

Б. АНДЕРСОН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ДРАГОЦЕННЫХ  
КАМНЕЙ

# GEM TESTING

B. W. ANDERSON, B. SC. F. G. A. F. K. C.

**Formerly Director**  
of the Gem Testing Laboratory  
of the London Chamber of Commerce



BUTTERWORTHS  
LONDON BOSTON

Sydney — Wellington — Durban — Toronto

Б. АНДЕРСОН

ОГЛАВЛЕНИЕ

БК 28.503  
А 85  
УДК 681.001

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Перевод с английского  
канд. техн. наук Л. В. БУЛГАКА

под редакцией  
д-ра геол.-мин. наук В. П. ПЕТРОВА

МОСКВА «МИР» 1983



© Butterworth & Co. (Publishers) Ltd. 1980  
Перевод на русский язык, © Мир, 1983

157

ББК 26.303  
А65  
УДК 549.091

АНДЕРСОН

Андерсон Б.

А65 Определение драгоценных камней: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 458 с., ил.

Практическое пособие по диагностике драгоценных, полудрагоценных и поделочных камней, содержащее описание методов их отличия от многочисленных синтетических аналогов. Книга написана известным специалистом в области геммологии д-ром Б. Андерсоном, с 1925 г. работающим в лаборатории драгоценных камней при Лондонской торговой палате, и выдержала за рубежом 9 изданий.

Для минералогов, ювелиров, экспертов по драгоценным камням, работников музеев, скупочных пунктов и пробирного надзора.

А  $\frac{1904020000-233}{041(01)-83}$  113—83, ч. 1

ББК 26.303  
552

Перевод с английского  
Л. В. БУЛГАКОВА

под редакцией  
В. П. ПЕТРОВА

Редакция литературы по геологии

---

Безил Уильям Андерсон

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Старший научный редактор М. Е. Яковенко  
Младший научный редактор А. В. Швыряева  
Художник А. В. Шипов  
Художественный редактор А. В. Проценко  
Технический редактор Л. П. Чуркина  
Корректор А. Я. Шехтер

ИБ № 3193

Сдано в набор 27.09.82. Подписано к печати 3.02.83. Формат 60×90<sup>1/16</sup>.  
Бумага типографская № 1. Гарнитура латинская. Печать высокая.  
Объем 14,5 бум. л. Усл. печ. л. 29, в т. ч. 0,5 усл. печ. л. вкл. на мел.  
бум. Усл. кр.-отт. 30,5. Уч.-изд. л. 31,48. Изд. № 5/2085. Тираж  
50 000 экз. Зак. 560. Цена 2 р. 10 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР». Москва, 1-й Рижский пер., 2.

Московская типография № 11 Союзполиграфпрома при Государственном  
комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
Москва, 113105, Нагатинская ул., д. 1.

МОСКВА «МИР» 1983

© Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1980  
© Перевод на русский язык, «Мир», 1983

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	6
Предисловия	9
Как пользоваться этой книгой	15
<b>Глава 1.</b> Коллекционирование драгоценных камней, обращение с ними и хранение	19
<b>Глава 2.</b> Показатель преломления и его измерение	28
<b>Глава 3.</b> Двупреломление и дисперсия	63
<b>Глава 4.</b> Цвет, цветные фильтры и дихроскоп	77
<b>Глава 5.</b> Удельный вес драгоценных камней и методы его определения	84
<b>Глава 6.</b> Применение микроскопа	100
<b>Глава 7.</b> Определение синтетических камней, имитаций и комбинированных камней	112
<b>Глава 8.</b> Применение спектроскопа	172
<b>Глава 9.</b> Флюоресценция как вспомогательное средство при диагностике драгоценных камней	213
<b>Глава 10.</b> Определение алмаза	226
<b>Глава 11.</b> Определение рубина	253
<b>Глава 12.</b> Сапфир	266
<b>Глава 13.</b> Изумруд	276
<b>Глава 14.</b> Аквамарин и александрит	288
<b>Глава 15.</b> Циркон	296
<b>Глава 16.</b> Топаз и другие желтые камни	305
<b>Глава 17.</b> Розовые, лиловые и сиреневые камни	314
<b>Глава 18.</b> Коричневые и оранжевые камни	318
<b>Глава 19.</b> Кварц, халцедон и опал	324
<b>Глава 20.</b> Семейство гранатов	339
<b>Глава 21.</b> Турмалин, хризолит и шпинель	351
<b>Глава 22.</b> Жады (нефрит, жадеит) и жадоподобные минералы	363
<b>Глава 23.</b> Бирюза и лазурит	374
<b>Глава 24.</b> Кошачий глаз, звездчатые и прочие камни	380
<b>Глава 25.</b> Янтарь, черепаховый панцирь, коралл, гагат и слоновая кость	389
<b>Глава 26.</b> Жемчуг: настоящий, культивированный и имитации	398
Приложение	417
Предметный указатель	448

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Предлагаемая вниманию советского читателя книга Б. Андерсона оригинальна как по своему содержанию, так и по построению. Она предназначена в первую очередь для геммологов — специалистов по драгоценным камням, однако в ней содержится немало сведений, полезных и ювелирам, и минералагам широкого профиля.

В вводных главах автор очерчивает круг проблем, с которыми сталкивается исследователь при изучении драгоценных камней. В частности, он отмечает, что в настоящее время перед геммологами встают новые задачи, так как в число драгоценных камней могут попасть такие неожиданные минералы, как сфалерит, касситерит, датолит, пренит и даже томсонит, т. е. такие природные камни, которые обычно не рассматриваются как ювелирный материал из-за их весьма совершенной спайности или из-за малой твердости.

В книге описаны специфические методы исследования, применяющиеся для диагностики драгоценных камней. Такие исследования осложняются тем, что определяемый камень часто находится в оправе и вынимать его из оправы нежелательно. Кроме того, нельзя наносить камню какие-либо «травмы», в связи с чем, например, практически исключается использование для определения камня такого важного свойства, как твердость. Вместе с тем драгоценный камень обладает прозрачностью, на него нанесены искусственные полированные грани, вследствие чего появляется широкая возможность использования рефрактометра. При этом автор подчеркивает, что для геммолога достаточна относительно невысокая точность измерения светопреломления: до второго знака после запятой. Это позволяет хорошо различать границу полного внутреннего отражения даже при относительно несовершенной поверхности граней, что довольно характерно для ювелирных камней. Вместе с тем это дает возможность использовать в качестве сферы измерения очень высокопреломляющие вещества и прямо считывать величину светопреломления со шкалы прибора. Автор предлагает очень интересные варианты иммерсионного метода, предусматривающие погружение в жидкость крупных камней произвольной формы. Эти методики, видимо, полезно ввести в практику минералогов, в особенности при изучении песков и тяжелых песчаных фракций, когда необходимо сохранить весь материал для дальнейшего изучения.

Интересны и описываемые автором специальные приборы для измерения величины светоотражения. Многие из них, в частности светодиоды, позволяющие различать даже слабо отражающие прозрачные минералы, могут быть использованы и минералогами. Очень полезны данные, получаемые с помощью карманного спектроскопа. Автор приводит весьма интересные результаты изучения этим методом таких непрозрачных или только просвечивающих минералов, как бирюза, хризопраз и др. Трудно сейчас сказать, что может дать этот метод в минералогии и петрографии, однако разработка полевой методики определения очень многих объектов — дело весьма перспективное.

Большой интерес для минералогов представляют подробнейшие и очень точные описания вторичных образований в искусственных камнях, которые помогают идентифицировать камень. Эти данные могут быть использованы минералогами для уточнения генезиса тех или иных включений в природных минералах. Сейчас, когда большое распространение в минералогии и петрографии получили методы термобарометрии по включениям, приводимые Андерсоном сведения проливают новый свет на особенности дефектов, наблюдаемых в природных камнях. Автор описывает очень эффектный метод наблюдения двупреломления в камне (раздвоение ребер задних граней), который до сих пор редко используется.

Книга Андерсона весьма интересна, и ее с большой пользой прочтут и минералоги, и геологи, а также все любители камня. Для ювелиров же монография Андерсона будет служить, несомненно, настольной книгой.

