайновилла. Черные, красные, оранжевые и коричневатокрасные «сливы» находятся на фоне светлого желтоватого халцедона; вместе со «сливами» встречается также моховой агат. Часть подобного материала известна под названием «огненный пудинговый агат».

Красивые «громовые яйца» найдены на ранчо Прайдей в округе Джефферсон. Здесь наблюдается большое разнообразие цветов и форм образцов; одна из разновидностей представляет собой голубоватосерый халцедон с зелеными мохоподобными включениями.

Бигтсовской яшмой называется силифицированный вулканический пепел, встречающийся вблизи Бигтса на реке Колумбия. Пепел пропитан халцедоном таким образом, что на полированной поверхности он выглядит как яшма. Коричневые линии и дуги на коричневом или желтом фоне дают красивый ландшафтный узор на распиленных образцах. В последнее время были также найдены синие разновидности этой яшмы.

Просвечивающий желваковый халцедон от белого до рыжевато-коричневого цвета найден в конце 1960-х годов в приповерхностных отложениях в Крукед-Крик — одном из притоков реки Овай в округе Малур. Желваки имеют своеобразный внешний вид, с гладкими закруженными поверхностями, на которых видна сетка неглубоких трещин, напоминающая поверхность кожи рептилий. Такой агат полу-

чил название «змеиная кожа». Трещинки могли возникнуть при усадке поверхностных слоев халцедона, находившегося в ходе своего образования в виде гелеобразной массы. Материал невозможно окрасить, и образцы большей частью ценятся из-за их своеобразного внешнего вида.

Шт. Невада. В округе Першинг в Неваде добывается материал, известный под названием дюмортьеритового кварца. Дюмортьерит – боросиликат алюминия – пропитывает кварцевые жилы, секущие триасовые риолиты района Рочестер. Дюмортьеритовые волокна имеют розовый цвет (более обычным для этого минерала является синий цвет, но в данном месторождении эта окраска не встречается). Иногда иголки дюмортьерита настолько тонки, что содержащий их материал выглядит просто как обычный розовый кварц. Смесь кварца с дюмортьеритом имеет удельный вес 3,30 по сравнению с 2,65 для чистого кварца.

В докладе Парадайса (Paradise, 1982) описано месторождение зеленого кварца на границе штатов Невада и Калифорния. На площади около 3 км² добываются кристаллы размером от 3 до 55 мм в длину. В этом районе найдены аметист, цитрин и зеленый кварц. Кристаллы встречаются в галечниковой осыпи под уступами базальт-андезитовых скал в 33 км к северу от Рено. Были найдены сростки, отдельные монокристаллы и обломки, хотя кварца в коренных обнажениях не обнаружено. Вмещающие вулканические породы, судя по их описанию, метаморфизованы, так как излившийся материал после своего образования изменялся в результате более позднего нагрева. Базальт-андезитовые массы содержат линзы брекчированного и пирокластического материала, который в свою очередь изобилует пузырьками и миндалинами, служащими подходящими коллекторами для отложения вторичного кремнезема и образования кварца. Возраст базальт-андезитов определяется в 140 млн. лет (юра) и, по-видимому, совпадает со временем формирования ядра горного массива Сьерра.

Кварц отлагался после остывания и кристаллизации тонкозернистых базальт-андезитов. По мере затвердевания лавы содержащиеся в ней газы аккумуляровались и поднимались вверх, приводя к образованию пор и пузырьков, которые можно наблюдать, стоя у подножия скал. Проходящие сквозь пористый базальт водные растворы обогащались кремнеземом. В первую очередь отлагался халцедон, а затем, по мере снижения насыщенности растворов, происходило медленное образование монокристаллов. Более крупные кристаллы медленно росли из кремниевых растворов, содержащих окисное и закисное железо. Энергия слабого радиоактивного облучения вызывала образование центров аметистовой окраски. Подобное облучение достаточно широко распространено в периоды вулканической активности. Главная стадия метаморфизма протекала после образования кварца. Базальт-андезиты были затем перекрыты излияниями риолитов (тонкозернистых гранитов). В ходе этого процесса резкий подъем температуры, по-видимому, перевел аметистовые центры окраски в нестабильное состояние, при котором цвет кварца изменился до цитринового или зеленого. Тепло,



Фото 1

Эти сочные цвета получены с помощью искусственной окраски.

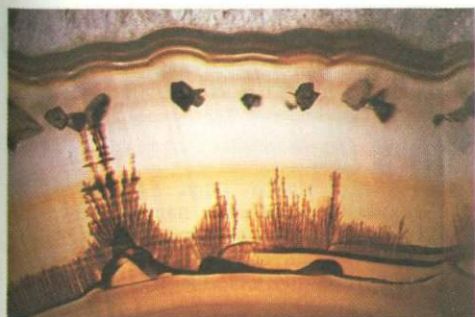


Фото 2

Ландшафтный агат из Бразилии. 3,4 см. С разрешения С. Ротенберга.



Фото 3

Железистая разновидность кварца, так называемый айзенкизель.

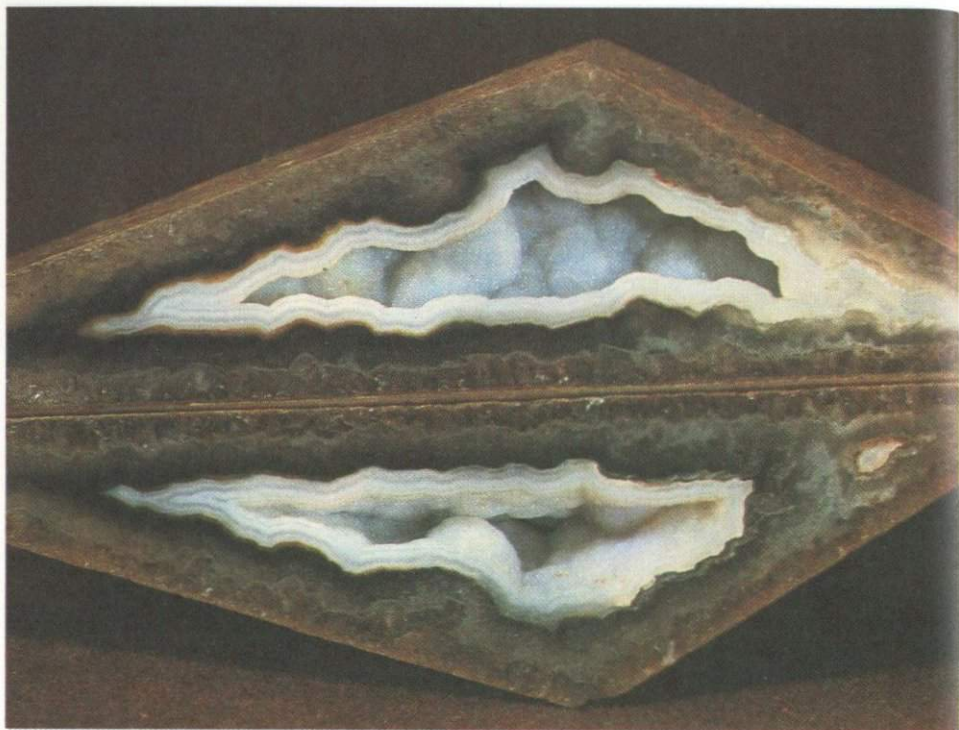


Фото 4

Псевдоморфоза халцедона и кварца по ортоклазу. Минас-Жерайс, Бразилия. 7,4 см. С разрешения Вальтера Аппеля.



Фото 5

Включения такого рода служат, по-видимому, наиболее надежным признаком для отличия природного аметиста от синтетического. Французская геммологическая ассоциация.



Фото 6

Типичный вид ограненного горного хрусталя после его нагревания и погружения в красящее вещество. Французская геммологическая ассоциация.

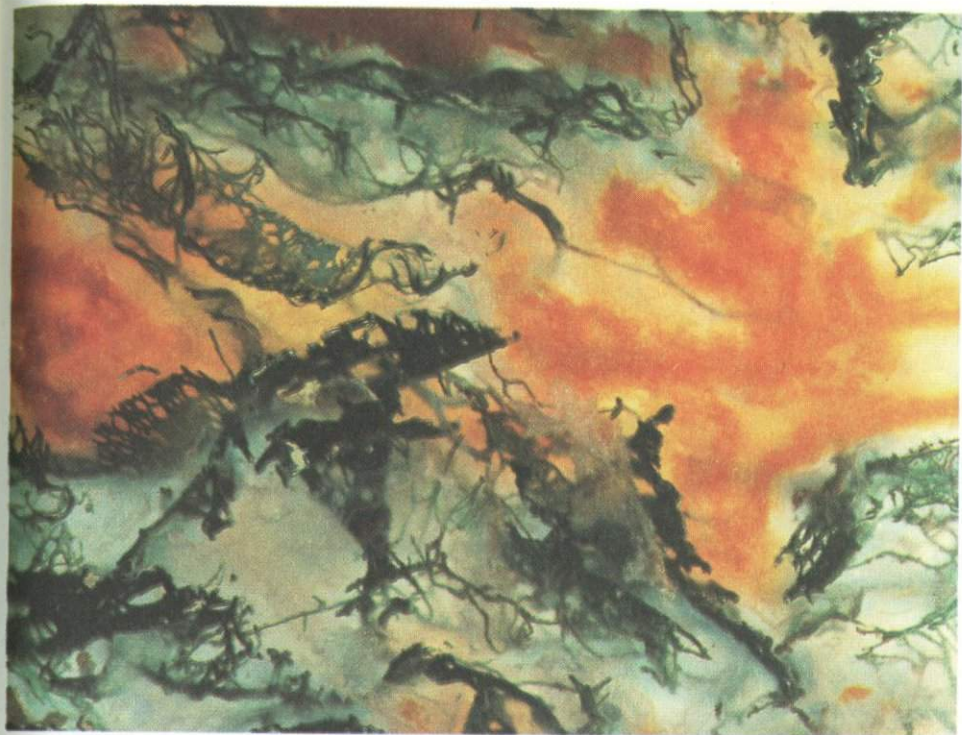


Фото 7

Моховой агат из Индии с хлоритовыми и другими включениями. 2,8 см. С разрешения Вальтера Апеля.



Фото 8

Характерная полосчатость в природном ограненном цитрине. Французская геммологическая ассоциация.



Фото 9

Полосы в редком «тигровом глазе» красного цвета из Грикватауна (Южная Африка). 1,7 см. Французская геммологическая ассоциация.



Фото 10
Красивая поверхность скрытокристаллического кварца.



Фото 11
Иголки гётита с красным лепидокрокитом в горном хрустале.



Фото 12
Минеральное включение в горном хрустале.

поступившее от внедрения риолитов, привело к изменению примыкающих к ним пород. Возможно, что при этом произошло обесцвечивание некоторой части аметистов; действительно, кристаллы, более удаленные от зоны метаморфизма, имеют более глубокую пурпурную окраску, нежели кристаллы, располагающиеся ближе к этой зоне. Наибольшая концентрация зеленого кварца наблюдается в породах, примыкающих к риолитам. Все изученные кристаллы зеленого кварца характеризуются слабой линией поглощения с центром около 442 нм.

Шт. Виргиния. Находки синего кварца известны в нескольких районах земного шара. Значительная часть кварца, который выглядит синим, проявляет эту окраску только в отраженном свете, так как она вызывается рассеянием света коллоидальными включениями других минералов (рутила, магнетита, турмалина, апатита, ильменита) или содержащимися в кварце пузырьками. Кварц синего цвета найден в районе Блу-Ридж на юго-западе Виргинии; полагают, что его кажущаяся в отраженном свете синей окраска связана с густо расположенными микротрещинами и(или) с присутствием включений кристалликов цоизита коллоидальных размеров. Исследования Дитриха (Dietrich, 1971) показали, что синий кварц из гнейсов Литл-Ривер (округ Флорид) не содержит рутила. В этом районе в обнажениях докембрийских пород до 25% кварца имеет синий цвет. Кварц образует линзовидные поликристаллические зерна размером 10–30 мм в наиболее протяженном направлении. Было проведено исследование образцов этого синего кварца, результаты которого суммированы ниже.

Большая часть синего кварца имеет серовато-синий цвет и обладает жирным, или опалесцирующим, блеском. Он похож на сине-серый халцедон и пропускает красно-желтую часть спектра (700–650 нм), дополнительную к синему цвету, наблюдаемому в отраженном свете. Иногда в кварце можно заметить цоизитовые кристаллы (некоторые из них достигают в длину 25 мкм). Содержание включений — до 3,5–4,0 млн/см³. Такие кристаллиты по своему размеру попадают в интервал коллоидных частиц, и, очевидно, их распределение и концентрация способны вызвать эффект Тиндаля. В некоторых зернах кварца из гнейсов не удастся увидеть включений ни с помощью петрографического, ни металлографического микроскопа даже при максимальных увеличениях. Ни один из таких образцов не дает на рентгенограммах рефлексов, характерных для минералов включений. Кварц обоих типов (в том числе и свободный от включений) обладает оптическими свойствами, характерными для кварца с механическими напряжениями. При наблюдении в скрещенных поляризаторах видно, что кварц обоих типов сильно трещиноватый, а также механически напряжен. По сути дела все зерна выглядят так, как будто они очень близки к точке разрушения на чрезвычайно мелкие обломки. В некоторых случаях отмечается определенная связь между степенью раздробленности и глубиной синей окраски, наблюдаемой в отраженном свете. Ни один из типов кварца не изменяется при нагревании. Был сделан вывод о том,

что синий цвет в случае обоих типов кварца обусловлен рассеянием света густо расположенными микротрещинами, разделяющими очень мелкие и по-разному ориентированные участки кварца. В некоторых случаях рассеянию с появлением синей окраски может способствовать наличие включений доизита. Не исключено, что молекулы воздуха, заключенные между соседними, разделенными трещинами частицами, также способствуют некоторому рассеянию света.

Шт. Калифорния. Характерной чертой калифорнийских месторождений является присутствие молочного кварца с видимыми включениями золота. Наилучшие образцы найдены на рудниках в Калаверас, Эль-Дорадо, Марипоза, Сьерра и других округах в районе Мотер-Лоуд. В наши дни этот материал труднодоступен; обычно его называют золотиносным кварцем. В западной части Калифорнии развиты осадочные формации, в которых можно найти цветные кремни, по качеству пригодные для обработки. Одна из разновидностей содержит мелкие сферолиты и известна под названием ортикулярной (глазчатой) яшмы (рис. 6.3). Кремень широко распространен в районе залива Сан-Франциско; он богат кремнеземом и имеет светлую окраску (от красного до зеленого и иногда синего). Окраска обусловлена присутствием оксидов железа и марганца. В очень богатых железом образцах могут наблюдаться прожилки гематита. Кремень, встречающийся в округе Санта-Клара, называют попугайной яшмой из-за разбросанных на нем сферолитов ярко-красного, желтого, зеленого и коричневого цвета. Мельчайшие кристаллики кварца растут из центра каждого сферолита и пропитаны окрашивающими оксидами. Еще один интересный материал можно встретить на ртутном руднике Нью-Алмаден в округе с тем же названием. В этом случае включения киновари в кремне создают красивый рисунок.

Наиболее крупные и безупречные кристаллы горного хрусталя в этом штате (а возможно, и в мире) встречаются среди золотиносных галечников в Мокеламне-Хилл (округ Калаверас). Многие из найденных здесь кристаллов имеют большие размеры, достигая 60 см в длину и

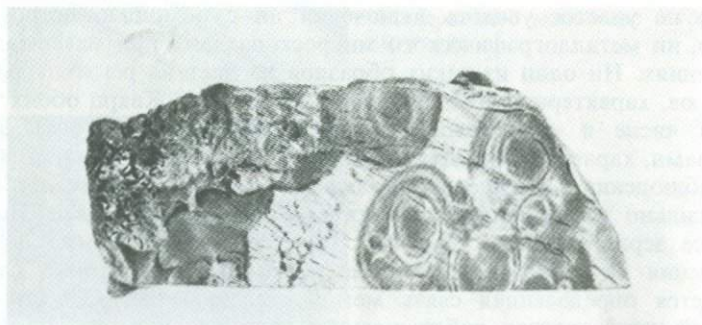


Рис. 6.3. Глазчатая яшма.

25–30 см в диаметре. Большая часть добываемого материала использовалась в качестве пьезоэлектрического сырья, в особенности в период второй мировой войны. Впервые эти кристаллы были обнаружены золотоискателями в 1897 г. В последние годы добыча здесь не производится.