*В. Петров*

**К. Дж. Пейну**  
*в память плодотворного сотрудничества*  
*в практической и исследовательской работе*

## ПРЕДИСЛОВИЯ

### ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ПЯТОМУ ИЗДАНИЮ (1951 г.)

За период, прошедший с момента выхода в свет четвертого издания книги «Определение драгоценных камней», производство синтетических камней развивалось необычайно интенсивно. Метод плавления в пламени, разработанный 50 лет назад Вернейлем, был значительно усовершенствован, что позволило получить новые эффектные синтетические самоцветы — рутил, звездчатые рубины и сапфиры. Возможность производства таких камней вызывает некоторое беспокойство, поскольку она свидетельствует о вторжении человека в область, где природа, как казалось, не поддается имитации.

### ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ШЕСТОМУ ИЗДАНИЮ (1958 г.)

С момента опубликования в 1951 г. последнего издания данной книги в мире драгоценных камней появилось несколько важных новинок. Так, выявлен новый драгоценный камень сингалит. Этот минерал уже давно широко использовался в ювелирном деле, хотя его принимали за другие минералы; он представляет не только чисто научный интерес как новый минерал, но и вполне понятный большой практический интерес.

Среди синтетических камней до сих пор большой популярностью пользуется титанат стронция, поскольку визуально его труднее отличить от алмаза по сравнению с любым другим природным или искусственным материалом. Синтетические изумруды Кэрролла Чэтема из Сан-Франциско все интенсивнее вторгаются на мировой рынок драгоценных камней, что вызывает тревогу у тех, кто занимается торговлей изумрудами; так же обстоит дело и с поликристаллической синтетической шпинелью, имитирующей лазурит, на который она по внешнему виду весьма похожа. Появились и красные синтетические шпинели.

Успешно развивались и методы диагностики. Разработаны простые, но надежные методы, такие, как фотография «границ камней в различных средах» и ее разновидности, а также метод флюоресценции в «скрещенных фильтрах» (оба метода впервые были предложены автором). Они могут помочь геммологам в некоторых трудных случаях при отсутствии сложного оборудования.

## ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К СЕДЬМОМУ ИЗДАНИЮ (1964 г.)

С момента выхода шестого издания книги «Определение драгоценных камней» в 1958 г. в связи со значительными успехами в области синтеза изумруда возникла настоятельная необходимость в описании методов диагностики изумрудов. Из Японии, с озера Бива, стал поступать на рынок в значительном количестве культивированный жемчуг, не имеющий перламутрового ядра. Культивированный жемчуг без ядра, но более крупный, начали выращивать в австралийских и бирманских водах.

Что касается природных драгоценных камней, то в гальке с острова Шри Ланка (Цейлон) был обнаружен новый радиоактивный минерал эканит — шестой по счету драгоценный камень, открытый в нашем веке. Следует отметить, что пока он представляет в основном научный интерес. Были открыты также месторождения более распространенных драгоценных камней — рубина в Танганьике и изумруда в Зимбабве, массивного зеленогоgrossуляра в Трансваале, который по внешнему виду очень напоминает нефрит; недавно grossуляр был обнаружен в виде камней широкой гаммы привлекательных цветов.

## ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К ВОСЬМОМУ ИЗДАНИЮ (1971 г.)

Сегодня, как никогда раньше, торговля ювелирными изделиями нуждается в услугах геммологов. Отражением этой потребности является увеличивающийся поток абитуриентов почти из всех стран мира, которые стремятся сдать экзамены, проводимые, например, Геммологической ассоциацией Великобритании. Это происходит потому, что торговцы, которые раньше, в более стабильные времена, имели дело с очень ограниченным набором общеизвестных драгоценных камней из общеизвестных месторождений и с несколькими известными имитациями в виде стекла и синтетических кристаллов, полученных по вернейлевскому методу, теперь сталкиваются не только с намного более широким потоком природных драгоценных камней, но также со все растущим разнообразием синтетических камней, не говоря уже о природных камнях, обработанных новыми способами с целью улучшения их внешнего вида.

Мы живем в такое время, когда потребности электронной промышленности, космической техники и т. п. настолько стимулировали поиск новых веществ со специальными оптическими и физическими свойствами, что искусство и наука выращивания кристаллов достигли высот, позволяющих получать в лаборатории большинство из важнейших драгоценных камней. Кроме того, были созданы также кристаллы, не известные в природе, которые благодаря своей твердости и эффективности могут найти применение в ювелирном деле помимо их основной функции. В качестве при-

мера укажем твердые и оптически чистые вещества, называемые для удобства редкоземельными гранатами, поскольку они имеют такую же структуру, как и природные гранаты (но не содержат окиси кремния). Автор считает, что книга, подобная этой, созданная с целью оказать помощь геммологам, должна содержать достаточно детальное, пригодное для идентификации описание таких новых материалов, позволяющее определить их даже в том случае, если они в настоящее время находятся на «обочине» ювелирной торговли. С момента выхода последнего издания этой книги на рынке появились по крайней мере еще два типа синтетических изумрудов, а также природные изумруды из новых месторождений. Число (уже значительное) нефритоподобных минералов, находящихся в обращении, пополнилось зеленым хромсодержащим халцедоном из Зимбабве и пакистанскими массивными зелеными гранатами (их часто путают с везувианом), которые напоминают жадеит. Кроме того, в Пакистане и Восточной Африке был найден прозрачный зеленый гроссуляр.

Очень важным моментом с точки зрения коммерческой выгоды, а также с эстетической точки зрения стала удивительная находка новой прекрасной разновидности цоизита — минерала, известного до этого времени только в виде массивного поделочного материала. В 1967 г. вблизи реки Амба в Танзании старатель обнаружил замечательные фиолетово-голубые кристаллы (некоторые были коричневатого цвета), слава о которых распространилась столь быстро, что прекрасные граненые камни, похожие на сапфиры, теперь можно встретить на всех ювелирных рынках мира.

## ПРЕДИСЛОВИЕ К ДЕВЯТОМУ ИЗДАНИЮ

Предисловие к каждому новому изданию такой работы, как книга «Определение драгоценных камней», обязательно должно познакомить читателя с теми главными изменениями и добавлениями, которые были внесены автором для улучшения текста. Конечно, всегда имеется мучительный для автора период прохождения нового варианта книги через издательство, в течение которого автор лишен возможности добавить в нее самые последние данные, причем некоторые важные открытия могут быть сделаны именно в это время.

С момента опубликования восьмого издания книги в 1971 г. в области геммологии произошли гораздо большие изменения, чем за любое прошлое десятилетие. Многие новые данные, включенные в настоящее издание, относятся к синтетическим минералам или заменителям природных камней. Технология выращивания кристаллов теперь настолько хорошо разработана, что в лаборатории можно получить почти все драгоценные камни. Получены также кристаллы, не известные в природе, которые могут быть

использованы для имитации природных минералов, в особенности алмаза.

В последние десять лет в промышленных масштабах производятся многие новые синтетические минералы: бирюза, синтетический александрит и — что наиболее удивительно — опал. Как имитация алмаза огромную популярность завоевала кубическая окись циркония, которая до сих пор успешно изготавливается и продается под различными торговыми названиями. В дополнение к синтетическим опалам, полученным фирмой Жильсона, появились чрезвычайно эффектные имитации опалов, первоначально продававшиеся под названием «камни Слокума» (по имени их изобретателя). Существование этих камней, а также новых разновидностей опаловых дублетов требует большой осторожности при идентификации опалов, чтобы избежать дорогостоящих ошибок. Отошли в прошлое те времена, когда опалы без труда можно было определить только по внешнему виду.

Более полувека ювелиры были обеспокоены наличием в обращении синтетических рубинов, сапфиров и других разновидностей синтетического корунда, полученных очень эффективным методом Вернейля; теперь такие камни научились диагностировать благодаря характерным особенностям их внутренней структуры. Однако в настоящее время эти синтетические кристаллы, в особенности рубины, можно изготовить в условиях, очень близких к природным, поэтому их стало труднее определять даже под микроскопом. Более того, количество дублетов, которые в течение почти ста лет были представлены в основном одним или двумя наиболее распространенными типами, в последние годы быстро увеличивается, причем нередко большие усилия направляются на обман не только неискушенной публики, но и геммологов. Наиболее яркие примеры таких дублетов описаны в книге с целью предупредить возможные ошибки.

Другой аспект, касающийся частной торговли драгоценными камнями, заключается в законности продажи камней, цвет которых улучшен промасливанием, пропиткой, окрашиванием или облучением. Одним из примеров может служить появление голубых бериллов, имеющих такой густой цвет, что их можно назвать аквамаринами. Многие из этих камней, как оказалось, быстро выцветают на солнце, что делает неоправданной их высокую стоимость. Появился на рынке интенсивно-синий топаз, цвет которого также создан искусственно. В топазе наведенная окраска может быть, очевидно, стабильной. Испытание камня на стойкость цвета — не веселое занятие, и клиент должен быть предупрежден, что его камень может изменить окраску в процессе этого эксперимента. В настоящей книге приведены наиболее полные сведения, касающиеся этой проблемы.

В последнее десятилетие открыто много новых месторождений природных драгоценных камней; они должны заменить камни,

которые добывались на рудниках, сейчас полностью выработанных. Например, в Кении открыто новое месторождение рубинов, приближающихся по густоте окраски к рубинам, добывавшимся в районе Могок в Бирме. Правительственные ограничения затрудняют поступление этих рубинов на рынок, но в конце концов они, несомненно, займут свое место среди первоклассных драгоценных камней. Важным событием стало обнаружение месторождения изумрудов хорошего качества на южном берегу озера Маньяра в Танзании. Из той же страны, известной геммологам и всем любителям драгоценных камней по танзаниту — разновидности цоизита, поступили на рынок гроссуляр чистого белого и зеленого цветов (зеленый гроссуляр успешно конкурирует с почти исчезнувшим демантоидом), изумрудно-зеленые цоизиты и пироп-андрадитовые гранаты «родонитового» оттенка, меняющие, как александрит, окраску при смене освещения. В ряде случаев камни, которые в прошлом считались лишь коллекционными, стали достаточно доступными, чтобы их можно было использовать в ювелирном деле. Это, например, корнерупиновый кошачий глаз и прозрачная, цвета морской воды, зеленая разновидность апатита из Онтарио (в продаже известная под названием «триллиумит»).

Много лет назад, идя навстречу настоятельным пожеланиям крупных фирм, применяющих технические алмазы, автор занялся определением чистоты, а в ряде случаев и размеров зерен алмазного абразивного порошка. В то время, да и сейчас еще практически отсутствует литература по технике таких исследований, поэтому несколько слов о методике, дающей положительные результаты, могут оказаться полезными и другим лицам, столкнувшимся с подобной проблемой. Эти сведения приведены в гл. 10 (определение алмаза). Полезным будет еще одно добавление — описание слоновой кости и методов ее отличия от имитаций.

Большие успехи достигнуты также в области разработки приборов для определения драгоценных камней. Фирма «Рейнер», известная с 20-х годов по производству рефрактометров, сконструировала, в обход традиций, прибор без привычной шкалы показателей преломления, наблюдаемых в окуляр. Вместо этого положение границы тени, видимое в окуляре, отмечается черным ленточным индикатором, приводимым в движение градуированным барабаном, расположенным на боковой стороне рефрактометра, откуда и снимается показатель преломления. Такое усовершенствование имеет определенные преимущества, однако будет жаль, если фирма прекратит выпуск своих предыдущих моделей, которые в прошлом служили геммологам верой и правдой.

Создан также совершенно новый тип прибора, который в какой-то мере превосходит обычный рефрактометр. С его помощью измеряют отражательную способность полированной поверхности камня (зависящую в основном от его показателя преломления). Результат считывают по шкале, которая может быть градуирова-

на в виде условных индексов или в виде названий отдельных камней. Для работы на этом приборе не требуется никаких контактных жидкостей; должна быть в наличии только чистая плоская полированная поверхность. Таким образом, ювелиры, наконец, получили быстрый метод, позволяющий, не повреждая камень, отличить алмаз от его многочисленных имитаций, имеющих высокий показатель преломления. Приветствуя помощь, которую могут оказать эти новые измерители отражательной способности, следует отметить, что их необходимо использовать с осторожностью, чтобы избежать серьезных ошибок. Описания и фотографии трех таких приборов приведены в гл. 2.

О последней новинке в измерении высоких показателей преломления, которая обрадует геммологов, стало известно, когда рукопись этой книги уже находилась в редакции. В Швейцарии был сконструирован новый рефрактометр, который выпускается фирмой «Крюсс» в Гамбурге. Он работает по обычному принципу, но позволяет измерять показатели преломления от 1,75 до 2,21, а также двупреломление камня. Это достигается с помощью призмы, изготовленной из титаната стронция вместо обычного стекла, и нагревания ее электронагревателем. Для создания оптического контакта между призмой и образцом используют плавящееся воскообразное вещество, имеющее высокий показатель преломления. Этот новый рефрактометр «Риплус» описан в гл. 2.

Лишь спустя длительное время после первых исследований в Лондонской лаборатории геммологи оценили значение в диагностической геммологии спектроскопа. Одна из трудностей интерпретации спектров поглощения драгоценных камней заключается в отсутствии однообразия в положении красного края спектра. Он может находиться слева или справа. Для тех, кто привык к одному расположению цветов спектра (зависящему в основном от приборов, наиболее распространенных в данной стране), диаграммы с их обратным расположением выглядят довольно непривычно и их приходится рассматривать вверх ногами. В данном издании основные рисунки спектров, приведенные в гл. 8, показаны в обоих положениях, что должно удовлетворить всех читателей.

Таковы главные дополнения, внесенные в данную книгу. Кроме того, ее приближению к нуждам современной геммологии способствуют многочисленные небольшие добавления и исправления в тексте.

## КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ЭТОЙ КНИГОЙ

Задача этой книги — помочь ювелирам, торговцам драгоценными камнями и геммологам, т. е. практически всем, кто связан с определением драгоценных камней. Поэтому предполагается, что читатель уже знаком с названием и общим видом основных камней.

Опытный геммолог может определить довольно большое число камней только по их внешнему виду или после изучения с помощью карманной лупы. Знания и опыт такого рода очень ценятся, и следует использовать любую возможность, чтобы их пополнить. В этой книге всегда вначале рассматриваются простые способы определения камней без аппаратуры. Однако сегодня, когда появилось очень много синтетических и поддельных камней, для полной уверенности в правильном их определении во многих случаях совершенно необходимо использование приборов.

Поэтому начальные главы посвящены описанию наиболее важных свойств драгоценных камней и необходимых приборов для наблюдения или измерения этих свойств. Даны практические рекомендации по определению, основанные на личном опыте автора; описаны также теоретические предпосылки, необходимые для использования результатов наблюдений. Применение простой аппаратуры целесообразно только для тех, кто уже имеет опыт определения драгоценных камней. Те же, кто незнаком с геммологией, вероятно, сделают ряд ошибок, пользуясь научной аппаратурой; им лучше положиться на собственное, не подкрепленное инструментальными данными мнение.

Порядок описания наиболее важных с коммерческой точки зрения камней установлен в соответствии с их классификацией по цвету. Это, разумеется, совершенно ненаучный подход, поскольку в одной группе оказываются камни, не имеющие ничего общего, за исключением внешнего вида, тогда как камни, идентичные по своим физическим свойствам, такие, как рубин и сапфир или изумруд и аквамарин, представляющие собой окрашенные разновидности минералов корунда и берилла соответственно, попадают в разные группы. Кроме того, существует естественная, но прискорбная тенденция считать, что все красные камни являются более дешевыми заменителями рубина, все зеленые камни — заменителями изумруда и т. д., тогда как прекрасные образцы красной шпинели или граната, красивые зеленые турмалины и гранаты должны вызывать восхищение сами по себе как заме-

чательные драгоценные камни. Менее ценные камни часто поступают на рынок в виде более крупных и совершенных экземпляров, чем рубин и изумруд, и поэтому такие камни, идущие на изготовление кулонов, кольца или больших брошей, вполне доступны по цене.

Так как эта книга посвящена методам *определения* драгоценных камней, то классификация последних по цвету наиболее удобна для наших целей. Затруднения, с которыми приходится сталкиваться при определении камня, например похожего на рубин, совершенно отличны от тех, которые возникают, когда определяется камень, напоминающий сапфир. Классификация по цвету строго не выдерживается; так, некоторые камни, например отдельные разновидности кварца, циркон, гранаты, аквамарин, александрит и ряд других, рассматриваются самостоятельно. В тексте много повторений, которые неизбежны, но могут вызвать раздражение у некоторых лиц, пытающихся читать книгу от корки до корки как роман — подвиг, на который, вероятно, способны лишь некоторые усердные рецензенты. Однако в книге подобного рода повторения неизбежны, если только не пользоваться перекрестными ссылками, которые очень утомительны для читателя.