На нескольких месторождениях в округе Туларе можно встретить красивые хризопразы теплого зеленого цвета. Говорят, что они были впервые открыты в 1878 г. в районе Венис-Хилл вблизи Эксетера, где основные породы представлены серпентинитами. Жилы халцедона рассекают серпентиниты и окрашены никелевыми минералами. Хризопраз встречается в жилах мощностью от 0,6 до 25 см. Наиболее хорошо окрашенный материал связан с маломощными жилами или с более тонкими участками мощных жил. В этом же районе найден также окрашенный никелем обыкновенный опал.

Замечательные кабошоны из кварца с включениями темно-зеленого эпидота получают из материала, добываемого на шеелитовом руднике в пределах хребта Гринхорн (округ Керн). В этом же округе можно встретить очень красивые моховые агаты, в которых на молочном фоне видны концентрические «крепостные» полосы различной окраски.

Разновидность агата, обладающую игрой цветов, похожей на игру опала, называют огненным агатом. Его месторождение расположено в горах Мьюл (округ Риверсайд). Общий тон этого материала нежно-розовый с непрозрачными образованиями, похожими на цветы. Иногда его называют «халцедоновые розы». Игра цветов настоящего огненного агата обусловлена кристаллами гётита, которыми как бы припорошены слои халцедона, что приводит к возникновению интерференции света. Наилучшие образцы образуют гроздевидные массы в пустотах. На первый взгляд игра цветов не видима и обнаруживается только на полированной поверхности.

Округ Сан-Диего более известен добывающимися там великолепными турмалинами, нежели кристаллами кварца, встречающимися на более глубоких уровнях в тех же пегматитах, из которых извлекаются турмалины. Некоторые кристаллы имеют соломенно-желтый цвет, а другие – дымчатый. Из пегматита Хайриарт-Хилл добываются прозрачные кристаллы кварца, внешние зоны которых заполнены розовыми или белыми глинистыми минералами, образующими интересные узоры. Большая часть этого материала извлечена из одного кармана на руднике Уайт-Куин к западу от холма.

Мексика

Мексика поставляет на мировой рынок большое количество агатов, значительная часть которых поступает в США через Эль-Пасо (шт. Техас). Традиционная добыча наиболее красивых агатов производится в шт. Чихуахуа. Эти агаты настолько ярки, что их невозможно улучшить искусственной подкраской. Часть материала в этом штате просто

собиралась от случая к случаю на поверхности земли. Оставаясь при эрозии вулканических пород, они образовывали образцы с целой гаммой цветов. Первые хорошие образцы поступали с ранчо Гальего и Суэко. В районе Гальего были найдены ирисовые агаты, а в окрестностях Суэко встречались главным образом пустотелые желваки и в меньшем количестве — ирисовые агаты. Густо-пурпурные агаты были встречены к востоку от Гальего на довольно ограниченной территории. Сейчас весь материал из Чихуахуа идет по очень высоким ценам, и некоторые месторождения закрыты для коллекционеров. Агаты с кружевным узором (кружевные агаты) встречаются к западу от Вилья-Аумада; ленточные узоры располагаются в просвечивающем халцедоне. Поскольку материал добывается с помощью взрывов вмещающих риолитов, значительная часть его портится. Неподалеку от этого места был найден агат глубокого синего цвета.

В шт. Сонора встречается кварц, представляющий собой утолщенные кристаллы очень бледного аметиста, содержащего мелкие пластинчатые кристаллики гематита, вызывающие красноватую окраску. Этот материал получил название «строуберрийский кварц», но его месторождение быстро истощилось. Гематитовые пластинки располагаются в нем параллельно друг другу во внешних слоях на ромбоэдрических гранях кварца. Просветы, соответствующие ребрам, образующимся двумя соседними ромбоэдрическими гранями, лишены гематита. Если кристалл обработать таким образом, что вершина кабошона будет совпадать с концом кристалла, то на нем будет видна звездчатая картина.

Огненные агаты найдены в шт. Сан-Луис-Потоси; желваки здесь могут достигать 5,0–7,5 см в диаметре и продаются с окнами, образующимися при полировке образца с одной стороны. Цвет фона коричневый, на него накладываются красный, зеленый и золотистый. Как обычно, камень следует шлифовать до тех пор, пока не выявится наилучшая игра цветов. Многочисленные огненные агаты были найдены в шт. Халиско в районе Северной Гвадалахары. Они встречаются в складках среди вулканических пород, которые вскрываются с помощью взрывов; затем разрушенная порода разбирается вручную для извлечения агатов.

Более подробные сведения о месторождениях кварца в Северной и Южной Мексике можно найти в прекрасных обзорах Синкенкса (Sinkankas, 1959, 1976), которому автор весьма обязан за сведения, приведенные в данном разделе.

Кварцевые жеоды из района Сьерра-Гальего в Чихуахуа (Мексика) обладают некоторыми интересными особенностями. Они встречаются в виде круглых или почти круглых желваков диаметром 2,5–30 см и более. Желваки имеют внешнюю оболочку из халцедона, постепенно переходящего по направлению к центру в крупнокристаллический кварц, местами аметистовой или дымчатой окраски (рис. 6.4). В типичной жеоде центральная часть сложена определенной последовательностью минералов поздних стадий кристаллизации, главным образом оксидов марган-

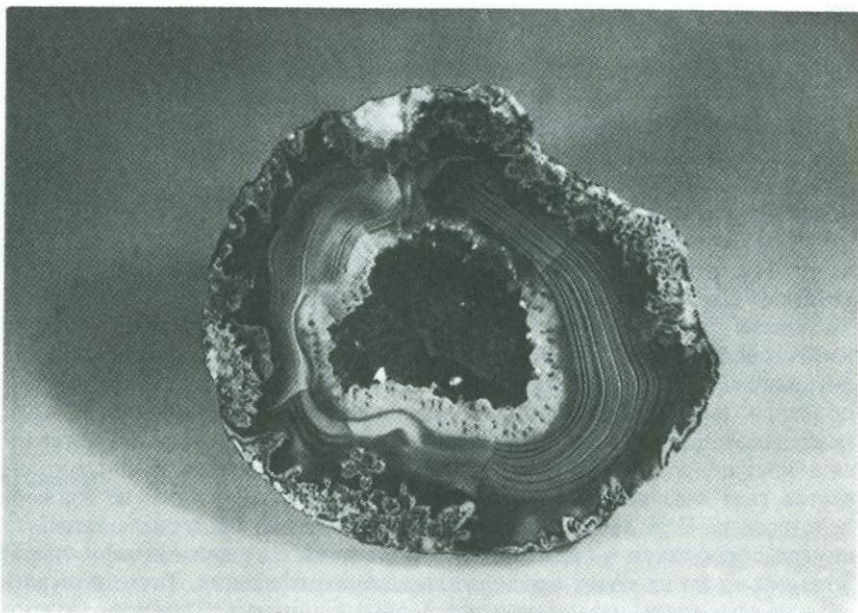


Рис. 6.4. Распиленная пополам кварцевая жеода с халцедоновой оболочкой, переходящей по направлению к центру в мегакристаллический кварц.

ца. В прозрачных шлифах можно видеть, что халцедон представлен одной из своих разновидностей – кварцином (лютецитом), в котором оси кристаллитов параллельны направлению вытянутости волокон.

Месторождение расположено в 120 км к северу от города Чихуахуа на севере центральной части штата. В этом районе вулканические породы мощностью около 1000 м несогласно залегают на нижнемеловых известняках тектонического пояса Чихуахуа. Приблизительно 38–44 млн. лет назад район был перекрыт тонким покровом риолитовых туфов, образованных пепловым потоком. Содержащая жеоды порода («жеодовый туф») является наиболее древней в данной формации. Ее возраст по данным калий-аргонового метода составляет примерно 43,7 млн. лет. За тонким пепловым слоем следует андезитовый лавовый поток мощностью около 300 м (именно этот тип андезитов является продуктивным в отношении широко известных агатовых желваков в Лагуна, Коямито, Агуа-Нуэва и Гальего). За андезитовыми лавами следует очень мощный (150 м) слой дацита Гальего. Примерно 35 млн. лет назад район претерпел обширное куполообразное поднятие риолитов, сопровождавшееся потоками. Считается, что это куполообразование и должно было вызвать образование жеод. Последняя волна вулканической деятельности в данном районе произошла 29 млн. лет назад и привела к формированию нового риолитового потока; около

20 млн. лет назад район подвергался обычному для структур бассейнов и хребтов сбросообразованию, в результате которого возник ряд крупных параллельных сбросовых блоков, чередующихся с промежуточными впадинами, проявляющимися в современном рельефе.

Жеоды встречаются в виде неправильных или сферических литофизовых выполнений пустот в жеодовых туфах, которые обнажаются только при добыче. Возможно, что содержащие жеоды породы когда-то имели более широкое распространение, но позднее были уничтожены эрозией.

Образование жеод могло идти и другим путем: туф, образованный пепловым потоком, первоначально имеет очень высокую температуру. Нижние его части при соприкосновении с холодным основанием застывали быстрее, образуя стекло или базальный витрофир, которые изобиловали газами. По мере остывания стекло девитрифицировалось, превращаясь в тонокзернистые шарообразные агрегаты щелочного полевого шпата и каолинита, так называемые сферолиты. В ходе кристаллизации стекла растворенный в нем газ выделялся и накапливался вокруг центров кристаллизации (сферолитов). Незначительные количества газа обычно высвобождались, и сферолиты с ними не взаимодействовали. Если газа выделялось больше, чем обычно, он скапливался внутри сферолитов в виде постепенно растущих пузырьков; сферолиты лопались, и на их краях продолжалась девитрификация. Такие полураскрытые сферолиты называются «громовыми яйцами». Если процесс продолжается долго и выделяется большое количество газа, расширение становится значительным, а стенки девитрифицированного материала настолько тонкими, что легко разрываются. Получающаяся при этом пустота называется литофизовой полостью. В полости такого типа проникает кремнезем, образуя жеоды Чихуахуа.

Однако прежде чем кремнезем выполнит литофизовую полость, пройдет период времени порядка нескольких миллионов лет, в течение которых грунтовые воды циркулируют сквозь легкопроницаемый туф и отлагают во многих пустотах илистый материал. При этом образуются многообразные структуры осаждения, так называемые градиационные наслоения, которые можно наблюдать в некоторых жеодах. Иногда встречаются жеоды, целиком выполненные илистым материалом, что свидетельствует о их более раннем выполнении, происходившем до привноса вторичного кремнезема. Процесс осаждения мог уже закончиться к моменту внедрения риолитов. Выделяемое интрузиями тепло нагревало грунтовые воды и вызывало конвекцию растворов. Нагретая вода циркулировала вдоль участков жеодового туфа, расположенных выше и ниже базальных витрофиров. Вода обогащалась щелочами за счет разложения щелочных полевых шпатов в жеодовом туфе, вызывая изменения кремнеземистого стекла базальных витрофиров и выщелачивая содержащийся в этом стекле кремнезем. Поскольку нагретые грунтовые воды циркулировали выше и ниже базального витрофира, при выщелачивании кремнезем перемещался от периферии к внутренним частям витрофиров. насыщение кремнеземом приводило к быстрой его

кристаллизации и образованию халцедона. Таким образом, к моменту пересыщения грунтовых вод кремнеземом внутри литофизовых пустот уже имелись халцедоновые отложения. Со временем грунтовые воды обеднялись кремнеземом и скорость кристаллизации снижалась, при этом образовывались монокристаллы кварца на внутренней поверхности пустот. Кварцевые монокристаллы (мегакварц) частично имели аметистовый состав. По-видимому, комбинация повышенного содержания железа с облучением приводила, как и в других случаях, к появлению аметистовой окраски.

Первый заявленный для добычи участок в этом районе начал разрабатываться около 1962 г. Во время написания (июль–август 1979 г.) итоговой статьи работы на месторождении велись уже в широких масштабах; приведенный здесь обзор основан на данных этой статьи.

Панама

Панама и зона Панамского канала богаты разновидностями кварца. Скрытокристаллические материалы использовались индейцами в доколумбовый период для изготовления оружия или декоративных целей; в ходе строительства канала подавляющая часть этого материала отправлялась в адрес фирмы «Идар-Оберштайн» для ювелирной обработки. Как выяснилось в настоящее время, поделочные камни встречаются на территории обширного пояса шириной около 40 км, протянувшегося вдоль центрального горного района Панамского перешейка. Общая длина пояса составляет примерно 160 км. Поскольку месторождения сходного материала имеются также в Коста-Рике и Восточной Панаме, весьма возможно, что этот пояс проходит вдоль всего западного побережья Центральной Америки. Более половины территории Панамской республики сложено изверженными породами; распространены также и осадочные породы. Основными типами пород являются андезиты, базальты и риолиты вместе с туфами и пепловыми горизонтами. Значительная часть яшм, агатов и халцедонов окатана водой, что свидетельствует о происхождении этого материала из месторождений, уже уничтоженных выветриванием. В большинстве случаев халцедон хорошо просвечивает и обладает слабо выраженной полосчатостью. Довольно часто встречаются моховые включения. Некоторые агаты превращены в высококачественный карнеол; найден также интересный черный агат, причем природа его окраски не выяснена.

Бразилия

Согласно Зауэру (Sauer, 1982), наиболее важные бразильские месторождения аметистов сосредоточены в Паранской впадине, но главным центром торговли этими камнями является шт. Рио-Гранде-до-Сул.

Месторождения приурочены к плато, где вулканические породы распространены на площади более 0,5 млн. км². Аметист встречается в друзах или занорышах, обычно имеющих неправильную или вытянутую форму, причем объем некоторых из них достигает 1 м³. Главные центры добычи расположены в окрестностях Сан-Габриэла вблизи Ираи. Значительный интерес представляют также месторождения Лажеадо, Энкантадо, Эспумосо, Соледаде и Сан-Боржа. Мелкие месторождения характерны для районов развития аллювия и элювия. Исключение составляет месторождение в Брежино-дас-Аметистас в районе Казтите (шт. Байя). Оно находится на восточных склонах массива Эспинасо. Аметисты образуются в жилах и штоках, прорывающих метаморфические породы; наиболее богаты месторождениями такого типа шт. Минас-Жерайс и Байя.

По-видимому, наиболее известным месторождением аметиста в Бразилии является Лавра-до-Коксо (иногда его называют Жакобина). Оно расположено к западо-северо-западу от Сальвадора в центре шт. Байя. Этот район сложен кварцитами, развитыми на отдельных участках, разделенных глубокими долинами и составляющих часть геологического комплекса Супергруппо-Минас. Аметистовые месторождения приурочены к зоне вертикальных сбросов. Аметист выстилает стенки пустот, причем некоторые кристаллы достигают 10 см в диаметре; вершины кристаллов окрашены в очень густой фиолетовый цвет (рис. 6.5).

Цитрин встречается главным образом в шт. Минас-Жерайс, причем в двух месторождениях – Кампо-Бело и Сете-Лагоас; кристаллы лишены включений и достигают массы 1 кг. В этом же штате имеются и другие месторождения цитрина, в том числе Бон-Диспашу, Диамантина, Конселейро-Мота и Салинас; в шт. Гоиас – Каталан, Кристаллина, Серра-дос-Кристайс и Санта-Лузия; район Байшо-Гуандо в Эспирито-Санто; Казтите и Шики-Шики в шт. Байя. Ко времени написания работы Зауэра относится временное сокращение добычи цитрина.

На месторождении Жакобина несколько лет назад была найдена одна из разновидностей агата красновато-каштанового цвета, известная

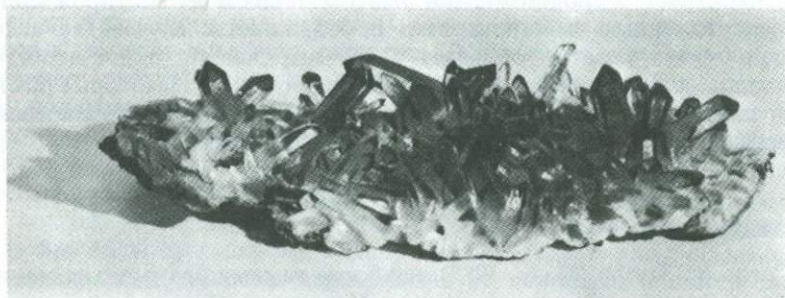


Рис. 6.5. Группа кристаллов аметиста.

под названием кровавик. Сходные образцы встречались в Сантьяго-де-Компостелла (Испания).

В целом ряде бразильских месторождений, главным образом в пегматитах, найден розовый кварц. Наиболее важными из них являются Пиабана в шт. Минас-Жерайс, Альто-Фейо в шт. Параиба, а также Рибейран-до-Ларго и Макарани в шт. Байя.