Методы и приборы, описанные в первой части книги, предназначены главным образом для измерения ряда физических и оптических свойств, характерных для различных камней. Практически все ювелирные материалы являются минералами, и свойства, присущие данным минеральным видам, которые отличают их от других минералов, зависят от двух факторов: а) химического состава, т. е. *вида* атомов, из которых они образованы, и б) кристаллической структуры, т. е. *пространственного расположения* атомов в минерале. Из двух названных факторов значительно более важен последний. Наглядным примером могут служить две кристаллические формы углерода — графит и алмаз. Эти два минерала, столь различные и по внешнему виду и по физическим свойствам, образованы из одного вида атомов. Все основные отличия этих материалов по твердости, прозрачности, плотности и т. д. обусловлены различиями во внутренней структуре их кристаллов. Основополагающее значение кристаллической структуры и возможность определения драгоценных камней (в виде сырья) по характерной форме их кристаллов (габитусу кристаллов) признаются всеми геммологами, и в каждом учебнике по геммологии одна из начальных глав посвящена основам кристаллографии.

Опыт работы со слушателями всех возрастов показал автору, какой трудный барьер приходится преодолевать начинающему при освоении даже начал кристаллографии, поэтому автор считает, что в данной книге лучше совсем не касаться кристаллографии, за исключением определений кристаллических систем, которые даны в приложении в конце книги. Однако для того, чтобы читатель мог понять смысл некоторых ссылок, приведенных в

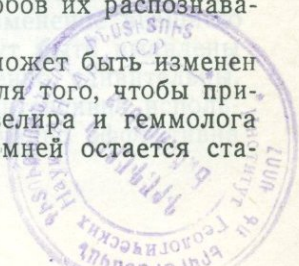
тексте, следует упомянуть о том, что все кристаллы в соответствии с их симметрией могут быть разделены на семь основных групп, называемых кристаллическими сингониями (системами): кубическую, тетрагональную, гексагональную, тригональную, ромбическую, моноклинную и триклинную. Наиболее симметричны кристаллы кубической сингонии. Они являются единственными из кристаллов, в которых свет проходит во всех направлениях с одинаковой скоростью. По этой причине их называют оптически изотропными или просто изотропными кристаллами. В кристаллах, относящихся к другим сингониям, имеет место эффект дупреломления (см. гл. 3), когда луч света, входящий в камень, расщепляется на два поляризованных луча, которые в кристалле распространяются с различной скоростью, вследствие чего лучи, падая косо на какую-либо поверхность, изгибаются или отклоняются от первоначального направления неодинаково. Указанное свойство имеет большую практическую ценность для определения минералов, поэтому полезно запомнить, какие из драгоценных камней относятся к кубической сингонии и, следовательно, не дают этого эффекта. Это алмаз, гранаты, шпинель, флюорит и другие менее важные камни. Изотропными являются и некристаллические вещества — опалы, стекло, янтарь и пластмассы.

В приложении представлены таблицы, содержащие различные полезные сведения, и приведен краткий перечень книг о драгоценных камнях для тех, кто захочет расширить свои знания в области геммологии или собрать небольшую справочную библиотеку по этому вопросу. Кроме того, указаны названия и адреса фирм, которые могут выслать приборы, упоминаемые в тексте.

Число различных минералов, которые время от времени гранились как драгоценные камни, очень велико, и описать их все — значит нарушить простоту построения и уменьшить пользу данной книги для большинства читателей. Для квалифицированных геммологов, интересующихся редкими камнями, автор приводит в конце книги таблицы. С помощью этих таблиц, а также некоторых несложных приборов можно определить эти камни, если они встретятся.

В наше время развитой технологии в условиях, когда почти все природные камни стоят очень дорого из-за их редкости, синтетические камни получили гораздо более широкое распространение, чем в прошедшие годы. Поэтому одна из наиболее важных и трудных задач геммолога — умение отличать синтетические камни от их природных аналогов. Описанию синтетических камней и имитаций, а также наиболее подходящих способов их распознавания посвящен отдельный раздел книги (гл. 7).

Известно, что в ряде случаев цвет камней может быть изменен нагреванием, окрашиванием или облучением для того, чтобы придать им большую привлекательность. Для ювелира и геммолога важно знать, в каких случаях цвет таких камней остается ста-



бильным и насколько законна подобная обработка, поскольку существует возможность того, что полученный в результате обработки цвет сохраняется короткий срок или же цвет камня изменен с мошенническими целями. Эта проблема специально рассмотрена в гл. 4, но затрагивается также при обсуждении методов определения отдельных видов камней.

1283

КОЛЛЕКЦИОНИРОВАНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ  
КАМНЕЙ, ОБРАЩЕНИЕ С НИМИ И ХРАНЕНИЕ

Большинство читателей, вероятно, уже знакомы с элементарным оборудованием, которое ювелир или квалифицированный геммолог использует при работе с драгоценными камнями. Однако для тех, кто еще не имеет достаточных навыков для работы с не закрепленными в оправе камнями, весьма полезным может быть краткое описание и некоторые советы по основному оборудованию и технике исследований.

Наблюдая, как эксперт сортирует камни на покрытом тканью столе — берет пинцетом отдельные образцы и рассматривает их в лупу, собирает камни маленьким совком и аккуратно ссыпает их в бумажные пакеты, — можно подумать, что вся процедура чрезвычайно проста. Но, пытаясь впервые выполнить эту операцию, мы обнаруживаем, что каждый этап ее полон неожиданных препятствий, и обычно действуем так же неловко и неумело, как молодой человек, пытающийся набить и разжечь свою первую трубку. В этом деле ничто не может заменить реальный опыт, и только с опытом приходит «ловкость рук» (но при этом не следует пренебрегать и головой!). Облегчить дело можно некоторыми советами по выбору оборудования и по его использованию.

Прежде всего, однако, необходимо подчеркнуть, что при любой оценке драгоценных камней необходимым условием является абсолютная чистота определяемого объекта, чем, к сожалению, очень часто пренебрегают из-за невнимательности или спешки. Чистка не закрепленного в оправе камня обычно не представляет трудностей: часто достаточно протереть его носовым платком. Закрепленные же камни, как правило, сильно загрязнены, особенно их задние грани, и, понятно, менее доступны для обработки. Небольшой стаканчик с водой, в которую добавлено несколько капель жидкого детергента, и маленькая мягкая зубная щетка — вот те приспособления, которые обычно достаточны для получения хороших результатов при чистке. Сушится камень с помощью подогретых самшитовых опилок. Достаточно несколько раз нажать резиновую грушу или просто поместить камни на чистую фильтровальную бумагу на несколько минут под тепло настольной лампы — и мы легко добьемся удаления влаги. Изменение внешнего вида и легкость, с которой после чистки могут быть выявлены характерные особенности камня, часто совершенно удивительны.

В настоящее время в ювелирной практике интенсивно используется ультразвуковая очистка, которая чрезвычайно эффективна

для металлических изделий. Но однако для некоторых камней высокочастотная вибрация очень опасна, особенно если обрабатываемый минерал имеет хорошую спайность. В качестве наглядного примера можно упомянуть танзанит, привлекательную новую разновидность цоизита. Поэтому для полной безопасности любой камень следует вынимать из оправы, чтобы избежать воздействия на него ультразвука.