Главное бразильское месторождение «волос Венеры» находится в небольшом районе вблизи Ибитиары (шт. Байя). Жеоды встречаются в жилах молочного кварца; вместе с ним находятся шестиугольные пластины спекулярита (гематита). Масса некоторых кристаллов выражается в килограммах. В отдельных районах, особенно вблизи месторождения Диамантина (шт. Минас-Жерайс), рутил имеет кроваво-красный цвет из-за примеси железа.

По добыче агатов Бразилия в какой-то мере сменила район Идар-Оберштейн в Рейнланд-Пфальце (ФРГ). В Идар-Оберштейне агат известен с XV в., однако в конце прошлого века месторождения его в этом районе истощились (до сих пор здесь имеется достаточное количество образцов для отдельных коллекционеров, но для промышленной добычи их уже слишком мало). Выходцы из Германии переехали на юг Бразилии, главным образом в шт. Рио-Гранде-до-Сул, и начали экспортировать агат в Идар-Оберштейн, чтобы возродить развитую там ранее промышленность по обработке камней. Сегодняшний центр добычи бразильских агатов находится в окрестностях Сальто-Гранде на отменях реки Жакуи. Агаты из этого района обычно поддаются искусственному окрашиванию. Агаты, целиком окрашенные в коричневые цвета, добываются в Трес-Пиньейрос, Фонтур-Шавьер и Соледаде. Среди других центров добычи можно назвать месторождения Алегрете, Камага, Дон-Педрито, Ливраменто, Пасо-Фундо, Гуараи, Рио-Пардо, Рио-Такуари, Санта-Мария, Сан-Боржа, Сан-Габриэль, Трес-Крузес и Уругваяна. Красивые агаты можно встретить и в других частях Бразилии, но они не могут служить предметом промышленной добычи. Недалеко от месторождения Диамантина обнаружена красноватая тонкозернистая яшма, которая образует пласт мощностью до нескольких метров среди слагающих плато кварцитов. Из других месторождений в шт. Минас-Жерайс можно отметить Аракуаи, Патроснино, Салинас, Теофило-Отони (знаменитое своими топазами) и Убераба.

Зауэр указывает, что на поверхности агатовых месторождений часто можно заметить характерные хрупкие образования, которые были названы «кварцевые розы». Они представляют собой тончайшие кристаллики кварца, слагающие отдельные или группирующиеся друг с другом дисковидные фигуры на поверхности земли.

Некоторые сведения об окрашивании агатов можно найти в гл. 3 и 8.

Рутилсодержащий кварц из Ибитиары (Бразилия) был описан Касседаном (Cassedanne, 1981). Ибитиара находится в центре шт. Байя к северо-востоку от города Бразилия на западном фланге кварцитового массива Шапада-Диамантина, протягивающегося с севера на юг к

западу от Сальвадора. Вмещающие его породы относятся к докембрию (возраст 1700–1100 млн. лет). Породы, в которых встречается рутилсодержащий кварц, принадлежат к формации Рио-дос-Ремедиос и представляются главным образом лавами; эта формация включает в себя также конгломераты и сланцы. Среди лав преобладают риолиты, риодациты и дациты, которые обычно разрушены вблизи поверхности. Кварцевые жилы чаще всего имеют молочную окраску и залегают беспорядочно, без преимущественной ориентировки. Часто встречается спекуляритовый гематит. Измененный гиалин отмечается в самых различных участках среди молочно-белой массы, и места его находок труднопредсказуемы. Гиалин встречен в виде как отдельных кристаллов, так и кристаллических сростков. Иногда кристаллы имеют дымчатую окраску; некоторые из них содержат включения рутила. Многие наиболее хорошие образцы были найдены в почвенном слое, что указывает на слабое проявление химического выветривания в отдельных участках этого района. Здесь нельзя назвать конкретного рудника, хотя находки образцов весьма многочисленны. Подходящие для сбора таких образцов места поисковики (не объединенные в какую-либо организацию) находят, руководствуясь хорошо видимыми следами лимонита, образовавшегося при выветривании гематита. В этом районе найдено большое количество кристаллов, пригодных для использования в электронике (так называемых «ласка»). Самые лучшие из рутилсодержащих кварцев добываются на участке, ограниченном районами Ремедиос и Ново-Оризонте. Добыча производится примитивным способом, и жеоды извлекаются без каких-либо предосторожностей. Совместно с кварцем встречаются гематит, лимонит и различные глинистые минералы. Кварцевые блоки продаются на вес, а друзы кристаллов и отдельные кристаллы — поштучно.

Один из типов агата, известный под названием «Умбу», встречается в окрестностях города Сальто, в центральной части шт. Рио-Гранде-ду-Сул. Месторождения находятся в Паранской впадине — обширной синклинали, покрытой серией трапповых пород, мощность которых достигает 650 м. Основными минералами этих изверженных пород являются лабрадор, авгит и пижонит; в некотором количестве содержится также кварц. Можно выделить два различных цикла магматического процесса. Во время первого из них образовались интрузивы, а в течение второго изливались огромные количества лавы, стекавшей в расщелины. Это произошло приблизительно 130–120 млн. лет назад. Агаты встречаются в участках, возникающих при наложении базальтовых потоков, каждый из которых однороден, но отделен от другого. Наиболее крупная добыча ведется в Санто-Эрмирио, где разрабатывается агатсодержащий базальтовый слой. Если двигаться сверху вниз, за почвенным слоем до глубины 8 м следует пласт разрушенного базальта, разбитого на мелкие призмы. Под ним залегает обломочный горизонт с лавовыми бомбами и брекчиями. В 6 м от этого горизонта начинаются черные стекловатые породы с желваками агата;

эти породы прослеживаются на глубину приблизительно 280 м. Черные стекловатые породы очень богаты агатами. Желваки нередко соединяются между собой и иногда имеют уплощенную в горизонтальном направлении или совершенно неправильную форму. Добыча ведется с помощью подземных выработок. Добытые агаты в естественном виде имеют желтовато-зеленую или серовато-синюю оболочку; те из них, которые покрыты черной или красноватой оболочкой, идут в отвал. Такие желваки сложены либо кварцем с рассеянными по поверхности мелкими молочными кристаллами, либо массивными кусками породы. Иногда в самой нижней части желвака встречаются отдельные кусочки агата, не приуроченные к определенному участку желвака и поэтому непригодные для поделочных целей. При внешнем осмотре невозможно определить качество отдельных кусков. В этом случае бесполезен даже микроскоп. В целом агаты имеют яйцеобразную или сфероидальную форму, но иногда попадаются конические или уплощенные образования. Образцы, подвергавшиеся длительному выветриванию, медленно разрушались и превратились в конце концов в беловатый или сероватый порошок. При этом отдельные концентрические кольца поддаются выветриванию больше других в том же самом куске, так что на изломе таких образцов можно наблюдать своеобразный рельеф.

В Альто-Фейо, на севере бразильского шт. Параиба, находится пегматит с высококачественным розовым кварцем. Здесь возвышается небольшой холм, вытянутый в широтном направлении и сложенный бериллий- и танталсодержащим пегматитом, который более устойчив в отношении эрозии по сравнению с вмещающими породами. Он контактирует со сланцами и гранитами. Впервые пегматит начал разрабатываться в 20-е годы нашего века для добычи слюды, но в 1939 г. добыча была прекращена. Поиски стратегического минерального сырья способствовали возрождению работ на этом пегматите; следует отметить, что часть пегматита, сложенная розовым кварцем, оказалась нетронутой, так как в ней отсутствовали редкометалльные минералы. Ни в одном случае в этом кварце не наблюдалось кристаллических граней. Цвет его изменяется от бледно- до ярко-розового (но и в последнем случае окраска не достигает той глубины, которая в принципе возможна для розового кварца). Он прозрачен или просвечивает и пересечен молочными зонами, хотя никаких включений в изготовленных из этого кварца изделиях не наблюдается. Как и в случае розового кварца из других бразильских месторождений, этот материал несколько выцветает после продолжительного воздействия яркого солнечного света. Такой кварц иногда применялся для облицовки фасадов торговых зданий, однако со временем цвет его становится тусклым и непривлекательным. В образцах розового кварца не наблюдалось астеризма, и на его окраску не влияют ультрафиолетовые и рентгеновские лучи. Удельный вес — обычный для кварца (2,65). Во время написания книги Касседана (Cassedanne, 1978) на месторождении имелось большое количество материала, пригодного для огранки. Это месторождение, хотя и не является одним

из первых по качеству окраски кварца, играет важную роль благодаря обилию пригодного для использования материала и общей яркости его цвета. Главная часть добытого материала идет на небольшие декоративные объекты и на фасады зданий.

Касседан (Cassedanne, 1976) описал несколько месторождений аметиста в шт. Байя. Они находятся на востоке этого штата к западу от Витория-да-Конкиста. На руднике Фазенда-Жоанина аметист встречается в полевошпатовых гнейсах. Кристаллы кварца просвечивают у основания, а на концах окрашены в фиолетовый цвет. На этом месторождении можно выделить две генерации кварца, причем аметисты наилучшего качества относятся ко второй из них. По-видимому, наиболее интенсивная разработка в последнее время велась на руднике Монтесума. Аметист здесь отличается высоким качеством, хотя в настоящее время добываются только обломки кристаллов. Головки кристаллов имеют либо по три, либо по шесть граней; кристаллы первого типа утолщаются по мере удаления от узкого основания и имеют серый или бледно-розовый цвет. Наилучшая окраска, как и обычно, наблюдается у концов кристаллов. На кристаллах второго типа на трех (из шести) гранях головки имеются фигуры роста, что указывает на тригональную симметрию. Некоторые аметисты из рудника Монтесума при нагревании изменяют свой цвет на зеленый. Такой материал называется «пердин». Если температура достигает 650°C , кристаллы становятся молочно-зелеными с белыми полосами, подчеркивающими зоны роста. Изменение цвета связано с восстановлением окисного железа до закисного.

В этом же шт. Байя, столь богатом аметистами, наиболее красивые образцы добываются в Грота-до-Коксо, находящемся к востоко-северо-востоку от Жакобины. Аметист встречается среди кварцитовых пород в жеодах, диаметр которых иногда превышает 1 м. Ни одна из жезд не связана каким-либо образом с жилами; в тех жеодах, в которых содержится аметист, никаких других разновидностей кварца не встречается. Цвет аметиста из этого месторождения очень темный, переходящий почти в черный. Кристаллы обычно имеют шестигранные головки, трехгранные встречаются реже. Основание кристалла прикреплено к кварцитовой подложке, затем следует его нижняя молочная часть с двумя или тремя красноватыми полосами, которые характерны для кварца из данного месторождения (по-видимому, окраска вызвана гематитом); полосы параллельны внешним граням кристалла. Выше следует длинная молочная часть кристалла, на конце которой находится аметистовая шапочка; толщина ее может достигать нескольких сантиметров. Нередки включения гематитовых пластинок, которые обычно имеют бронзовый цвет. Встречается также ожелезненный кварц: цвет головки некоторых кристаллов в одних случаях изменяется от каштанового до красного, а в других — светло-оранжевый из-за включений гематита.

С позиций геммологии эти кристаллы не обнаруживают каких-либо

отклонений от обычных для кварца физических констант. Наряду с гематитом включения могут быть представлены гётитом, который иногда образует дендритовые узоры, параллельные граням кристалла. Аметист теряет свой цвет при нагревании.

Как уже упоминалось, подавляющая часть производящихся в Бразилии аметистов добывается в шт. Рио-Гранде-до-Сул; в статье Касседана описано месторождение Ираи, находящееся на севере этого штата вблизи границы со шт. Санта-Катарина. Этот район представляет собой часть впадины реки Параны с характерными для нее формациями трапвых пород мощностью до 650 м. Большую часть этих пород составляют базальты. Аметист встречается в жеодах только среди твердых базальтов. Жеоды на этом месторождении имеют характерное строение и состоят из толстой оболочки, сложенной селадонидом — синевато-зеленым минералом из группы слюд. В аметисте имеются включения сростков коричневато-оранжевых иголок гётита, а также вроски уплощенных кристаллов гематита, мельчайших желваков белого кварца и некоторых оксидов марганца, располагающихся в кристаллах вблизи поверхностей граней. Окраску образцов можно изменить с помощью прокаливания, после которого они приобретают красивый оранжевый цвет.

Касседаном (Cassedanne, 1983) описан также один из рудников, на котором почти весь добываемый аметист подвергается прокаливанию с целью получения цитрина. Этот рудник находится в Фазенда-до-Сальто (шт. Байя), к северо-северо-востоку от города Бразилиа. Его иногда называют также Сальто-Санта-Клара. Аметист извлекается из брекчий, сложенных обломками кварца с разной степенью прозрачности и различной окраской. Эти обломки цементированы бело-розовым кварцитом с примесью некоторого количества глины. Кристаллы могут достигать 30 см в длину; некоторые более мелкие кристаллы имеют шероховатую поверхность вследствие захвата песчанистого материала на последних стадиях их кристаллизации. Наибольший интерес представляют сложные кристаллы с сильной трещиноватостью, причем участки с различной окраской распределены беспорядочно. Цельные кристаллы не характерны для данного месторождения, но если они встречаются, то имеют трехгранную головку. Иногда кристаллы покрыты тальком. Полосы аметистового цвета чередуются с бесцветными, на которых имеются светлые и темные пятна.

Испытание таких образцов показывает, что они имеют обычные для кварца физические константы. Иногда для них наблюдается сильная полоса поглощения при 550–520 нм. После прокаливания минерал приобретает цвет шампанского, который в некоторых образцах становится более темным, до коричневато-оранжевого. При прокаливании усиливается цветная полосчатость, и несмотря на то, что кристаллы при 400–500°C теряют свою окраску, она вновь появляется после охлаждения. Подавляющая часть материала из данного района характеризуется рыхлостью из-за обилия включений. Подсчитано, что из 1 т добытого

материала можно получить лишь 10 кг цитрина. Данное месторождение разрабатывается по крайней мере с прошлого века.

Описана находка черной разновидности кварца на уже упоминавшемся месторождении Витория-да-Конкиста. Касседан (Cassedanne, 1973) приводит обзор находок кристаллов кварца, которые выглядят черными. Все они имеют один и тот же габитус с осью *c*, параллельной субстрату; характерна редко наблюдающаяся двуконечная пирамида без призмы. Ребра всех кристаллов острые, а грани – блестящие. Некоторые черные грани пирамид покрыты прозрачными двуконечными кристалликами кварца миллиметрового размера. В случае крупных кристаллов создается впечатление, что кристаллизация начиналась вокруг баритового ядра с образования плотной неправильной массы от белого до темно-серого цвета. На спиле такого образца можно видеть, что черный слой толщиной около 1 см покрывает серую сердцевину. Тектонические подвижки раздробили некоторые из образцов кварца; при этом обломки сцементированы белым или бежевым стеклом, а также халцедоном.

Канада

Красивый аметист встречен в районе бухты Тандер (пров. Онтарио, Канада). Аметист был официально объявлен одним из минералов пров. Онтарио в 1975 г., а рудник Тандер-Бей был открыт в 1967 г. Аметист найден в полостях ослабленных зон среди гранитов. Окраска его варьирует от белой или бесцветной до бледной красновато-фиолетовой или темно-пурпурной. На кристаллах наблюдается цветовая зональность, параллельная ромбоэдру головки; отчетливо видны чередующиеся слои светлой и темной фиолетовой окраски. Весьма часто встречаются включения оксидов железа. После нагревания аметист становится бесцветным или бледным коричневато-белым в отличие от бразильских аметистов, которые при этом приобретают ярко-желтый или оранжевый цвет. Было установлено, что белый кварц из рудника Тандер-Бей содержит 150 млн^{-1} железа, а аметист из того же месторождения – 500 млн^{-1} . Обычно видна только ромбоэдрическая головка с преобладающим развитием граней одного из ромбоэдров. Иногда наблюдаются также слабо развитые грани гексагональной призмы.

Аметист встречается в жилах, мощность которых варьирует от 7 мм в самых тонких местах до 3 м в раздувах. Хотя лишь небольшая часть аметистов по качеству пригодна для огранки, некоторые из кристаллов имеют темноокрашенные центральные ядра, которые можно огранить. Включения гематита придают красивый цвет зонам, параллельным ромбоэдрическим граням головки, причем в каждом из содержащих кристаллы карманов гематит отлагается преимущественно на гранях головки с одной и той же стороны у всех кристаллов. В тех случаях, когда зоны с оксидами железа имеют достаточно большую толщину, образуется ожелезненный кварц. Бледноокрашенный цитрин и дымчатый кварц встречаются в отдельных участках жил.