Чтобы при исследовании камней не испачкать их руками, обычно применяют различные пинцеты. Очень важен выбор пинцета, поскольку многие из них или слишком заострены, или тугие сверх меры. Для повседневного употребления наиболее удобны пинцеты длиной 125—150 мм из нержавеющей стали с закругленными концами, с пружиной и нарезкой внутри, что не позволяет камню выскользнуть из них. Когда камень передают при осмотре из одних рук в другие или наклоняют под разными углами под микроскопом, могут быть полезны пинцеты с «ползунком», позволяющие удерживать камень без внешнего давления. По сравнению с обычными пинцетами они более тяжелы, дороги и менее удобны при повседневной работе. Автор должен признать, что даже после 45 лет работы с камнями обращение с пинцетом до сих пор вызывает у него затруднения. Стоит лишь чуть сильнее сжать пинцет, как камень неожиданно «прыгает» в непредсказуемом и часто неизвестном направлении. Камень следует брать пинцетом, когда он лежит на площадке. При правильном положении камня в пинцете можно безопасно обращаться с ним и изучать его; площадка камня при этом должна соприкасаться с плоской внутренней поверхностью губки пинцета. Покойный сэр Джеймс Уолтон, который пользовался безопасными хирургическими ручными пинцетами, считал полезным делать напильником продольную бороздку на внутренних поверхностях губок пинцета, чтобы было удобнее захватывать рундист исследуемого камня. Выпускается специальный пружинный пинцет с губками, уже имеющими глубокие бороздки. Он широко применяется в США и Швейцарии и позволяет надежно удерживать камень при осмотре, особенно под микроскопом, когда пинцет может быть установлен на держатель, укрепленный на столике прибора. Имеются также пружинные пинцеты, в которых три проволочных захвата выдвигаются из трубчатого держателя, как в цанговом карандаше. Таким пинцетом очень удобно держать небольшие камни бриллиантовой огранки, при этом площадка камня должна находиться под прямым углом к оси держателя. Однако такой пинцет не удерживает крупные и прямоугольные камни.

Кроме их прямого предназначения — брать камни для осмотра, пинцеты необходимы при сортировке и подсчете камней на столе, а также при работе с жемчугом и подсчете жемчужин. Трудоемкость подсчета большого количества жемчужин или мелких камней может быть снижена, если их предварительно разложить в

кучки по три штуки с помощью пинцета со сжатыми губками. С таким же успехом для этой цели можно использовать заостренный карандаш.

Для быстрого и безопасного переноса кучки камней или жемчужин со стола в пакет очень удобен небольшой совок. Такие

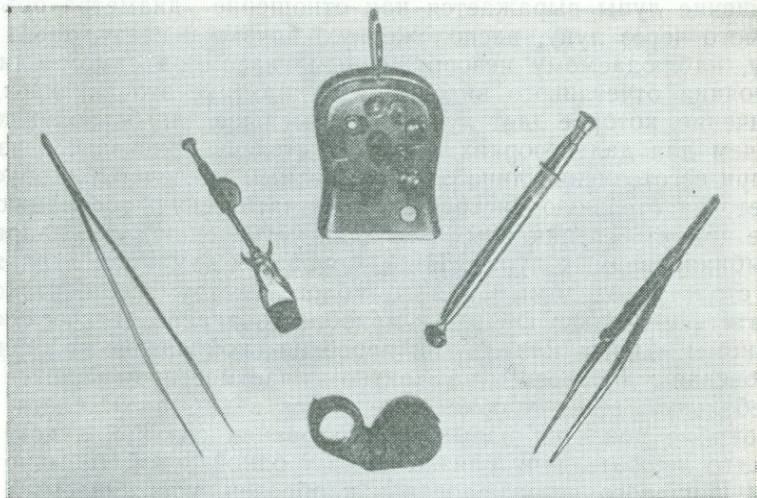


РИС. 1.1. Лупа, пинцеты и совок для работы с драгоценными камнями.

совки можно приобрести у фирм, поставляющих ювелирное оборудование. Пинцеты, лупа и совок рекомендованных типов показаны на рис. 1.1.

### КАРМАННАЯ ЛУПА

Самым важным инструментом при определении драгоценных камней для ювелира или геммолога является, без сомнения, его карманная лупа. Драгоценные камни (и некоторые детали их строения) очень мелки, и поэтому их следует осматривать при том или ином увеличении. Обычное «увеличительное стекло», известное широкой публике и столь любимое Шерлоком Холмсом, излишне громоздко и дает очень малое увеличение. Обычная «часовая лупа» также слаба, хотя и очень удобна в работе, так как ее можно держать в глазу, как монокль, оставляя обе руки свободными.

Идеальная лупа для геммолога должна давать 8—10-кратное увеличение (обычно пишется  $8\times$ — $10\times$ ), что позволяет четко видеть необходимые детали. Иногда полезна двадцатикратная лупа, но она имеет ограниченное поле зрения и малое фокусное рас-

стояние. Когда глаз сильно приближен к лупе (как это бывает на практике), увеличение может быть определено по формуле  $M=d/F$ , где  $d$  — наименьшее расстояние отчетливого видения, а  $F$  — фокусное расстояние лупы. Поскольку расстояние  $d$  для нормального зрения составляет обычно 25 см, то фокусное расстояние для линзы 10X, например, равняется 25 мм. Попросту говоря, увеличение лупы выражается как отношение диаметра объекта, видимого через лупу, расположенную близко к глазу, к его диаметру, наблюдаемому невооруженным глазом на самом близком расстоянии отчетливого видения. На практике это означает, что увеличение, которое даст лупа, будет меньше для близоруких людей, чем для дальнорукых. Высокая степень кривизны, неизбежная при изготовлении линз с 8—10-кратным увеличением, обуславливает значительную дисторсию и хроматическую аберрацию, если не принять специальных мер к их устранению, как, например, в комбинированных лупах. Итак, хорошая карманная лупа является столь необходимым для геммолога инструментом, что стоит потратить несколько фунтов и приобрести анастигматическую лупу фирмы «Цейс» или другой первоклассной оптической фирмы. Цейсовская лупа в своем компактном пластмассовом корпусе имеет небольшой вес и удобно помещается в кармане жилета.

Пока не появится навык в пользовании сильной лупой, лучше всего держать лупу близко к глазу одной рукой (обычно правой и у правого глаза), тогда как образец, удерживаемый пинцетом или пальцами, подносить к лупе на расстояние около 25 мм. Для внимательного изучения камня необходима дополнительная регулировка расстояния до камня при устойчивом положении рук, что обеспечивает точную фокусировку любого наблюдаемого участка камня. В процессе этой операции обе руки должны соприкасаться; это устраняет возможность произвольных движений и позволяет сохранить однажды найденную четкую фокусировку. Очень большую роль играет освещение. Сидя за столом, следует пользоваться регулируемой настольной лампой, посылающей поток света в лицо чуть выше уровня глаз. Новичку обычно кажется, что какое бы положение он ни принял, ему в глаза всегда попадает посторонний свет. Для выбора удобного положения, которое опытный эксперт принимает автоматически, новичку будет более полезен рис. 1.2, чем вышеприведенное описание.

Когда накопится достаточно знаний и опыта, то с помощью лупы можно будет определить очень большое число камней. Алмаз, циркон, хризолит, демантоид, аметист, гессонит, турмалин, кунцит, сфен — все эти прозрачные камни легко определяются с помощью лупы, равно как и дублеты, стекла и многие синтетические камни. Под лупой почти всегда видны характерные признаки таких непрозрачных камней, как лазурит, «швейцарский лазурит», настоящий и поддельный авантюрины, слоновая кость, жемчуг, культивированный жемчуг и розовый жемчуг, а также имитации

жемчуга. Начинаящий после внимательного изучения данной книги и предложенной методики практического обращения с образцами должен значительно пополнить свой запас знаний, причем это касается не только новичка, но и ювелира средней квалификации, не имеющего достаточно времени для изучения геммологии. При продолжительной работе, а также в тех случаях, когда допустимо



РИС. 1.2. Наиболее удобная поза эксперта при работе с лупой 10X.

меньшее увеличение, удобно применять бинокулярную лупу, которую можно закрепить на голове. Она обеспечивает бинокулярное зрение и оставляет руки свободными для работы.