Месторождения других регионов земного шара

Австралия

Один из типов кварца, так называемый «чашечный кварц», встречен в Новом Южном Уэльсе (Австралия). Дана (Dana, 1962) приводит описание этой разновидности, рассматривая кристаллы как составленные из отдельных, вложенных один в другой слоев, образовавшихся в результате отложения глинистого материала в перерывах между стадиями роста кварца. Такие кристаллы, рассмотренные в работе Брауна (Brown, 1975), встречены в Тимбарре среди гранитных пегматитов. Они заключены в скопления кварца, по-видимому, представляющем собой ядро пегматита. Это скопление окружено массивным каолином с небольшим количеством тонкозернистого кварца; в нем встречаются как «чашечные», так и обычные кристаллы. «Чашечные» кристаллы образуются только в нижней части кварцевого ядра и срastaются с обычными кристаллами (рис. 7.1). Главнейшее из австралийских месторождений находится в Уайлу-Стейши (Западная Австралия), приблизительно в 1440 км к северу от Перта. Вмещающими породами служат доломиты, и там, где они размыты дождевыми водами, в тонком слое почвы можно

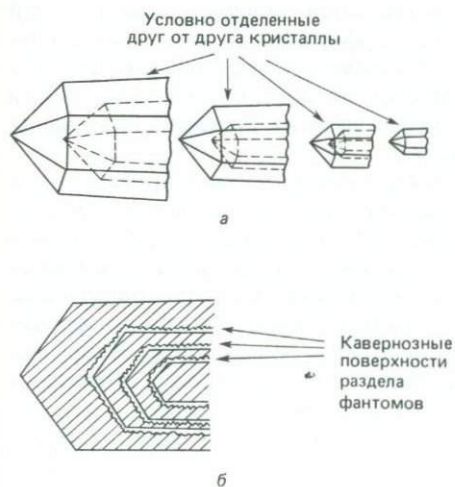


Рис. 7.1. Схематическое изображение серии «чашечных» кристаллов кварца, условно выдвинутых друг из друга (а). Поперечный разрез целого «чашечного» кристалла, на котором видны поверхности раздела фантомов; по этим поверхностям кристалл можно раззять на части (б).

обнаружить гальки. Согласно сообщению Кронштедта (Cronstedt, 1969), здесь можно встретить любые окраски кварца. Цвет аметиста — от очень бледно-лилового до пурпурного черновато-синего. Некоторые кристаллы окрашены только во внешней части, а внутри молочно-белые. Очень часто встречаются сростки кристаллов; на 1 т приходится около 60 фунтов ювелирного материала. На многих кристаллах наблюдаются хорошо образованные головки, а некоторые из кристаллов двуконечны.

Кварцевые полиэдroidы. Интересная разновидность кварца — так называемые полиэдroidы. Они представляют собой агатовые желваки необычной угловатой формы, которые издавна встречались в целом ряде месторождений Бразилии. Подобное месторождение известно также в Австралии, на юго-западном склоне горы Маунт-Джи в провинции Маунт-Пейнтер (Южная Австралия) (England, 1976). В этом районе встречается кварц, выполняющий трещины в зонах трещиноватости пород докембрийского комплекса Пейнтер. Предполагается, что трещины возникли в ходе процессов нижнепалеозойского горообразования. Кварц, выполняющий линзы, вместе с кальцитом, флюоритом и ломонитом, по-видимому, отложился из гидротермальных растворов, так как данная ассоциация типична для гидротермальных месторождений. Были найдены полиэдroidы, выполняющие крупную линзу в кварц-гематитовой брекчии и распределенные таким образом, что границы между ними образуют переплетающийся узор. Каждый из полиэдroidов соединяется с кварц-гематитовыми стенками линзы; между собой они разделены тонкими плоскими пустотами, которые могут протягиваться по всей ширине линзы. Отпечатки тригональных фигур роста на гранях полиэдroidов свидетельствуют о том, что пустоты были первоначально заняты пластинчатыми кристаллами, исходящими от стенок внутрь линзы. По всей вероятности, это были кристаллы кальцита, так как похожие на этот минерал кристаллы имеют широкое распространение. По меньшей мере в одном из месторождений встречается кальцит, выполняющий крупные пустоты в интрузивных телах порфиритового латита в ассоциации с цеолитами. Этот кальцит, по-видимому, образовался при кристаллизации тонких дендритовых пленок на поверхности воды внутри вмещающей ее полости. Одна из предложенных гипотез образования полиэдroidов иллюстрируется рис. 7.2.

В Хаммерсли (Западная Австралия) встречается синий крокидолит, и если проводить аналогию со сходными месторождениями на реке Оранжевой (Грикваланд, Южная Африка), то можно ожидать, что и в австралийских месторождениях удастся найти «тигровый глаз». Сведения о находке золотисто-коричневого материала с характерной полосчатостью упоминались Чалмерсом (Chalmers, 1967). Золотисто-желтый цвет обусловлен окислением содержащегося в крокидолите железа при поверхностном выветривании в условиях аридной зоны. Сообщалось также о находке синей разновидности — «соколиного глаза».

Силифицированный переливчатый хризотил-асбест найден на Ярра-Ярра-Крик, притоке реки Яннарайо в Западной Австралии. Цвета



Рис. 7.2. Кристаллизация таблитчатого кальцита в полости (а). Пространство между кристаллами кальцита заполняется агатом (б). Кальцит вынесен, кварцевые полиэдры сохранились (в).

минерала – коричневый, желтый, оливково-зеленый и устричный; самые лучшие образцы представляют собой псевдоморфозы по хризотилу. Здесь в 50-х годах нашего века действовал рудник Балгаро.

Интересным с точки зрения находок агата является месторождение Агейт-Крик на севере Квинсленда. Ручей с таким названием впадает в реку Робертсон-Ривер и протекает по холмистой местности, сложенной изверженными породами и пересекающейся целой сетью ручьев. Агаты образовались в пустотах среди базальтов, и иногда их можно найти в коренном залегании. Большинство агатов при выветривании выкрашивалось из породы, поэтому они встречаются на поверхности или в оврагах. Размеры агатов колеблются в пределах 2,5–20 см в диаметре; часто они покрыты как бы изъеденным оспой слоем кремнезема. Полосчатость этих агатов исключительно красива и разнообразна по цвету. Еще более широко, чем агат, известен австралийский яблочно-зеленый хризопраз, окрашенный примесью никеля; самые лучшие его образцы встречены в районе Марлборо (Квинсленд). Это наиболее красивые из известных хризопразов, по качеству равные хризопразам из Польши. Хризопраз содержится в горизонтальных и вертикальных жилах, залегающих в серпентините, а в Марлборо он встречается в латеритном разрезе разрушенного плато, расположенного на высоте 460 м над уровнем моря. Жилы развиты на обширной площади. Хризопраз из данного района имеет прекрасный зеленый цвет, более яркий, чем у хризопразов из многих других месторождений.

Так называемая «яшма тропического леса» из Австралии представляет собой сфероидальный риолит; в Соединенных Штатах его называют «яшма австралийского тропического леса». Сведения о ней содержатся у Дейла (Dale, 1981). Наиболее крупные экземпляры состоят из ядра, или центральной массы халцедона, содержащего другие минералы, например хлорит. Центральная масса обычно имеет неправильную форму, хотя были встречены отдельные образцы с ядром округлого сечения. Иногда ядра сложены серым халцедоном, причем в центральной части он имеет более темный цвет или же бывает молочным. Молочные центральные части ядер нередко просвечивают в пластинках толщиной до одного дюйма. Сфероиды находятся среди зеленоватой или коричневатой полосчатой матрицы, состоящей из коричневатого

эпидота; в тех случаях, когда фон частично зеленый, он обычно обусловлен присутствием хлорита. В некоторых образцах видны отчетливые волнистые линии. Условия, в которых образовывался этот материал, были, по-видимому, достаточно сложными, ибо сначала должны были развиться сфероиды, а затем вмещающая их масса хлорита. Возможно, что та или иная магма вызывала образование глинистых минералов вместе с коллоидальным кремнеземом, причем оба эти материала объединялись в одних и тех же сфероидальных желваках, которые затем окружались оболочками кремнезема, содержащего мельчайшие минеральные частицы. Сфероиды с глинистым материалом в центре отличаются от сфероидов с халцедоновым ядром, причем эти два типа сложены различными минералами кремнезема. В некоторых образцах коллоидальный кремнезем захватывал зеленый хлорит в количествах, достаточных для создания зеленого фона. В других случаях захватывался очень тонкозернистый красноватый материал. Красный цвет образует пятна, придающие образцам крапчатый вид. Иногда ядра представляют собой полости с плохо образованными кристаллами кварца или округлыми выделениями халцедона.

По всей вероятности, материал, описанный в статье Дейла, происходит из Маунт-Хей (Австралия). Это месторождение расположено приблизительно в 3 км западнее Рокингема (Квинсленд) вдоль восточного побережья. Поскольку этот район покрыт тропическим лесом, от него, по-видимому, и происходит название данного материала.

Индия

В Индии агаты встречаются в миндалевидных базальтах Декана. Халцедоновый кремнезем выполняет пустоты в лавах. Обширные площади в Гуджарате и Махараштре покрыты базальтовыми лавами, содержащими жеоды халцедона. Яшма найдена в шт. Карнатака. В шт. Гуджарат акик (индийское название агата) поступает главным образом из Ратанпура. Здесь окатанные в виде галек миндалины встречаются в конгломерате третичного возраста. Добытый агат сразу же подвергается нагреву для усиления яркости цвета полос. Распиловка и полировка агатов производится в гранильных мастерских в Камбее. Жеоды из деканских траппов в шт. Мадхья-Прадеш содержат агат, карнеол, оникс и яшму. Особенно много этих камней встречается в русле реки Нарбада.

Горный хрусталь для декоративных целей, например для изготовления сосудов и ручек, поступает из шт. Кашмир; аметист встречается в некоторых жеодах из деканских траппов и в лавовых пустотах районов Джабалпур и Башар в Пенджабе. Розовый кварц найден в Чхиндуаре и в районе Уарангал (шт. Мадхья-Прадеш).

Высококачественные индийские агаты поступают в продажу в Джайпуре, который является центром индийской торговли драгоценными камнями. Разновидности мохового агата с зеленым и розовым узором на коричневом фоне известны как «древесные агаты». В Индии добыва-

ется также высококачественный авантюрин (в частности, из месторождения Хассан в Мисоре, а также из района Джайпур).

Бирма

На одном из интересных месторождений кварца в Бирме добываются кристаллы длиной до 1,2 м. Кварц встречается вместе с графитом в гранитах. Такие месторождения расположены вдоль Могокской дороги, ведущей в Сакангей.

Ливия

Некоторые разновидности скрытокристаллического кварца были найдены в Ливии. В докладе Мразека (Mrázek, 1980) перечислены некоторые из материалов, пригодные для декоративных целей. Базальтовое происхождение имеют халцедоны из окрестностей Куарат-аль-Калах — вулкана, южный склон которого сложен базальтовыми потоками. В верхних частях некоторых потоков наблюдается пузырчатая структура: халцедон в этих породах образует гроздьевидные агрегаты от розового до белого цвета. Халцедон большей частью просвечивающий и слабо флюоресцирует под действием ультрафиолетового света.

В некоторых осадочных месторождениях Ливии имеются серые полосчатые агаты (в районе Куарарат-аль-Фиржани). Правильнее было бы назвать этот материал халцедоновым кремнем. Встречаются также красные кремни, цвет которых обусловлен присутствием железа.

Испытания минералов семейства кварца

Широкая распространенность представителей семейства кварца обуславливает тот факт, что их предпочитают использовать для имитации более дорогих драгоценных камней значительно чаще, чем другие минералы – для имитации разновидностей кварца. Маловероятно, чтобы алмаз стали бы выдавать за горный хрусталь, в то время как обратная замена случается довольно часто. Ограниченный горный хрусталь можно спутать со многими бесцветными прозрачными драгоценными камнями, имеющими достаточно низкие показатели преломления; примерами могут служить данбурит, фенакит, петалит и даже бесцветный топаз. В каждом из этих случаев отличить один камень от другого можно с помощью исследования на рефрактометре. Если опустить кусочек кварца в разбавленный (до удельного веса 2,65) раствор бромформа и утопить его с помощью стеклянной палочки, он останется плавать во взвешенном состоянии. Многие специалисты по драгоценным камням для проверки похожих на кварц образцов имеют при себе такой раствор бромформа вместе с эталонным образцом кварца. Удельный вес кварца никогда не отличается от своего обычного значения настолько, чтобы его нельзя было отличить от большинства других камней. То же относится и к показателю преломления. Его значение лежит в пределах 1,544–1,553 и существенно отличается от показателей преломления большинства других минералов. Существует известная опасность спутать кварц лишь с тетрагональным скаполитом, отдельные разновидности которого очень похожи по внешнему виду на цитрин. В этом случае нужно произвести очень тщательные измерения как удельного веса, так и показателя преломления; их значения для скаполита, как правило, несколько выше, чем для кварца.

В идеальных условиях (конечно, при подходящих размерах камня) можно попытаться наблюдать интерференционную фигуру, которая в случае кварца уникальна. Для этого нужно поместить камень между скрещенными поляризаторами и проследить за появлением цветных интерференционных фигур, которые будут выглядеть как система радужных полос. Если они видны, то над образцом, но под анализатором следует ввести линзу; когда будет найдено правильное положение, можно увидеть черные ветви креста, не сходящиеся в центре; этот признак является диагностическим для кварца (рис. 8.1). Такая проверка предполагает достаточно утомительную и трудную работу. Другим



Рис. 8.1. Интерференционная фигура, наблюдаемая в полярископ с сильной собирающей линзой, введенной между верхним анализатором и образцом. Фигура характерна только для кварца.

признаком для отличия цитрина может служить характерная для него полосчатость, не наблюдающаяся в желтом скаполите.

В коллекции автора имеются две пары камней-двойников, из которых один является имитацией; одна из пар — аметисты, другая — цитрины. Имитирующие камни совершенно не отличимы от настоящих по цвету, но если каждый из них взвесить в руке, значительная легкость поддельных камней сразу же позволяет сделать правильный выбор.

Поддельный камень, в котором два куска горного хрусталя склеены желтым пластиковым или смоляным цементом, был описан Американским геммологическим институтом. Материал имеет одинаковые с кварцем физические константы, и для него можно наблюдать характерную интерференционную фигуру. Кварц применялся также в качестве основы в композитном материале, предназначенном для имитации изумруда.

Цитрин. Цитрин издавна путают с топазом, и даже в наши дни продолжают споры о правильных наименованиях этих двух минералов. В то же время определение показателя преломления сразу же решает этот вопрос, так как у топаза он выше и составляет 1,62–1,64; кроме того, для топаза не характерны включения, а изготовленные из него камни часто достаточно велики, чтобы было легко пользоваться этим диагностическим признаком. В топазе обычно не наблюдается полосчатости, типичной для цитрина. Если камень свободен от оправы, то чувствуется заметно бóльшая тяжесть топаза по сравнению с цитрином, так как их удельные веса равны соответственно 3,53 и 2,65.

У желтого циркона наблюдается раздвоение ребер нижних граней, если их наблюдать через верхнюю грань (рис. 8.2): двупреломление для циркона составляет 0,059 по сравнению с 0,009 для кварца. К тому же циркон имеет более сильный блеск. Желтый сапфир обладает более высоким показателем преломления (1,76–1,77), а большая твердость усиливает его блеск. Циркон и сапфир, если их извлечь из оправы, можно различить по удельным весам, которые соответственно равны 4,69 и 3,99. Значительно ближе к цитрину по показателю преломления (1,57) и блеску желтый берилл, но он имеет более высокий удельный вес (2,68).

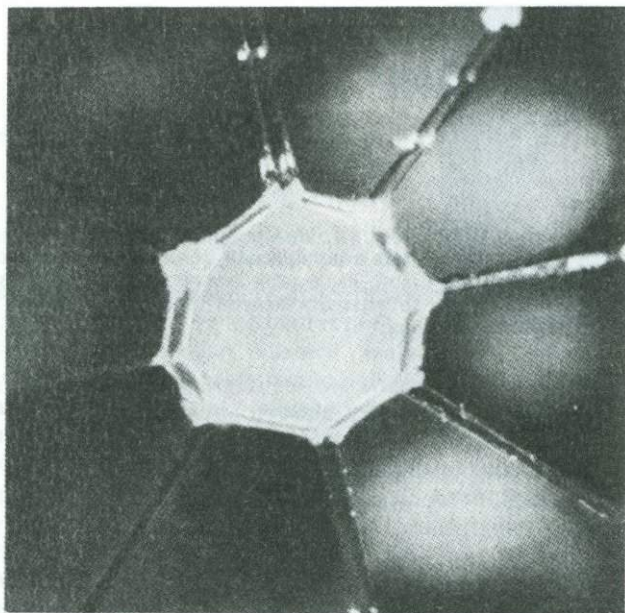


Рис. 8.2. Высокое двупреломление циркона вызывает раздвоение изображения ребер граней павильона при наблюдении через грань таблицы.

Еще один твердый и красивый камень – желтый хризоберилл – обладает показателем преломления 1,74–1,75 и удельным весом 3,72. Если под рукой имеется спектроскоп, полезно проверить на нем хризоберилл, для которого должна наблюдаться сильная полоса поглощения в фиолетовой области с центром около 440 нм. Для кварца спектр не является диагностическим признаком: его окраска не связана с присутствием переходных элементов. Редко встречающийся окрашенный в желтый цвет данбуриг, недавно найденный на Мадагаскаре (Малагасийская республика), выглядит очень похожим на цитрин и имеет показатель преломления 1,633 и удельный вес 3,00. Желтая разновидность фосфата кальция – апатит – имеет более зеленоватый, чем у цитрина, желтый цвет, но в любом случае его можно узнать по двум группам тонких линий поглощения, одна из которых находится в желтой, а другая – в зеленой области (рис. 8.3). Эти линии принадлежат редкоземельным элементам неодиму и празеодиму, которые вместе известны под названием дидима. Более близок к цитрину по внешнему виду желтый турмалин, цвет которого изменяется от бледно-желтого до яркого золотисто-желтого. Однако величина его двупреломления (около 0,018) значительно больше, чем у кварца.

Наилучшей имитацией цитрина является синтетический кварц. Этот камень уже рассматривался нами в гл. 3; здесь достаточно сказать, что

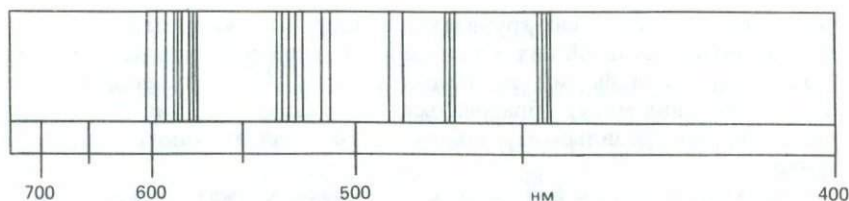


Рис. 8.3. Спектр редкоземельных элементов (дидима), наблюдающийся для желтого апатита.

отсутствие природных включений или полосчатости не оставляет сомнений в природе этого камня. Для окрашенной в желтый цвет пасты, как и вообще для любой пасты, характерны хорошо выраженный раковистый (похожий на раковину моллюска) излом, наличие внутри струйчатых образований, хорошо заметные газовые пузырьки (отчетливость их очертаний свидетельствует о различии показателей преломления газа и твердой матрицы), а также округленность межгранных ребер в тех случаях, когда камень не вырезался, а отливался в форму. В полярископе при этом ясно видны полосы, образующиеся за счет внутренних напряжений. Константы паст варьируют в широких пределах, но этот материал не должен вызывать серьезных затруднений при диагностике, так как в любом случае он лишен двупреломления.

Аметист. Этот минерал обладает теми же физическими константами, что и цитрин, поэтому его легко отличить от многочисленных заменителей. Одним из камней, который наиболее легко спутать с аметистом, является так называемый «Блу-Джонс» — разновидность флюорита (особенно это относится к необработанному материалу). Флюорит имеет показатель преломления 1,43 (ниже, чем у кварца), а его удельный вес равен 3,18 (выше, чем у кварца). В случае необработанного материала у «Блу-Джонс» наблюдается хорошо заметная шевроновая картина, не встречающаяся у аметиста (за исключением шевронового аметиста); по цвету эти минералы чуть-чуть различаются между собой, хотя наблюдаемое различие не поддается точному описанию. Цвет аметиста несколько больше приближается к пурпурному, а у «Блу-Джонс» — к розовато-лиловому. При распиловке флюорита диагностировать этот минерал не составляет труда. Во флюорите можно также наблюдать признаки спайности, проявляющиеся в радужных отблесках, которые иногда несколько маскируются общей окраской всего камня. Изредка обработке подвергается желтый флюорит, но он не слишком похож на цитрин. Для пурпурных сапфиров характерна эмиссионная спектральная линия, наблюдающаяся в спектроскопе и свидетельствующая о присутствии хрома. Узор «тигровой шкуры», образованный главным образом трубчатыми включениями, содержащими жидкость (Gübelin, 1974), не наблюдался ни у одного другого камня, кроме аметиста (см. рис. 4.4).

В целом структура «тигровой шкуры» состоит из чередующихся,

заполненных жидкостью трубчатых полостей и рядов отрицательных кристаллитов (мельчайших кристалликов, имеющих характерную для минерала-хозяина форму, но полых внутри). Гюбелин полагает, что такие включения могут образоваться в результате пластинчатого двойникования по бразильскому закону на ромбоэдрах, обогащенных железом.

Характерными для аметиста включениями служат также стеблеподобные кристаллики оксида железа – гётита. Этот минерал переходит в пластинчатую модификацию – лепидокрокит.

Горный хрусталь. К иголкам турмалина, рутила и роговой обманки, часто встречающимся в образцах горного хрусталя, при рассмотрении всей группы характерных включений следует добавить призматические кристаллы эпидота, иголки дюфренуазита (свинцово-мышьяковистого сульфида), плоские кристаллики слюды и псевдогексагональные группы зеленовато-черных кристаллов пеннина (псевдотригональной разновидности клинохлора – гидроксилсодержащего магнезиально-железистого алюмосиликата).

Розовый кварц. Звездчатую разновидность розового кварца можно отличить от звездчатого сапфира обычными методами; звезда у кварца никогда не бывает ярко выраженной, если отсутствует отражающая подложка. В последнем случае звезда становится очень яркой, и если наблюдать камень под лампой, то можно увидеть его отражение в центре звезды. Этого не произойдет, если кварцевая звезда естественная (без подложки). В последнее время стали применяться подложки, для которых этот эффект не сильно выражен, хотя при рассматривании камня под прямым углом к главной оси кристалла можно наблюдать розовую окраску.

«Кошачий глаз». Кварцевый «кошачий глаз» имеет менее выигрышный вид, чем настоящий хризоберилловый «кошачий глаз» – цимофан. Чтобы различить неоправленные камни, используются обычные методы: для хризоберилла характерна полоса в спектре поглощения с центром при 440 нм. Тем не менее хороший кварцевый «кошачий глаз» может выглядеть лучше низкокачественного цимофана, так что при их диагностике следует быть осторожным.

Зеленый кварц и авантюрин. Для прозрачной зеленой разновидности кварца, получившей название празолита, практически не существует сколько-либо серьезных поддельных материалов. В то же время зеленый авантюриновый кварц, цвет которого обусловлен тонкими листочками хромовой слюды (фуксита), можно при неблагоприятных условиях принять за жадит или даже за низкокачественный изумруд. Это внешнее впечатление может также усиливаться наличием в спектре поглощения слабых следов линии хрома, но указанные минералы легко различить с помощью других испытаний (в лупу очень отчетливо видны слюдяные листочки). Авантюрин чаще всего представляет собой массу мелких отдельных кристаллов кварца, а не монокристалл. Имитация, выполненная из стекла, имеющая золотисто-коричневый цвет, светлее любого

природного авантюрина сходного цвета. В этом случае физические константы обоих минералов близки.

Скрытокристаллической кварц. Лишенные полосчатости члены этой группы (халцедоны) имеют удельный вес около 2,60 и показатель преломления около 1,535. Интересно отметить, что плоский полированный срез халцедона дает два теневых края на рефрактометре, которые различаются между собой приблизительно на 0,006 по шкале прибора. Это связано с нахождением кварцевых волокон среди опалового кремнезема; эти два материала слегка различаются по показателю преломления; этим вызывается кажущееся двупреломление. Халцедоны обычно имеют специфические окраски, и их невозможно спутать с другими минералами, но в отдельных случаях могут возникнуть недоразумения. Один из таких случаев связан с хромовым халцедоном (мторолитом) из Зимбабве, который по цвету несколько ближе к нефриту, чем к жадеиту; оба указанных минерала имеют более высокие удельные веса и показатели преломления, чем кварц. Хризопраз имеет яблочно-зеленый, а не хромово-зеленый цвет, но и в этом случае по физическим константам легко исключить все другие драгоценные камни. В оранжевой части спектра для хризопраза можно наблюдать слабую линию при 632 нм.

Камеи вырезаются из полосчатых халцедонов (черного с белым оникса, красного сарда, красного с белым сардоникса), причем рельефное изображение выполняется из белой прослойки, а фон остается черным или красным. Черные ониксы иногда получают путем насыщения сероватого материала раствором сахара с последующей обработкой камня в серной кислоте; после этого в порах остается углерод. Красный или желтовато-красный карнеол обладает полосчатой структурой, обнаруживаемой в проходящем свете (в этом его отличие от пластика или стекла, которые применяются для подделки). Кровавик (темно-зеленый с красными блестками, ранее называвшийся гелиотропом) и моховой агат (молочно-белый агат с дендритовыми образованиями оксидов марганца; старое название — камень Моча) не имеют аналогичных поддельных материалов, за исключением случайных кусков стекла.

Искусственное изменение цвета

Выше, в гл. 3, мы указали на некоторые способы, позволяющие усилить или изменить окраску кварца. Хотя оценщики драгоценных камней редко нуждаются в этих сведениях при решении вопроса об идентификации того или иного конкретного камня, будет полезно кратко перечислить здесь различные методы изменения окраски. Новейшие данные по этому вопросу приводит Нассау (Nassau, 1983) для многих семейств драгоценных камней, в том числе и для кварца. Нагревание применяется для превращения аметиста в цитрин или для придания ему зеленого цвета. Если используемая при этом температура была не слишком высокой, окраска может быть восстановлена путем облучения. Синтетический аметист можно получить из выращенного в

гидротермальных условиях железосодержащего кварца. Облучение вызывает молочную окраску в природном и искусственном кварце, а дымчатый кварц иногда при нагревании может становиться зеленовато-желтым. Комбинированный аметист-цитрин можно получить путем нагревания и облучения исходного аметистового материала. Все полученные цвета устойчивы при действии света, но бледнеют при нагревании, и изготовитель ювелирных изделий должен помнить об этом и быть осторожным во всех случаях, когда в процессе работы может происходить нагревание камня. Поскольку искусственную обработку нельзя распознать с достаточной определенностью и она незначительно влияет на цену камня, о ней обычно не упоминают, даже если о такой обработке известно. Скрытокристаллические члены кварцевого семейства окрашивают достаточно часто; те из них, которые содержат некоторое количество железа, прокаливают для получения окрасок от коричневой до красной, как у карнеола. На эту окраску не действует свет. Некоторые бесцветные кварцы можно нагреть и затем бросить в холодную воду, содержащую красящее вещество. Резкое изменение температуры вызывает образование в кварце трещин, по которым в камень проникает краска. Иногда краску не применяют, и при такой обработке декоративный эффект достигается за счет интерференционных цветов, вызванных трещинами. Подобный материал часто называют ирисовым кварцем. Обработанный таким способом кварц можно выдать за изумруд или другой драгоценный камень, а способ обработки и истинное происхождение материала, естественно, должны быть указаны в сопроводительных бумагах.

Некоторые образцы «тигрового глаза» осветлены с помощью отбеливания. Окрашивание применяется также для придания халцедонам синего цвета в целях имитации ляпис-лазури (этот материал по традиции называют «швейцарский ляпис»). При использовании облучения камни могут сохранять радиоактивность, что было обнаружено в некоторых сподуменах и топазах. В целях соблюдения безопасности правительство Бразилии объявило подобные способы обработки незаконными. Я не встречал сведений подобного рода о радиоактивном кварце, но такую возможность все же следует иметь в виду. В частности, необходимо быть осторожным, если камень, несомненно являющийся кварцем, имеет необычную или чрезвычайно яркую окраску. Лица, деятельность которых посвящена испытанию драгоценных камней, должны по возможности хранить у себя некоторые контрольные камни, чтобы проследить за их выцветанием.

Огранка кварца

Синкенес (Sinkankas, 1962) приводит много полезных сведений об огранке разновидностей кварца. Он указывает, что любой кварц обычно полируется окисью церия на войлоке, шерсти или коже, но иногда используется также полирующий порошок, известный под названием триполи (химически он идентичен кварцу и готовится при дроблении пород, содержащих окременелые диатомовые водоросли). Некоторые разновидности кварца дают задиры при шлифовании, и в этом случае их следует полировать на коже порошком Линде А.

В случае аметиста иногда возникают проблемы, связанные с зональной окраской. Исходному материалу следует придать такую форму, чтобы на таблице готового камня не были видны выходы зон. У аметиста наблюдается тенденция к образованию волнистой поверхности в случае двойникованных кристаллов; для предотвращения этого эффекта лучше всего изменить направление полировки. Для коронки камня принято соблюдать углы $40-50^\circ$, а для павильона -43° .

Цвет карнеола можно улучшить за счет нагрева заготовок; в качестве контейнера рекомендуется обмотка асбестовым шнуром. При этом в течение приблизительно 1 ч пламя следует поддерживать слабым, чтобы удалить всю влагу, затем пламя увеличивают до средней силы до тех пор, пока не станет горячим весь камень. Охлаждение должно быть постепенным. Хризопраз имеет тенденцию к задирам, и его лучше всего полировать на коже. Хризоколлу (разновидность, названная хризоколлавым кварцем, представляет собой ярко-синий халцедон, окрашенный включениями минерала хризоколлы) обрабатывают тем же способом, что и хризопраз.

Многие разновидности яшмы следует увлажнить, а те куски, которые впитывают значительное количество воды, полировать не стоит. С помощью порошка Линде А трудно получить очень хорошие камни.

В некоторых розовых кварцах проявляется астеризм, и гранильщик должен проследить, чтобы звезда находилась на вершине камня, имеющего форму кабошона. На заготовке не всегда легко выбрать правильное направление обработки. Синкенес предлагает часть заготовки (около половины) отполировать и просмотреть этот участок под точечным источником света. При этом, понемногу поворачивая заготовку, нужно заметить место схождения ветвей креста. Найденную точку отмечают алюминиевым карандашом. Заготовку следует обрезать та-

ким образом, чтобы эта точка оказалась на вершине готового камня. Любые два наблюдаемых луча звезды будут сходиться в некой точке пересечения, так что даже если сама точка и не будет видна, ее положение можно определить, мысленно продолжив лучи до их пересечения. Звезда в розовом кварце лучше видна в проходящем, нежели в отраженном свете.

Переливчатый кварц («кошачий глаз») следует вырезать так, чтобы волокна лежали в плоскости основания кабошона. Если готовый камень предполагается сделать овальным, нужно, чтобы волокна шли вдоль его длинной оси. Узор «кошачьего глаза» на кварце не такой резкий, как на хризоберилле.

Скрытокристаллический кварц, не заслуживающий более сложной обработки, можно подвергнуть галтовке для придания его кусочкам красивого вида. Поскольку этот материал имеет тонкозернистую структуру, он хорошо полируется, однако из-за его значительной вязкости первую обдирку следует производить в течение длительного времени. Для обработки нужно выбирать куски материала, не имеющие полостей и углублений; кроме того, желательны куски одного размера. Все острые края следует удалить. Больше всего хлопот в этом отношении доставляют роговик и кремень, поскольку их обломки остроугольные и хрупкие; эти свойства присущи также горному хрусталу и аметисту — они, кроме того, склонны к образованию мелких закругленных трещин на поверхности и имеют острые ребра. Их обработку следует выполнять с небольшой скоростью.

Огранка кристаллов цитрин-аметиста имеет ряд важных особенностей. Если цвета приблизительно сбалансированы, ориентировка камня не вызывает затруднений, но в тех случаях, когда цитрин преобладает над аметистом, цитриновый участок должен быть расположен в области колеты, причем плоскость соприкосновения материалов с различной окраской должна располагаться приблизительно под прямым углом к таблице. Если в область колеты поместить аметист, готовый камень приобретает своеобразный цвет — наиболее сильная аметистовая окраска будет как бы пронизывать весь камень. Если хотят добиться эффекта двуцветности, цитриновый участок должен совпадать с колетой и плоскость соприкосновения разных цветов должна быть наклонена на $60-70^\circ$ относительно таблицы (Vargas, 1980). Если таблица расположена под прямым углом к оси кристалла c , должен возникнуть красивый эффект двуцветности.