### СОБИРАНИЕ КОЛЛЕКЦИИ

Не имея образцов для работы, нельзя научиться практической геммологии, поэтому читателю, который еще не располагает коллекцией драгоценных камней, настоятельно рекомендуется начать собирать ее, хотя бы и самую скромную. Хорошие камни, конечно, очень дороги, но, к счастью, даже дефектные или поврежденные камни проявляют свойства, характерные для данной разновидности минерала, в такой же мере (а иногда даже в большей степени), как и дорогие образцы. Поэтому каждый, кто связан с торговлей ювелирными изделиями, может подобрать достаточное количество разнообразных поврежденных или непригодных для про-

даже камней, которые будут прекрасно служить ему как эталоны, составляя основу *рабочей* коллекции, бесценной и для экспериментирования, и для сравнения. Разумеется, не следует пренебрегать синтетическими камнями и имитациями, поскольку очень важно знать их внешний вид и свойства. Такие камни можно ку-

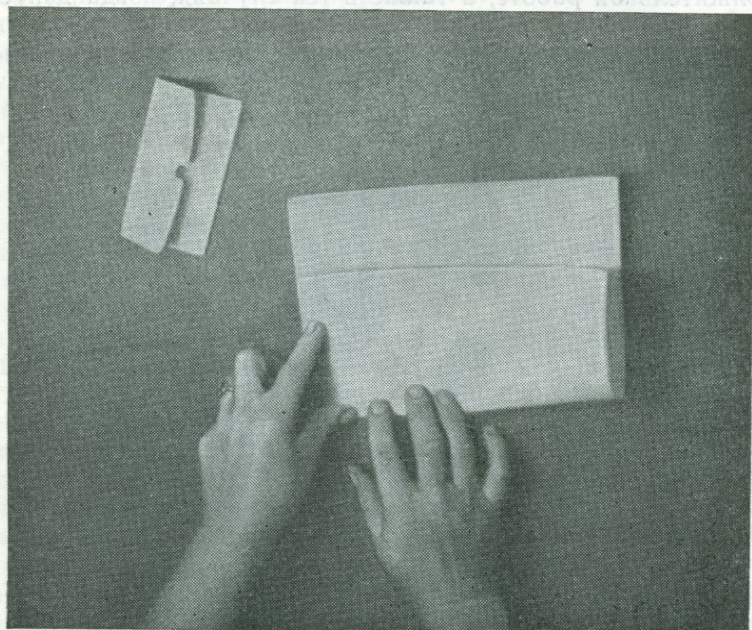


РИС. 1.3. Изготовление пакета для камней из листа бумаги: первый этап.

пить очень дешево даже в виде крупных образцов. Настоящий любитель драгоценных камней, вероятно, не остановится на дефектных камнях и будет искать возможность приобрести камни высокого качества. При разумном подходе к данному вопросу истраченные на их покупку деньги никоим образом нельзя считать потерянными, поскольку на хорошие образцы всегда есть спрос и цены на них постоянно растут. Кроме того, коллекционер получает возможность с удовольствием показывать свою коллекцию другим энтузиастам, с которыми он может обмениваться образцами, приобретая взамен камни, отсутствующие в его собственной коллекции.

*Обращение с образцами.* Для хранения рабочей коллекции, для ношения камней в кармане и, как правило, при продаже и покупке незакрепленных камней и жемчуга их удобнее всего помещать в специальные пакеты. Последние можно приобрести в магазинах, торгующих ювелирным оборудованием, уже уложен-

ными в прозрачные конверты, или изготовить дома из бумаги хорошего качества, используемой при машинописи, способом, рекомендованным ниже:

- 1) согните лист таким образом, чтобы его нижний край лег параллельно верхнему на расстоянии полутора дюймов (37 мм). Удерживая край в таком положении, пригладьте плотно линию сгиба (рис. 1.3);

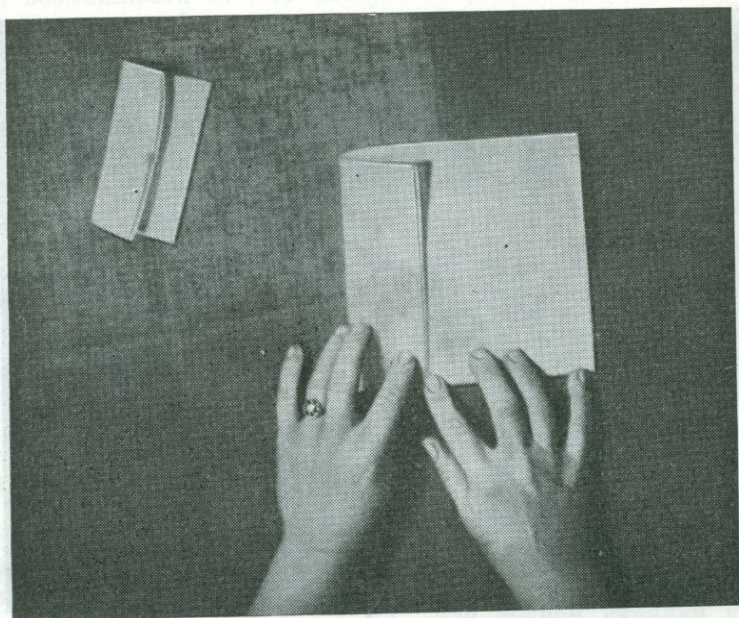


РИС. 1.4. Изготовление пакета для камней: второй этап.

- 2) наложите правый край листа на левый и слегка прижмите место сгиба рукой, лишь для того чтобы наметить середину листа. Затем восстановите прежнее положение листа;
- 3) согните правый и левый края листа таким образом, чтобы они соприкасались вдоль этой центральной линии, и в этом положении плотно прижмите оба края рукой (рис. 1.4);
- 4) согните нижний край, чтобы он расположился на расстоянии полутора дюймов (37 мм) от верхнего края, и плотно прижмите место сгиба (рис. 1.5);
- 5) согните верхний край, надвиньте его как можно дальше на нижний и плотно прижмите в этом положении. Теперь пакет готов.

Чтобы предотвратить прокалывание бумаги острой колетой, пакет можно изнутри обклеить плотной тканью; кроме того, мож-

но использовать согнутый пополам квадратик мягкой ткани, который будет играть роль «подушки» для камней. Такая ткань или просто небольшой кусочек ваты помогут избежать неприятностей, неизбежных, когда камни собирают в кучку и протирают бумагу. Хрупкие камни, например цирконы, должны храниться в индивидуальных пакетах или же каждый камень должен быть завернут в небольшой кусочек ткани, чтобы не скололись ребра.

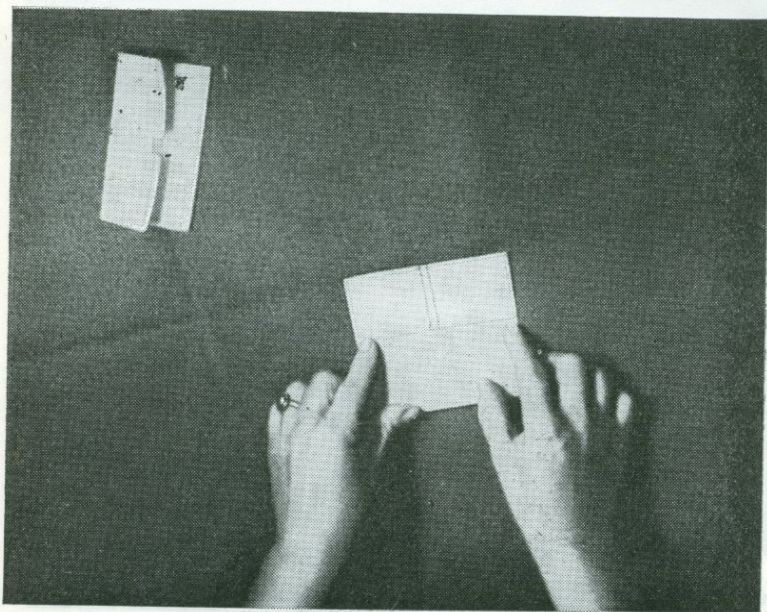


РИС. 1.5. Изготовление пакета для камней: третий этап.

Чтобы научиться правильно обращаться с такими пакетами, требуется небольшая практика. Действительно, когда непрофессионал после просмотра камней возвращает пакет, последний обычно бывает сложен неправильно — момент, который мог бы быть эффектно обыгран в каком-нибудь детективе. Если в пакет вкладывается только один камень, можно спокойно открыть пакет на столе, положить в него камень и закрыть. Но когда в одном пакете лежит много камней, некоторые из них могут попасть за линию бокового сгиба и выпасть через боковые карманы пакета. Поэтому в таких случаях следует открыть только правую сторону пакета и, плотно сжимая большим и указательным пальцами закрытый конец, наклонить пакет открытым концом вперед. В образованный таким образом кулек с совка может быть сыпано совершенно безопасно большое число камней. Открытый конец

пакета затем должен быть согнут и закрыт, пока камни еще находятся в дальнем конце пакета. Только когда пакет закрыт, можно распределить камни внутри его более равномерно, легко встряхивая весь пакет.