Распиловка огненного агата описана Дейлом (Dale, 1981), который отмечает, что материал обычно покрыт толстым слоем халцедона с лежащим под ним коричневым слоем. Игра цветов возникает только в том случае, когда свет проходит через оба эти слоя. Ниже опять располагается коричневый слой, за ним иногда следует слой какой-либо иной окраски, который вместе с первым окрашенным слоем создает весь спектр окраски камня. Дейл, специализировавшийся на вырезании изображений животных из огненного агата, обнаружил, что струйчатая

структура камня подсказывает мастеру места, где следует поместить наиболее важные детали рисунка. При распиловке «тигрового глаза» для получения эффекта переливчатости нужно, чтобы волокна лежали параллельно основанию камня. Если вырезать камень перпендикулярно к этому направлению, возникнет эффект «бычьего глаза». Камень следует полировать на коже окисью олова, окисью алюминия или алмазным порошком 50 000 (это наилучший полирующий материал). Чем выше кабошон, тем шире будут полосы—бока высоких кабошенов должны иметь коническую форму. Камень, в котором волокна расположены неправильно, не следует использовать для огранки, поскольку его поверхность будет неровной.

Применение кварца в ювелирных изделиях

Разновидности кварца столь широко используются в ювелирных украшениях, что невозможно проследить какие-либо тенденции в этом вопросе. Тем не менее интересно познакомиться с использованием кварцевых драгоценных камней в древности; прекрасный обзор таких сведений можно найти у Огдена (Ogden, 1982). Аметисты в древние времена поступали из Египта, Шри-Ланки, с Урала и из целого ряда мест Западной Европы. В Египте аметист стали использовать со времен Первой династии; некоторые из таких камней имеют очень бледную окраску. Наиболее часто аметист встречается в предметах времен Среднего царства и намного реже—Нового царства. Индийский аметист, упоминавшийся Плинием Старшим («Главным источником аметиста является Индия», «Естественная история», кн. 40), скорее всего происходит из Шри-Ланки. В местечке Хараппа на севере Индии столь ранние находки аметистовых бус не известны, хотя такие бусы были найдены в Таксиле; это свидетельствует о существовании торговых связей с Шри-Ланкой. Огден считает, что аметист, найденный в древней Персии, также, по-видимому, происходит из Шри-Ланки. Найденные на Крите аметистовые бусины датируются серединой 3-го тысячелетия до н.э. Были описаны также микенские аметисты прекрасного темно-пурпурного цвета.

Известны этрусские, эллинские и римские находки изделий из аметиста, хотя он не слишком часто использовался для вставки в кольца; для оправы преимущественно применялось золото. Иногда кристаллы вставлялись в оправу в необработанном виде (это относится также и к кристаллам горного хрусталя).

Цитрин не пользовался широким распространением в ювелирных изделиях вплоть до эллинистической эпохи, что объясняется относительной редкостью и недоступностью этого камня по сравнению с аметистом (цитрин встречался главным образом на Урале, в Шри-Ланке и Западной Европе). Резные изображения (инталии) на цитрине известны начиная с эллинистического и римского времени; в последнем случае ему иногда придавали форму кабошона. Горный хрусталь применялся с

древнейших времен, особенно для изготовления бус; отдельные экземпляры относятся к додинастическому времени в Египте и датируются 3-м тысячелетием до н. э. в Западной Азии и концом 3-го тысячелетия до н. э. на Крите. Из горного хрусталя вырезались кольца и браслеты (в конце IV в. в Древней Греции); Плиний Старший упоминает о горном хрустале как материале для изготовления сосудов. Самый лучший горный хрусталь в эпоху Рима поступал из Индии.

Ни в Египте, ни в Западной Азии не имелось источников розового кварца, и примеры столь давних его находок редки. Известны бусы римского времени, и сообщалось по крайней мере об одной бусине, относящейся к VII в. до н. э. Однако в некоторых археологических работах могли путать аметист и розовый кварц.

Дымчатый кварц известен главным образом начиная с эллинистического или более позднего времени; во времена Древнего Рима бусы из него встречались не очень редко. Источником дымчатого кварца служила, по-видимому, Индия или Шри-Ланка.

Находки древних изделий из скрытокристаллических разновидностей кварца достаточно обычны. Кровавик применялся египтянами, а в Западной Азии были найдены сделанные из кровавика цилиндрические печати. Сасанидские печати из кровавика были широко распространены, но наибольшее применение этот камень нашел, по-видимому, в римских геммах I-II вв. Некоторые предметы, найденные в Великобритании, могут происходить из Шотландии. Халцедон использовался в Египте для изготовления амулетов и бус начиная с додинастического времени и кончая римским; сходные предметы встречены также в Западной Азии. Данный материал особенно часто использовался для печатей, в Западной Азии их делали вплоть до династии Сасанидов; имеются случаи находок Минойской эпохи на Крите; как материал для гравировки применялся в Древней Греции V-IV вв. Особенно широким распространением пользовались бледно-синие разновидности. Такие камни, по-видимому, частично происходят из Индии. Вероятно, только римляне использовали халцедон для гемм (инталей); некоторые из них датируются I в. н. э. Халцедоновые бусы римского времени редки. Огден считает, что римляне предпочитали ювелирные изделия из более ярких камней.

Описаны находки яркого яблочно-зеленого хризопраза в египетских ювелирных предметах начиная с додинастического периода, а также в греческих и римских гравированных изделиях. В наши дни самый лучший хризопраз поступает из Австралии, хотя до этого значительную роль в его поставках играла Польша. Карнеол найден в Индии и Египте, причем в последнем случае он с давних времен использовался для изготовления бус; кроме того, из него делали амулеты, что свидетельствует о наличии достаточно крупных кусков этого материала. Сообщалось о находках желтоватой разновидности, датируемых периодами Среднего и Нового царства. На Кипре, где этот камень не встречается, были найдены бусы из карнеола, относящиеся к раннему неолиту.

Много сведений сообщалось также о карнеоле из Ура. Скараabei финикийского и этрусского времени часто сделаны из этого камня, который, по-видимому, добывался на местных реках в Тоскане. Римские карнеоловые бусины имеют обычно форму кубиков со срезанными вершинами. Яшма найдена в очень большом числе мест; красные ее разновидности использовались египтянами начиная с додинастических времен, а особенно часто — в период Нового царства. Головки из красной яшмы найдены в Иране, но эти находки не датированы. Этот материал не использовался древними греками, но был найден в минойских и микенских изделиях. Римские ювелиры с начала II в. н.э. часто применяли карнеол, особенно в геммах; оправы для колец обычно делались железными или серебряными, иногда золотыми. Зеленая яшма употреблялась в Египте начиная со времени Бадарийской культуры. Цилиндрические печати из зеленой яшмы, относящиеся к периоду Джемдет-Наср и более позднему времени, были обнаружены в Западной Азии. Эта яшма часто использовалась для изготовления финикийских печатей со скарабеями, и одна или две из известных древнегреческих печатей выполнены также из зеленой яшмы. Желтая яшма известна в Египте со времени 18-й династии и позже, а также в Минойскую эпоху. Иногда она применялась римлянами в геммах и более часто — в железных кольцах. Черная яшма употреблялась в римских геммах, но чаще всего она служила пробирным камнем для золота (черную яшму иногда называют базанитом, лидийским или пробирным камнем); ее используют для определения цвета черты золотых сплавов.

Употребление плазмы (зеленой с белыми или желтыми пятнами) трудно проследить исторически, так как ее легко было спутать с низкокачественным изумрудом. Литературные сведения в источниках, написанных до открытия и начала использования изумруда, по-видимому, относятся к плазме; например, описания древнегреческих печатей.

Полосчатые агаты встречены во многих местах развития древних культур (Египет, Индия, Аравия, Северный Иран, Сицилия). Этот материал употреблялся в Египте с додинастического периода, чаще всего для изготовления бус и амулетов. В минойских, древнегреческих и этрусских ювелирных изделиях применялся полосчатый агат; полагают, что он вышел из моды во времена позднего Рима. Оникс (с прямыми и параллельными полосами) найден в Египте, и наиболее широкое использование этого камня приходится на период 22-й династии и позже. Западная Азия не так богата этим материалом, и с древнейших времен он применяется здесь в меньшей степени, чем в Египте. Прекрасный оникс поступал в эллинистические времена из Индии; он применялся для гемм, а также для камей. Цвет этих камней, возможно, усилен искусственным окрашиванием.

Практика искусственного изменения природных камней с помощью различных методов восходит к очень древним временам. Плиний Старший указывал, что сардоникс можно получить склеиванием трех камней, при этом места склейки даже невозможно определить. Огден

установил, что обычай улучшать камни впервые, по-видимому, появился в Индии, поскольку там имела место по меньшей мере одна находка составных бусин с чередующимися слоями различных материалов, имитирующих оникс. Многие рецепты окрашивания пористых материалов восходят к классическим временам; Плиний Старший указывает на случай окрашивания янтаря с целью подделки аметиста.

Наиболее древним способом обработки кварцевых драгоценных камней было их раскалывание; хотя кварц и лишен существенных направлений спайности, он раскалывается легко и в желаемом направлении, так что наколоть материал для бусин не составляло большого труда. На некоторых бусинах из Месопотамии имеются следы растрескивания, вызванного, по-видимому, обработкой с помощью молотка. По всей вероятности, при обработке кварца пользовались кремневыми острыми предметами, поскольку с их помощью можно даже просверлить кварц. Шлифование на таких камнях, как песчаник, использовалось для придания определенной формы материалам, подобным карнеолу. Для полировки потребовалось бы применение более твердых абразивов, например корунда, который известен по крайней мере со времен ранней цивилизации в Западной Азии. Наждак, представляющий собой загрязненный примесями корунд, начал применяться в качестве абразива, по-видимому, на юго-западе Турции. Эксперименты показали, что кремневым сверлом при использовании наждака и лучкового способа сверления можно сверлить кварц со скоростью около 1 мм за 20 мин.

С наступлением средневековья входит в практику изготовление кабшонов из камня в сочетании с филигранью и эмалью в подчиненных духовенству частных ювелирных мастерских, которые славились крупными брошами и кольцами с большими гнездами для камней. Римские агатовые камни из сокровищницы собора Аоста датируются примерно 1200 г., и в течение всего этого периода продолжалось использование изделий из кварца такого типа. В XIII в. камни, считавшиеся одним из главнейших видов ювелирных изделий, применялись для украшения гробниц, ковчегов и рак. Интересно отметить, что классические сюжеты римских камней были интерпретированы в духе христианской иконографии (Evans, 1953). Одним из главных признаков рак позднего средневековья являлось использование в них халцедона, и около 1498 г., согласно Эвансу, халцедон применялся в качестве камня для огранки. В эпоху позднего Ренессанса камни были очень модны. Королева Елизавета I имела много различных камней. В счетах Наваррского двора за 1587 г. числится выплата Томасу Папиллону за оникс с вырезанным на нем портретом Елизаветы.

Основной тенденцией в период между Ренессансом и большим подъемом ювелирного дела в XIX в. было уменьшение роли эмали и применение в возрастающих масштабах широкого ассортимента цветных драгоценных камней. Наибольшим распространением пользовался аметист, поскольку его всегда было легко достать. В начале XIX в. возможности использования скрытокристаллического кварца в качестве

материала для ювелирных украшений стали более очевидными. «Дамский журнал» за 1801 г. сообщает о длинных цепочках, усыпанных моховыми агатами, а в следующем году этот журнал рекомендовал ювелирные изделия с узором из карнеола и мохового агата, украшенные жемчужинами. Ювелирные украшения времен Реставрации не всегда отличались обилием особенно дорогих камней, и в них часто встречается аметист. С 1815 г. в Лондоне для ювелирных работ стали применяться промышленные методы, и некоторые французские мастера стали посещать Англию для ознакомления с этими методами. В 1806 г. Мари Рассел-Митфорд сообщает о состоявшейся встрече любителей аметиста, у которых ожерелья, ободки на шляпах, тиары, нарукавники, браслеты, броши и банты на обуви были украшены только этим камнем. Аметисты, оправленные в золото, вошли в моду в Париже после 1815 г.

При короле Эдуарде аметист стал очень популярен отчасти из-за его обилия, а отчасти из-за того, что королеве Александре нравился его цвет. Он часто употреблялся для отделки цепочек или муаровых шелковых лент. В это время существовала мода на браслеты, в которых крупный аметист окружался двойной каймой из половинок жемчужин. Этот стиль копировал более ранний, популярный в 1830-х годах. В течение этого времени были также очень модны шотландские ювелирные изделия с крупными цитринами (кернгормами) или дымчатыми кварцами.

Расцвет популярности цитрина связан с производством в 1938 г. Картье целого ряда ювелирных изделий с очень простым рисунком. Подбиравшееся для оправ цитрина золото каждый раз удачно контрастировало с цветом самого камня. Наибольшим распространением пользовались изображения цветов. Интересно отметить, что, несмотря на традиционно малую популярность среди европейской покупателей желтых и коричневых камней, в указанный период наблюдалась обратная тенденция.

С 1960-х годов в ювелирном деле стали употребляться все виды камней, и известно много случаев вставок необработанного цитрина и аметиста в броши. Обе эти разновидности кварца нередко играли определяющую роль в общем сюжете рисунка украшения. В настоящее время все кристаллические и скрытокристаллические разновидности кварца достаточно широко используются в ювелирном деле.

На аукционе коллекции драгоценных камней Хоупа, каталог которой был опубликован в 1839 г., было выставлено на продажу несколько интересных образцов кварца. В статье автора настоящей книги (O'Donoghue, 1970) приведены детальные описания этих камней и цены, по которым они были проданы.

Солено-желтый кернгорм размером 2,1 × 1,9 см при толщине 2,1 см. Стоимость камня 5 фунтов стерлингов; сейчас он находится в Музее Виктории и Альберта в составе коллекции Чонси Хэра Таунзенда. Музейный регистрационный номер 1182-69.

Цейлонский двойниковый камень, наполовину дымчатый, наполови-

ну пурпурный, в виде овала размером $1,8 \times 0,65$ см. Цена 10 фунтов стерлингов. Коллекция Таунзенда, регистрационный номер 1186-69.

Вырезанный в форме сердечка розовый сибирский аметист размером $2,3 \times 2,3$ см. Цена 7 фунтов, коллекция Таунзенда, номер 1189-69.

Яркоокрашенный полосатый аметист размером $2,3 \times 2,65$ см при толщине 1,3 см. Цена 15 фунтов, коллекция Таунзенда, номер 1191-69.

Кусок халцедона на аметисте; верхний слой срезан так, что его рисунок напоминает шкуру пантеры, выпуклая обратная сторона аметиста имеет гравированный вакхический рисунок. Цена 15 фунтов стерлингов. Размер 2×15 мм. Коллекция Таунзенда, номер 1208-69.

Овальный серый моховой агат с черными дендритами, отнесенный Герцем к опалу (ср. каталог 1839 г.). Размер $2,5 \times 1,9$ см. Цена 15 фунтов стерлингов. Коллекция Таунзенда, номер 1215-69.

Словарь использованных терминов

- Алловий** – отложения в руслах ручьев и рек.
- Амфибол** – силикат с двумя направлениями спайности, пересекающимися под углом 124° .
- Андезит** – мелкозернистая изверженная порода, содержащая полевой шпат в качестве главного компонента. Более светлая по сравнению с базальтом.
- Базальт** – мелкозернистая темная изверженная порода.
- Брекчированный** – состоящий из угловатых обломков пород.
- Вторичный минерал** – минерал, образовавшийся за счет ранее существовавших минералов в результате их изменения под воздействием просачивающихся вниз вод или восходящих жидких и газообразных потоков.
- Галогены** – хлор, бром, фтор и иод.
- Идиоморфный** – термин, применяемый по отношению к кристаллам с правильной формой.
- Иносилкаты** – минералы с цепочечным расположением тетраэдров SiO_4 .
- Кварцит** – порода, сложенная преимущественно кварцем; образуется в результате метаморфизма песчаников.
- Компенсация валентности** – сохранение электронейтральности кристалла; заряды ионов элементов должны быть сбалансированы путем замены (компенсации) разновалентными ионами.
- Кремень (флинт)** – конкреции кремнистого состава.
- Магма** – силикатный расплав, образующийся в глубинах земной коры при температурах $900\text{--}1600^\circ\text{C}$.
- Микрокристаллический** – состоящий из множества мельчайших, но все же различимых под микроскопом кристаллов.
- Миллеровские индексы** – индексы, используемые для определения ориентации кристаллографических плоскостей, граней и форм. Грани кристаллов часто параллельны одной или нескольким кристаллографическим осям и поэтому пересекаются с ними только в бесконечности. В основу миллеровских индексов положены обратные величины отношений расстояний, отсекаемых данной плоскостью на кристаллографических осях. Они представлены тремя числами для кристаллов, имеющих три кристаллографические оси, и четырьмя числами для кристаллов, имеющих четыре кристаллографические

оси. Грань, параллельная какой-либо оси, имеет соответственно индекс «0», а грани, пересекающей ось, соответствует индекс «1». Если грань отсекает отрезок на отрицательном направлении оси, то ей соответствует индекс « $\bar{1}$ ».