До тех пор пока не будут приобретены достаточные навыки, не рекомендуется открывать пакет с камнями вне рабочего стола, причем делать это необходимо неторопливо и аккуратно. Если такой возможности нет, то следует открыть вначале только один конец пакета, чтобы оценить размер и число находящихся в нем камней или жемчуга перед дальнейшим вскрытием всего пакета. Из правильно сложенного пакета камни могут выпасть лишь через дырку в бумаге или в результате попадания за боковые сгибы.

Явным преимуществом бумажных пакетов кроме их портативности является возможность записать на них число, природу и вес вложенных камней; к этим сведениям продавец может добавить в закодированном виде цену за карат, а геммолог — любые технические детали. В пакетах указанного типа очень удобно хранить рабочую коллекцию камней, располагая их в алфавитном порядке в одной или нескольких длинных коробках или каталожных ящиках.

Для удобства демонстрации коллекцию или особенно дорогие камни следует хранить в неглубоких, обтянутых изнутри бархатом коробках, имеющих круглые и овальные углубления, в которых и размещаются камни. Такие коробки промышленного изготовления обычно предназначены для хранения камней достаточно большого веса, скажем в три или четыре карата. Для более мелких камней могут быть использованы коробки с длинными углублениями, в которые укладываются камни.

Сэр Джеймс Уолтон для демонстрации своих камней пользовался неглубокими подносами, залитыми скульптурным гипсом с отформованными в нем гнездами для точной укладки камней. После затвердевания гипс покрывали цветным лаком для придания ему приятного вида и цвета. Весьма эlegantны и удобны для хранения коллекции драгоценных камней небольшие алюминиевые коробки со стеклянной крышкой, которые можно приобрести у фирмы, поставляющей ювелирное оборудование. Камни в них укладываются по отдельности или группами на слой ваты достаточной толщины так, чтобы плотно прижать их к стеклу, когда коробка закрывается. Данные о камнях могут быть написаны на этикетках, наклеенных на заднюю стенку коробок. Но пожалуй, наиболее удобный способ демонстрации коллекции мелких камней предложен одним энтузиастом, который вдавливал колету каждого камня в слой воска, применяемого ювелирами при изготовлении новых моделей ювелирных изделий. На сравнительно небольшой пластине воска, скажем  $150 \times 100$  мм, можно разместить значительное количество мелких камней, расположенных рядами. При этом фактура воска создает идеальный фон для демонстрации красоты камней.

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ И ЕГО  
ИЗМЕРЕНИЕ

Первая задача при определении камня заключается в выяснении, к какому минеральному виду он принадлежит: является ли он корундом (рубином или сапфиром), бериллом (изумрудом или аквамарином), кварцем (аметистом или цитрином), топазом, турмалином, шпинелью, перидотом или цирконом.

Первое предположение о природе камня нередко можно сделать на основании его цвета, блеска и общего вида, но быть уверенным в правильности определения можно только в результате измерения той или иной его оптической или физической константы.

Человек по своей природе ленив, и не зря говорят, что большинство из его изобретений появилось как необходимость предохранить себя от лишних забот. Видимо, поэтому ювелиры, которые далеки от науки, приветствовали бы появление такого прибора, который позволил бы определять камни простым способом, быстро, чисто и без расчетов.

Если бы путем простой установки камня на прибор можно было прочесть его название, указанное стрелкой на калиброванной шкале, такой прибор, несомненно, приобрел бы широкую популярность. Действительно, в последние годы были изобретены и выпущены в продажу (по довольно высокой цене) приборы, очень близкие к такому «идеальному» прибору. Эти *рефлектометры* предназначены для идентификации драгоценных камней, имеющих чистую и хорошо отполированную грань площадки, по данным измерения их отражательной способности при освещении этой грани узким пучком инфракрасного света. Такие приборы имеют некоторые преимущества над традиционными типами ювелирного *рефрактометра*, который вот уже три четверти века служит основным инструментом при диагностике драгоценных камней. Но они имеют серьезные ограничения, которые описаны ниже в этой главе.

Поэтому и сейчас рефрактометр является для геммолога одним из основных приборов, и поэтому ниже подробно рассмотрены принципы его устройства и методы использования с максимальной эффективностью. Однако прежде мы должны объяснить сущность явления светопреломления и показателя преломления и описать основные принципы работы рефрактометра.

Что происходит, когда луч света падает на поверхность такого прозрачного твердого тела, как драгоценный камень или лист

стекла? Некоторая часть света *отражается* от поверхности камня, причем свет отражается от поверхности камня под углом, равным углу, под которым он падает на нее (угол падения). Именно этот отраженный свет и определяет блеск поверхности камня. Большая часть света, однако, *входит* в камень, но в этой более плотной среде свет движется со значительно меньшей скоростью, чем в воздухе.

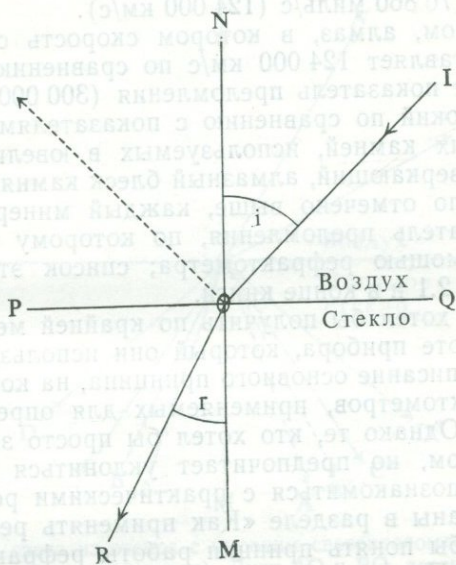


РИС 2.1. Луч IO, идущий в воздухе, преломляясь в стекле, идет в направлении OR. NOM — «нормаль» (перпендикуляр) к пограничной поверхности. Угол  $i$  — угол падения, угол  $r$  — угол преломления. На рисунке показано светопреломление в обычном оконном стекле ( $n=1,52$ ).

При вхождении света в более плотную среду, в которой его скорость уменьшается, происходит изменение направления движения луча, падающего наклонно к поверхности, причем новый путь луча проходит ближе к перпендикуляру к границе раздела между двумя средами (или к нормали, как называют этот перпендикуляр).

Отклонение направления светового луча при вхождении в другую среду называется *светопреломлением*. На рис. 2.1 луч света IO преломляется при вхождении в более плотную среду ниже поверхности PQ и идет вдоль направления OR. Пунктирной линией показано направление *отраженного* луча.

Угол, под которым изгибается или преломляется луч при вхождении в камень, зависит от светопреломления камня или его по-

казателя преломления<sup>1</sup>, который обратно пропорционален скорости света в веществе. Другими словами, показатель преломления среды может быть определен как скорость света в воздухе<sup>2</sup>, деленная на скорость света в среде.

Скорость света в воздухе равна приблизительно 186 000 миль/с (300 000 км/с); с такой же огромной скоростью идет к нам свет от Солнца и звезд. В кварце (горный хрусталь, аметист) скорость света снижается примерно до 120 000 миль/с (194 000 км/с), а в алмазе даже до 76 860 миль/с (124 000 км/с).

Таким образом, алмаз, в котором скорость света, как отмечено выше, составляет 124 000 км/с по сравнению с 300 000 км/с в воздухе, имеет показатель преломления  $(300\,000 : 124\,000) = 2,42$ , т. е. самый высокий по сравнению с показателями преломления всех драгоценных камней, используемых в ювелирном деле, что обуславливает сверкающий, алмазный блеск камня.

Как уже было отмечено выше, каждый минерал имеет определенный показатель преломления, по которому он может быть определен с помощью рефрактометра; список этих показателей приведен в табл. 2.1 и в конце книги.

Для тех, кто хотел бы получить по крайней мере общее представление о работе прибора, который они используют, ниже приведено краткое описание основного принципа, на котором основаны все типы рефрактометров, применяемых для определения драгоценных камней. Однако те, кто хотел бы просто знать, как пользоваться прибором, но предпочитает уклониться от таких объяснений, может познакомиться с практическими рекомендациями, которые будут даны в разделе «Как применять рефрактометр».