Миндалекаменная порода – порода (например, базальт), содержащая включения миндалевидной формы.

Незосиликаты – см. Ортосиликаты.

Оптическое погасание – анизотропные (с двойным лучепреломлением) кристаллы в скрещенных николях просветляются четыре раза при полном повороте столика микроскопа. Свет не проходит в промежуточном положении (при погасании). Изотропные кристаллы находятся в состоянии погасания на протяжении всего поворота столика микроскопа.

Ортосиликаты – силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами SiO_4 в их кристаллических решетках (известны также как незосиликаты).

Отрицательные кристаллы – включения в полостях минералов, принимающие форму кристалла минерала-хозяина.

Параморфозы – образования, возникающие при полиморфных превращениях высокотемпературной модификации в низкотемпературную; при этом происходит перестройка кристаллической структуры минерала без изменения его химического состава и с сохранением внешней формы первоначальных кристаллов.

Переходные элементы – элементы с порядковыми номерами 22–29 в Периодической таблице элементов.

Пироксены – силикаты с двумя направлениями спайности, пересекающимися под углом несколько меньше чем 90° .

Плутоны – сравнительно крупные интрузивные массивы горных пород, сформировавшиеся на больших глубинах в результате медленной кристаллизации.

Полиморфизм – способность минералов давать две или несколько модификаций, сохраняя одинаковый валовой химический состав, но с различными физическими свойствами.

Редкоземельные элементы – элементы с порядковыми номерами 57–71 в Периодической таблице элементов, обладающие сходными химическими свойствами.

Риолит – мелкозернистая порода гранитного состава.

Роговик – скрытокристаллическая кремнистая порода.

Скрытокристаллический – сложенный многочисленными кристаллами или кристаллическими волокнами, которые настолько мелки, что отдельные индивиды не различимы под микроскопом даже при самом сильном увеличении.

Спайность – свойство кристаллов раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям.

Туф – порода, образовавшаяся в результате уплотнения и цементации вулканического пепла.

- Центр окраски** – дефект в кристалле, который может захватить электрон, или дырка (вакантная позиция, не занятая электроном), обуславливающие абсорбцию света.
- Цепочечные силикаты** – минералы, в кристаллической структуре которых кремнекислородные тетраэдры SiO_4 слагают цепочки.
- Электронейтральность** – свойство стабильной кристаллической структуры, выражающееся в сбалансированности общего заряда анионов и катионов.
- Эловий** – образования, переходные от первичных к вторичным (аллювиальным); представляют собой продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте своего образования или незначительно смещенные вниз по склону.
- Энантиоморфизм** – свойство некоторых кристаллов существовать в правой и левой модификациях; при этом правая модификация (ее форма, структура и оптические свойства) является зеркальным отражением левой.

Литература

- Agricola Georgius (Georg Bauer)*, *Ausgewahlte Werke (De re metallica, 1530)* Berlin (1955).
- Aikens I.*, Quartz gem stones, US Bureau of mines information circular 6561 (1932).
- Alonso P. J. et al.*, *Journal of applied physics*, **54**, 9 (1983).
- Anderson B. W.*, *Gem testing*, 9th edition, London (1980).
- Anthony J. W., Williams S. A., Bideaux R. A.*, *Mineralogy of Arizona*, revised edition, Tucson (1982).
- Балакирев В. Г. и др.*, *Минералогия и кристаллофизика ювелирных разновидностей кремнезема.*—М.: 1979.
- Balitsky V. S.*, *Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, **29**, 1/2 (1980).
- Ball R. A.*, *Australian gemmologist*, **13**, 7 (1978).
- Барсанов Г. П., Яковлева М. Е.*, *Минералогия яшм СССР.*—М.: Наука, 1978, 86 с.
- Bloss F. D.*, *American Journal of science*, **255**, 214 (1957).
- Brown R. E.*, *Australian gemmologist*, **12**, 5 (1975).
- Burbage E. J.*, *Journal of gemmology*, **13**, 4 (1972).
- Cain E. E. H.*, *Lapidary Journal*, **6**, (1952).
- Cassedanne J. P., Cassedanne J. O.*, *Mineralogical record*, **4**, 5 (1973).
- Cassedanne J. P., Cassedanne J. O.*, *Mineralogical record*, **4**, 6 (1973).
- Cassedanne J. P., Cassedanne J. O.*, *Revue de gommologie*, **47** (1976).
- Cassedanne J. P., Cassedanne J. O.*, *Revue de gommologie*, **53**, (1977).
- Cassedanne J. P., Cassedanne J. O.*, *Revue de gommologie*, **57**, (1978).
- Cassedanne J. P.*, *Revue de gommologie*, **69**, (1981).
- Cassedanne J. P.*, *Revue de gommologie*, **75**, (1983).
- Chalmers R. O.*, *Australian rocks, minerals and gemstones*, Sydney (1967).
- Collins J.*, *A handbook to the mineralogy of Cornwall and Devon*, 2nd edition, Truro (1982).
- Cook R. B.*, *Mineralogical Record*, **10**, 3 (1979).
- Cronstedt K.*, *Australian gemmologist*, **10**, 7 (1969).
- Dake H. C.*, *Quartz family gemstones* (1938).
- Dale N.*, *Lapidary Journal*, **34**, 11 (1981).
- Dana J. D., Dana E. S.*, *System of mineralogy*, 7th edition, New York (1962).
- Deer W. A., Howie R. A., Zussman J.*, *Rock-forming minerals*, (5 volumes), London (1962) (New edition in progress).
- De Lisle R.*, *Essai de Cristallographie*, Paris (1772).
- De Michele V.*, *Guida mineralogica d'Italia* (2 volumes), Novara (1974).
- De Senarmont H.*, *Annales de chimie et de phys.*, **32**, 129 (1851).
- Dietrich R. V.*, *Mineralogical record*, **2**, 79–82 (1971).
- Dreher O.*, *Farben des Achates, Idar-Oberstein* (1913).
- Dustin F.*, *Rocks and minerals*, **11**, 152–155 (1936).
- Embrey P. G., Fuller J.*, *A manual of new mineral names, 1892–1978*, London (1980).
- Engel A. E. J.*, *US Geological Survey bulletin*, **973-E**, (1952).
- England B. M.*, *Australian gemmologist*, **12**, 10, (1976).
- Evans J.*, *A history of jewellery, 1100–1870*, London (1953).
- Farrington O. C., Laufer B. M.*, *Field Museum of Natural History Geology leaflet*, No. 8 (1927).

- Fleischer M., Glossary of mineral species, Tucson (1983).
- Frondel C., American mineralogist, **67**, 1248 (1982).
- Fryer C., Gems and gemology, **17**, 229 (1981).
- Gaertner H., Achate, Steinerne Wunder der Natur, Friedrichsdorf (1971).
- Gait R.I., Mineralogical record, **4**, 1 (1973).
- Goldschmidt V.M., Atlas der Krystallformen, Heidelberg (1913–1923).
- Gramaccioli C.M., Die Mineralien der Alpen (2 volumes), Stuttgart (1978).
- Greg R.P., Lettsom W.G., Manual of mineralogy of Great Britain and Ireland, Broadstairs (1977) (Revised edition with additional material compiled by P.G. Embrey).
- Gübelin E.J., Internal world of gemstones, Zurich (1974).
- Harding R.R., Journal of gemmology, **16**, 2 (1978).
- Harrison R.K., Bulletin, Geological Survey of Great Britain, **52**, 55 (1975).
- Harry R.J., Traite de cristallographie, Paris (1822).
- Hedde M.F., The mineralogy of Scotland (2 volumes), Edinburgh (1901).
- Hinks P., Twentieth-century British jewellery, 1900–1980, London (1983).
- Hintze, Handbuch der Mineralogie, Berlin (1904).
- Jorden, A discourse of naturall bathes and mineral waters, London (1632).
- Joshi M.S., Paul B.K., Journal of gemmology, **15**, 3 (1976).
- Keller P.C., Mineralogical record, **10**, 4 (1979).
- Kerr P.F., Armstrong E., Bulletin of the Geological Society of America, **54**, Supplement 1–34 (1943).
- Lehmann G., Bambauer H.U., Angewandte Chemie, **4**, 283 (1973).
- Lehmann G., Moore W.J., Journal of chemical physics, **44**, 1741 (1966).
- Leiper H., The agates of North America, San Diego (1972).
- Lieber W., Der Mineraliensammler, 5th edition, Thun (1971).
- Liesegang R.E., Die Achate, Dresden (1915).
- Lind T., Schmetzer K., Journal of gemmology, **18**, 5 (1983).
- Lind T. et al., Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, **32**, 2/3 (1983).
- Linnaeus K., Systema naturae, Lugduni Batavorum (1735).
- Luscher H., Die Namen der Steine, Thun (1968).
- McLaren A.C. et al., Physics and chemistry of minerals, **9**, 2 (1983).
- Maschmeyer D., Lehmann G., Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, **31**, 3 (1982).
- Mathesius M.J., Sarepia, Leipzig (1570).
- Mitchell R.S., Mineral names—what do they mean? New York (1979).
- Mrasek I., Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, **29**, 3 (1980).
- Mullis J., Schweizer strahler, **6**, 4 (1982).
- Nassau K., Lapidary journal, **28**, 20 (1974).
- Nassau K., Lapidary journal, **28**, 1064 (1974).
- Nassau K., Gems made by man, Radnor (1980).
- Nassau K., Lapidary journal, **35**, 52 (1981).
- Nassau K., Lapidary journal, **37**, 8 (1983).
- Nassau K., Prescott B.E., Mineralogical magazine, **41**, 301, (1977).
- Nelson C.M., Crawford J.H., Journal of the physics and chemistry of solids, **13**, 286 (1960).
- Nicols T., A lapidary, Cambridge (1652).
- O'Brien M.C.M., Proceedings of the Royal Society, **231**, 404 (1955).
- O'Donoghue M., Journal of gemmology, **12**, 1 (1970).
- O'Donoghue M., Journal of gemmology, **13**, 7 (1973).
- O'Donoghue M., Journal of gemmology, **14**, 3 (1974).
- O'Donoghue M., Encyclopedia of minerals and gemstones, London (1976).
- O'Donoghue M., Synthetic gem materials, London (1976).
- O'Donoghue M., Identifying man-made gems, London (1983).
- Oehler J.H., Bulletin, Geological Society of America, **87**, 1143 (1976).
- Offerman E., Schweizer Strahler, **5**, 10 (1981).
- Ogden J., Jewellery in the ancient world, London (1982).

- Pabian R. K.*, Gems and gemology, **16**, 1 (1978).
Paradise T. R., Gems and gemology, **18**, 1 (1982).
Parker R. L., Die Mineralfunde der Schweiz, Basel (1973).
Parker R. L., Die Mineralfunde der Schweiz, Basel (1954).
Pliny The Elder, Natural history, volume 10, London (1962) (Volume 10 of this edition covers that section of the historia naturalis which includes minerals).
Pryce W., Mineralogia cornubiensis, Truro (1972).
Quick L., The book of agates and other quartz gems, London (1963).
Rodgers P. R., Agate collecting in Britain, London (1975).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 3 (1974).
Rykart R., Bergkristall, 2nd edition Thun (1977).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 1 (1978a).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 2 (1978b).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 1 (1979).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 5 (1980).
Rykart R., Schweizer Strahler, **5**, 12 (1981).
Rykart R., Schweizer Strahler, **6**, 3 (1982).
Sauer J. R., Brazil, paradise of gemstones, Rio de Janeiro (1982).
Scalisi P., Cook D., Classic mineral localities of the world. Asia and Australia, New York (1983).
Scheidegger W., Schweizer Strahler, **5**, 3 (1979).
Schneider W. L., Droschel R., Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft, **32**, 1 (1983).
Scheuchzer J. J., Helvetius, sive itinera per Helvetiae Alpinus regiones (1708).
Serebrennikov A. I. et al., Physics and chemistry of minerals, **8**, 4 (1982).
Sinkankas J., Gems and gemology, **9**, 88 (1957).
Sinkankas J., Gemstones of North America (2 volumes), Princeton (1959) and New York (1976).
Sinkankas J., Gem cutting 2nd edition, New York (1962).
Sinkankas J., Prospecting for mineral and gemstones, New York (1970).
Sinkankas J., Gemstone and mineral data book, New York (1972).
Smith C. H., Let's hunt for Herkimer diamonds, Geneva, NY (1950).
Smith C. H., Rocks and minerals, **27**, 272, (1952).
Sowerby J., British mineralogy, London (1804–1817).
Stalder H. A. et al., Die Mineralien des Binntales, Bern (1978).
Stalder H. A., Schweizer Strahler, **5**, 8 (1980).
Steno N., De solido intra solidum naturaliter contento Diss. Prodomus, Florenza (1619).
Theophrastus, History of stones, J Hill (translator), London (1746).
Цыганов Е. М., Рост кристаллов, **9**, 40, (1972).
Циубер Л. И. и др., Кристаллография, **4**, 4, (1959).
Ulrich W., Hunting Herkimer diamonds, Rockhound, **3**, 5 (1974).
Vargas G., Vargas M., Faceting for amateurs, 2nd edition, Thermal, CA (1977).
Vigoureux P., Booth C. F., Quartz vibrators, London (1950).
Vital A., Schweizer Strahler, **5**, 5–7 (1980).
Von Rath G., many papers (1870–1885).
Wadia M. D. N., Minerals of India, New Delhi (1976).
Wallerius, Mineralogia, Stockholm (1747).
Webster J., Metallographia, London (1661).
Webster R., Gems, 4th edition, London (1983).
Weibel M., A guide to the minerals of Switzerland, London (1966).
Weiss E., Abhandlungen naturforschung Gesellschaft Halle, **5**, 51 (1860).
Wood D. L., Nassau K., American mineralogist, **53**, 777 (1968).
Wood D. L., Ballman A. A., American mineralogist, **51**, 216 (1966).
Zecchini P., Revue de gemmologie, **60**, 14 (1979).
An index of mineral species and varieties arranged chemically, 2nd edition, with two supplements. British Museum (Natural History) London (1962–1974).

Дополнительная литература**Статьи из журналов**

Schweizer Strahler. Schweizer Vereinigung der Strahler und Mineraliensammler (SVSM), Rüdeweg 13, CH-3067 Boll, Switzerland.

Aufschluss. Blumenthalstr. 40, D-6900 Heidelberg, West Germany.

Mineralogical Magazine, Mineralogical Society of Great Britain, 41 Queen's Gate, London SW7 5HR, UK.

American Mineralogist. Mineralogical Society of America, 2000 Florida Avenue NW, Washington, DC 20009, USA.

Mineralogical abstracts, covering the world's major mineralogical journals with the exception of those published in the USSR, can be obtained from the Mineralogical Societies of Great Britain or America Lapidary journal. PO Box 80937, San Diego, California 92138, USA.

Gems. The Randal Press, 9 Kennet Road, Crayford, Kent DA1 4QN, UK.

Journal of Gemmology. Gemmological Association of Great Britain, Carey Lane, London EC2V 8AB, UK.

Gems and Gemology. Gemological Institute of America, 1660 Stewart St. Santa Monica, California 90404, USA.

Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft. Postfach 122260, D-6580 Idar-Oberstein, West Germany.

Mineralogical Record. PO Box 35565, Tucson, Arizona 85740, USA.

Предметный указатель

- Авантюрин 63, 109, 114
Агатовые желваки 94, 106
Агаты 15, 57, 63–65, 67–68, 78, 80–82, 86, 93, 99–101, 108
– на морских отмелях 67–68, 78–80
– образование 64
– оз. Верхнее 86
– «Умбу» 100
Агейт-Крик, месторождение агатов 107
Агейт-Ноув, месторождение агатов 81, 82
Ажик 108
Актинолит, включения 58
Алмаз 60
Альпийские жилы II
– месторождения 17, 31, 32, 59, 68–73
Алюминий 33–35, 43, 44, 57, 63
Аметист 13–14, 23, 35, 56–58, 62, 78, 79, 87, 90, 91, 97, 98, 102–104, 106, 108, 113, 114
Аметист-цитриновый кварц 46–47, 118
жеоды 102, 103
кристаллы, шт. Байя, Бразилия 102
огранка 117, 118
синтез 35–36, 41–45
синтетический 48–49, 115–116
ювелирный 119, 120, 122, 123
Амфиболы 63
Анализ, включения 58, 61
Андезиты 81
Апатит 24, 112
Арагонит, включения 63, 64
Асбест 58, 59, 63
Астеризм 17, 61, 63, 114, 117
«Атласный камень» 86
Атомная масса 17
- Базальт-андезиты 90
Барит 31, 76, 104
Бекит 83
Берилл III
Бета-кварц 74
Бигсовская яшма 89
Бингамит 86
- «Блу-Джонс» 113
Бразильские двойники 22–23, 43, 71, 114
Бристольский «алмаз» 13
Бромистый калий 49
Брюхоногие моллюски туррителла 83
Бугорки роста 21
«Бычий глаз» 119
- Васкоит 89
Вицинали 20, 43, 44, 71
Включения 28–30, 58–66, 78
Водород 50
Водяные пузырьки 50
Волокнистый кварц 31
«Волосы Венеры» 60, 99
Вольфраматы 25
Вращение плоскости поляризации света 55–57
Выращивание кварца гидротермальным методом 37–45
- Гамма-лучи 33, 35, 47
Гелиотроп 16
Геллефлинта 12
Гельвин, включения 63
Гематит, включения 59, 62, 72, 73, 76, 78, 102–104
Гётит, включения 62, 63, 71, 77, 93, 103, 114
Гидроксил (ОН) 28
Гидротермальные жилы 10, 30–31
Гипс 31, 63
Гнейсы 70, 91
«Голубая пещера», Шотландия 81
Горный хрусталь 11–14, 32, 33, 59, 60, 63, 77–79, 85, 92, 108, 110, 114, 118
– ювелирный 119–120
Грани призмы 21, 24, 40, 43, 52, 53, 71, 104
«Громовые яйца» 84, 89, 96
Грюнерит, включения 63
Гюбнерит 24

- Данбурит 112
 Двойникование 21–25, 72
 Двуконечные кристаллы 69–70, 104
 Двоукись кремния 17
 – углерода 62
 Двупреломление 27, 55, 57, 88, 111–113, 115
 Дендриты 65
 Дефект замещения 33
 Дефект по Френкелю 33
 — Шотки 33
 Дефекты и их влияние на окраску 33–35
 – способствующие диагностике 50–51
 Дидим 112
 Dolomitизация 76
 Dolomitовые конгломераты 75
 Дофинейские двойники 22, 32, 71
 Драйхедские агаты 87
 Древесные агаты 108
 Друзы 79, 98
 Дымчатый кварц 33, 34, 55, 58, 104, 120
 Дюмортьерит 90
 Дюфренуазит 62, 114
- Желваки кремнезема 76**
 Железо 35, 45, 63
 Жеодовый туф 95
 Жеоды халцедона 10, 29, 89
 Жидкие включения 29, 57, 60, 69, 78
 Жильный кварц 10
- Закон Вайса 25**
 – Ла-Гардетт 25
 Залеченные трещины 61
 Звездчатые образования 74
 Зеленый кварц 36–37, 90, 91, 114
 «Змеиная кожа» 90
 Золото, включения 61
 Золотоносный кварц 92
 Зональность 21, 43, 117
- Игольчатые включения 15, 69, 71**
 Игольчатый кварц 24
 Изверженные породы 9, 17, 89, 97, 100
 Изогиры 57
 Изохромы 57
 Изумруд 54, 111
 Имитация 110–116
 Инталии 119–121
 Инфракрасная спектроскопия 28, 45, 48
 Ирисовые агаты 27, 89, 94
 Ирисовый кварц 116
 Искусственное изменение цвета 33–37, 115–116
- Кабошоны 61, 87, 93, 117–119, 122
 Какосен 63
 Кальцит 30, 31, 64, 71, 76, 77, 87, 106
 Камеи 115, 121, 122
 Камни-двойники 111
 Карнеол 15, 78, 79, 83, 97, 115, 117
 – ювелирный 120–123
 «Картофельные камни» 75
 Касситерит, включения 78
 Катодолюминесценция 57
 Кварц скорлуповатой формы 31
 – с мантией 68
 – типа Мюзю 32, 68
 Кварцевое стекло 18
 Кварцевые жеоды из Чихуахуа 94–96
 «Кварцевые розы» 99
 Кварцин 74, 95
 Кварциты 77, 98
 Кернгорм 79, 123
 Кизельштейн 12
 Киноварь 92
 Кобальт 36, 47, 48
 Коллекция агатов Хеддла 81
 – драгоценных камней Хоупа 123
 Коралл, замещенный агатом 77
 Кораллы 83, 85
 Корунд 14, 61
 «Кошачий глаз» 114, 118
 Кремьен 92, 109
 Кремнезем 9, 17, 68
 Кристаллизация 9
 Кристаллография 18–19
 Кристаллы кварца 9–11, 18, 19, 21–23, 31–32, 68, 69, 71, 85, 102
 Кристобалит 18
 Кровавик 16, 115, 120
 Крокидолит 31, 59, 106
 Кружевные агаты 94
- Лепидокрокит 114
 Лешательерит 18
 Лимонит 100
 Литий 35, 42, 44
 Литофизовая полость 96
 Люминесценция 57–58
- Магматические породы 75**
 Магний 63
 Малахит 87
 Марганец 14, 57, 63, 72, 87, 103
 Мраморосский алмаз 14
 Мелатоп 57
 Метаморфические породы 11–12, 17
 Микенские аметисты 119
 Минерализаторы 39–40

- Молочный кварц 10, 80, 85, 92, 99
 Моховые агаты 15, 57, 59, 62, 87, 89, 93,
 115
 -- ювелирные 123
- Находки Микенской эпохи 121
 - Мinoйской эпохи 119-121
 Необычные формы кварца 31
 Новакулит 85
- Области применения кварца, радиотехника 40
 --- электроника 40, 100
 Облицовка катушек 77
 Огненный агат 35, 93, 94, 118
 Огранка кварца 117-124
 Ожелезненный кварц 102, 104
 Окаменелый лес 83, 87
 Окись алюминия 119
 - олова 77, 119
 - церия 77, 117
 Окраска 54
 Окрашивание агатов 36-37, 99
 Окремнелая древесина 83, 87, 89
 Оксиды железа, включения 104
 Оникс 11, 121
 Оолитовый агат 65
 Опал 87, 93
 Оранжевый агат 78
 Ортикулярная (глазчатая) яшма 92
 Осадочные породы 10, 75, 88, 97
 Отрицательные кристаллы 60, 69
- Параморфизм 75
 Патенты 41-42
 Пегматиты 9, 17, 24, 25, 29, 52, 59, 93,
 99, 101, 105
 Пеннин 114
 Пердин 102
 Переходные элементы 34-35
 Петрифицированная (окаменелая) древесина 83, 87
 Пирит 71, 78
 Пиролозит 88
 Плавленый кварц 39
 Плазма 121
 Плеохроизм 42, 45
 Показатель преломления 49, 55, 110,
 111, 115
 Полевой шпат 24
 Полиморфные модификации кремнезема 17-18
 Полиэдรอยды 106
 Полоса поглощения в ультрафиолетовой области 50
- Полосчатые агаты 64-65, 76, 121
 Попугайная яшма 92
 Порошок Линде А 117
 - триполи 117
 Празолит 114
 Прибрежный дрейф 67
 Протогенетические включения 58-59,
 63
 Псевдоморфозы 30-31, 69-71, 89, 107
 Пурпурный агат 94
 Пустоты 60
 Пьезоэлектричество 22, 25-27
- Радиоактивность 33, 116
 Радиоларии 72
 Раковистый излом 53, 113
 Растворимость кварца в воде 37, 39
 Резонаторы 26
 Рейнская галька 14
 Рентгеновские лучи 28, 33, 35, 57
 Риолиты 9, 89-91, 96, 107
 Роговая обманка, включения 59, 62, 63
 Роговик 12
 Родохрозит 24
 Розовый кварц 17, 35, 58, 99, 101, 108,
 114, 117, 120
 Ромбоздр 19, 20, 32, 40, 42, 43, 46, 47,
 71, 73
 Рубин 54
 Рутил, включения 29, 58-61, 72, 73, 100
 Рутилсодержащий кварц 99
- Сагенитовый агат 15
 Сапфир 111
 Сард 14, 15
 Серицит 69, 71
 Силекс 12
 Силлиманит 61
 Сингенетические включения 59-61
 Синий агат 94
 - кварц 36, 47-48, 91
 Синтез кварца 37-45
 Синтетический кварц 28, 40, 45, 50, 112
 Скаполит 110
 «Скипетр» 69, 73
 Скрытокристаллический кварц 27, 97,
 109, 115, 118, 120
 -- ювелирный 122, 123
 Сливовый (пудинговый) агат 86, 89
 Слюда, включения 29, 58, 63, 69, 114
 Соединения уранила 57, 58
 «Соколиный глаз» 31, 106
 Спайность 52-53
 - по ромбоздру 53, 65
 Спекулярит 99, 100

- Строуберрийский кварц 94
 Структура кварца 18
 Суитгуотерский агат 87
 Сульфидные включения 63
 Сферолиты 64, 96
- Твердость 53
 Теория кристаллического поля 34–37
 Терминология 12–16
 «Тигровый глаз» 31, 59, 106, 116, 119
 Титан 17
 Топаз 14, 24, 53, 111
 Точечный дефект 33
 Трапезоэдр 19, 24
 Трещины 43, 65
 Триболюминесценция 58
 Тригональная пирамида 19
 – сингония 19, 56
 Тридимит 18
 Турмалин 24, 93, 112
 – включения 25, 29, 59, 62, 63
- Удельный вес 54, 115
 Узор тигровой шкуры 62, 113
 – шкуры зебры 62
 Ультрафиолетовый свет 57
 Уэссекский звездчатый агат 77
- Файф, месторождение 82
 Финикийские скарабеи 121
 Фигуры травления 27
 Флюорит 24, 30, 76, 113
 Формы и габитус 19
 Фосфоресценция 58
 Фторид аммония 43, 44
 – кремния 27
 Фторидные растворы 44, 45
 Фуксит 29, 63
- Халцедон 10–11, 14–15, 27–28, 57, 58, 60, 64, 73, 74, 78, 83, 84–86, 88–90, 97, 108, 115
 – аметистовой окраски 88
 – ювелирный 120, 121
 Халцедоновые желваки 76, 89
 Халькопирит 71, 78
- Херкимерский алмаз 11, 14, 85
 Хлорит, включения 24, 25, 59, 63, 68, 80
 Хризоберилл 112, 114
 Хризоколла 86, 87, 117
 Хризопраз 15, 93, 107, 115, 117, 120
 Хризотил-асбест 106
 Хром 54
 Хромат серебра 64
- Цвета синтетического кварца 45–48
 Центры окраски 33, 34
 Цикадофиты 86
 Циклы магматического процесса 100
 Циркон 111
 Цитрин 14, 34, 36, 78, 90, 98, 103, 104, 111, 112
 – синтез 41–42
 – ювелирный 119, 123
 Цоизит, включения 91, 92
- Чашечный кварц 101
 Черный агат 97
 – кварц 104
 – оникс 115
- Шерл, включения 78
- Эвгедральные кристаллы 29, 64
 Эвкрипит 36
 Энантиоморфизм 19
 Энгидрос 29, 89
 Эпигенетические включения 61
 Эпидот, включения 58, 69–71, 93, 114
 Этрусские ювелирные изделия 119, 121
 Эффект двуцветности 88, 118
- Ювелирные изделия эпохи Древнего Рима 120–122
- Японские двойники 23–25
 Яшма 15–16, 79, 87, 88, 97, 99, 107, 108, 117
 – Пещерного ручья 87
 – тропического леса 107
 – ювелирная 121

Оглавление

От редакции	5
Предисловие	6
Глава 1. Происхождение кварца в земной коре	9
Глава 2. Химия двуокиси кремния	17
Глава 3. Цвета кварца	33
Глава 4. Прочие физические и оптические свойства	52
Глава 5. Месторождения Европы	67
Глава 6. Месторождения Американского континента	83
Глава 7. Месторождения других регионов земного шара	105
Глава 8. Испытания минералов семейства кварца	110
Глава 9. Огранка кварца	117
Словарь использованных терминов	125
Литература	128
Предметный указатель	132

Уважаемый читатель!

Ваши замечания о содержании книги, ее оформлении, качестве перевода и другие просим присылать по адресу: 129820, Москва, И-110, ГСП, 1-й Рижский пер., д. 2, издательство «Мир».

Научное издание

Майкл О'Доноху

КВАРЦ

Заведующий редакцией В. В. Герасимовский
Научный редактор Н. А. Никишина
Младший научный редактор А. В. Швыряева
Художник С. Н. Болоболов
Художественные редакторы А. Я. Мусин, А. Д. Страхова
Технический редактор И. И. Володина

ИБ № 7111

Сдано в набор 11.07.89. Подписано к печати 22.01.90.
Формат 60 × 90 ¹/₁₆. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная.
Гарнитура таймс. Объем 4,50 бум. л. Усл. печ. л. 9,0.
Усл. кр.-отт. 20,51. Уч.-изд. л. 10,22. Изд. № 5/6617.
Тираж 22000 экз. Зак. 836. Цена 85 коп.

Издательство «Мир»

В/О «Совэксспорткнига» Государственного комитета СССР
по печати
129820, ГСП, Москва, 1-й Рижский пер. 2

Можайский полиграфкомбинат В/О «Совэксспорткнига»
Государственного комитета СССР по печати
143200, г. Можайск, ул. Мира, д. 93.

Издательство «Мир» готовит к выпуску в 1991 г.

Схёйллинг Р., Андриссен П., Крёлен Р. и др. Введение в геохимию: Пер. с англ. — 14 л., ил.: 1 р. 36 к.

Коллективная монография геохимиков из Нидерландов под руководством Р. Схёйллинга продолжает традиции голландской школы физико-химиков и вводит читателя в круг проблем современной физической геохимии, геохимических аспектов качества окружающей среды, моделирования природных процессов и классической геохимии — круговорота элементов, цикличности, состава планеты. В ней также излагаются идеи организации процессов переработки и захоронения отходов химических заводов с учетом геохимических закономерностей развития природных процессов. Значительное внимание уделяется проблемам и определениям химической кинетики.

Написана доступно и просто, содержит большое количество наглядных примеров и расчетов и включает практически все разделы базового курса геохимии для студентов-геологов. Сочетающая высокий научный уровень и ясность изложения книга рассчитана на читателей, впервые открывающих курс геохимии, и практически не требует специальной подготовки. Авторы ограничились минимумом формул, но постарались предельно доходчиво объяснить их смысл и способы использования.

Для геохимиков и геологов всех специальностей, а также для химиков, металлургов, энергетиков и горняков, может служить учебным пособием по курсу геохимии.

Издательство «Мир» готовит к выпуску в 1991 г.

Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной: Пер. с англ.—27 л., ил. В пер.: 5 р. 70 к.

Книга известного австралийского геолога представляет собой блестящий исторический очерк, в котором прослежены зарождение, развитие и борьба основных идей, относящихся к развитию Земли от древнейших времен до наших дней. Автор обосновывает научную концепцию расширения Земли, которая позволяет ему правильно раскрывать истинную историю нашей планеты, рассматривает роль вертикальных движений земной коры и их соотношения с горизонтальными, обсуждает возможные причины расширения Земли. Автор заостряет внимание читателя на многократных изменениях взглядов на природу Земли, на устройство мира и подводит его к мысли о том, что современные теории Земли и Вселенной — также не последнее слово в естествознании и что смена научных взглядов неизбежна в будущем. Советским читателям будет интересно узнать, какие научные идеи возникали в ходе исторического развития наук о Земле в западном мире, как в острой борьбе они завоевывали свои прочные позиции и как происходила эволюция научных идей в целом.

Для специалистов, занимающихся историей наук о Земле, геологов всех специальностей и всех тех, кто интересуется историей науки.

5257

КВАРЦ

шоч. - 1

Кварц широко распространен в природе и давно используется как цветной и поделочный камень. Эта книга посвящена детальному описанию кварца и его свойств, которые вызывают интерес геммологов и любителей камня. В ней рассматриваются химизм и происхождение минерала, его физические свойства, среди которых наибольшее внимание уделяется окраске, а также история появления названий для его многочисленных разновидностей. Приводится краткое описание наиболее известных месторождений кварца на разных континентах нашей планеты. Один из разделов посвящен гидротермальному росту кварца. Рассматриваются методы определения различных разновидностей кварца природного или искусственного происхождения, а также способы изменения цвета минералов семейства кварца.