Для того чтобы понять принцип работы рефрактометра, обратимся к рис. 2.2. Предполагается, что на рисунке лучи света идут из более плотной среды в менее плотную, скажем из стекла в воздух. При этом лучи отклоняются *в сторону* от нормали  $NO$  (обратный процесс по сравнению со случаем, рассмотренным на рис. 2.1).

Луч  $AO$  на границе раздела преломляется и идет в воздухе под большим углом, чем угол падения, вдоль  $OA'$ ; небольшая часть света не проходит в воздух и отражается от границы внутрь

<sup>1</sup> На рис. 2.1 угол, под которым луч падает на границу раздела двух сред, обозначен буквой  $i$  (угол падения); после вхождения в более плотную среду (стекло) он отклоняется к перпендикуляру и распространяется под меньшим углом  $r$  (угол преломления). Отсюда легко вычислить показатель преломления  $N$ , который численно равен отношению синуса угла падения к синусу угла преломления ( $N = \frac{\sin i}{\sin r}$ ).

Все особенности явления преломления хорошо видны, если рассматривать ложку в стакане воды: имеется в виду «изгиб», отвечающий изменению угла, под которым видна ложка, и ее «укорочение», связанное с изменением скорости света в воде. — Прим. ред.

<sup>2</sup> Более точно — в пустоте.

среды падения и идет по линии  $OA''$ , как показано пунктирной линией.

Аналогично луч  $BO$  преломляется и идет вдоль  $OB'$ , частично отразившись вдоль  $OB''$ . Если мы будем рассматривать лучи, образующие все больший и больший угол с нормалью  $NOM$ , то подойдем к такому случаю, когда преломленный луч будет идти точно вдоль поверхности  $OQ$  — границы раздела двух сред.

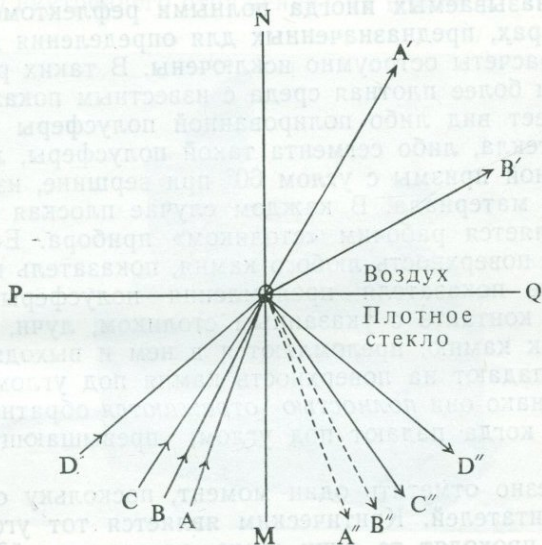


РИС. 2.2. Переход света из стекла с высоким светопреломлением ( $n=1,80$ ), расположенного снизу, в воздух (вверху). Лучи  $AO$  и  $BO$ , достигая границы, частично преломляются и идут в направлениях  $OA'$  и  $OB'$ , а частично отражаются и идут в направлениях  $OA''$  и  $OB''$ . Лучи, падающие под углом выше критического ( $SOM = 34^\circ$ ), не могут перейти в воздух, так как их угол преломления равен  $90^\circ$  и больше и поэтому они полностью отражаются от поверхности раздела.

Угол падения такого луча известен как *критический угол*. Все лучи, достигающие точки  $O$  и идущие из более плотной среды под углом падения, превышающим критический, пройти в менее плотную среду не могут и полностью отражаются обратно в плотную среду. Эти лучи, как говорят, претерпевают полное внутреннее отражение, а лучи  $OA''$  и  $OB''$  претерпевают только частичное внутреннее отражение.

На рис. 2.2 угол  $SOM$  может рассматриваться как критический угол падения; весь свет, который дает луч  $CO$ , таким образом, полностью отражается обратно вдоль  $OC''$ , и всякий другой луч, например  $DO$ , имеющий еще больший угол падения, конечно, также полностью отражается вдоль  $OD''$ . Важно понять, что *величина критического угла будет зависеть от соотношения показателей*

преломления более плотной и менее плотной сред. Поэтому если в двух средах, находящихся в оптическом контакте, мы можем измерить угол, при котором начинается полное внутреннее отражение (т. е. критический угол), и если мы знаем показатель преломления более плотной среды<sup>1</sup>, то мы сможем рассчитать показатель преломления менее плотной среды<sup>2</sup>.

Это основной принцип действия всех рефрактометров полного отражения (называемых иногда полными рефлектометрами), однако в приборах, предназначенных для определения драгоценных камней, все расчеты остроумно исключены. В таких рефрактометрах оптически более плотная среда с известным показателем преломления имеет вид либо полированной полусферы из тяжелого свинцового стекла, либо сегмента такой полусферы, либо срезанной трехгранной призмы с углом  $60^\circ$  при вершине, изготовленной из такого же материала. В каждом случае плоская верхняя поверхность является рабочим «столиком» прибора. Если плоская полированная поверхность любого камня, показатель преломления которого ниже показателя преломления полусферы, находится в оптическом контакте с указанным столиком, лучи, проходящие через стекло к камню, преломляются в нем и выходят в воздух, когда они попадают на поверхность камня под углом ниже критического. Однако они *полностью отражаются* обратно от поверхности камня, когда падают под углом, превышающим критический.

Здесь полезно отметить один момент, поскольку он вызывает путаницу у читателей. Критическим является тот угол в камне, под которым проходят те лучи света, которые, *выйдя из камня в воздух* и преломившись, дадут угол в  $90^\circ$  с нормалью (линией, перпендикулярной поверхности преломления). Другими словами, преломленный луч в среде преломления просто скользит по поверхности между двумя средами. Лучи, падающие на внутреннюю поверхность камня под углами, превышающими этот критический угол, не могут выйти и претерпевают полное внутреннее отражение, т. е. отражаются обратно в камень. Здесь камень является более плотной средой, и *чем больше показатель преломления камня, тем меньше его критический угол*.

В случае рефрактометра принцип точно такой же, однако здесь стекло призмы рефрактометра является более плотной средой, а камень — менее плотной средой.

Лучи, отраженные от поверхности камня, полностью и частично проецируются системой линз на прозрачную шкалу, которая

<sup>1</sup> Его очень легко узнать, определив угол полного внутреннего отражения для среды с известным показателем преломления или общего стандарта — воздуха. — *Прим. ред.*

<sup>2</sup> Расчет проводится по формуле  $n = n' \sin I_c$ , где  $n$  — неизвестный показатель преломления,  $n'$  — показатель преломления более плотной среды и  $I_c$  — критический угол (угол полного внутреннего отражения).

видна через окуляр. Часть шкалы, на которую падают полностью отраженные лучи, выглядит ярко освещенной, тогда как остальная часть шкалы будет затемнена. Шкала градуирована изготовителями прибора непосредственно в величинах показателей преломления, благодаря чему показатель преломления испытуемого камня можно просто прочесть по положению края тени (по границе полного внутреннего отражения) на шкале.

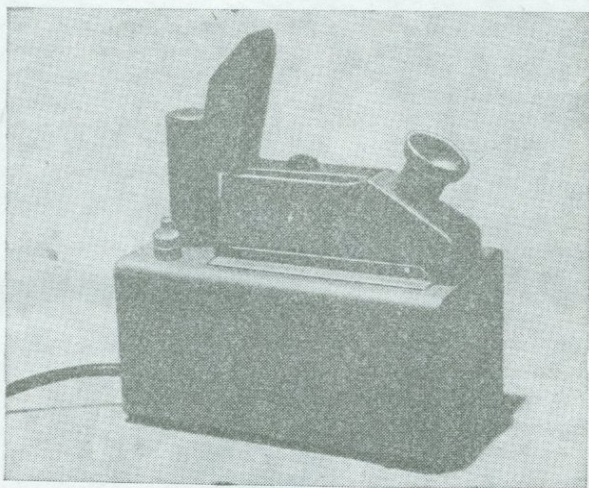


РИС. 2.3а. Рефрактометр Рейнера с натриевым светом (фото К. Блейкмора).

Рефрактометры, основанные на полном внутреннем отражении, использовались еще во второй половине прошлого века, однако более удобный и недорогой прибор для определения драгоценных камней был сконструирован Гербертом Смитом только в 1907 г. Появившийся сравнительно недавно очень компактный рефрактометр Рейнера (рис. 2.3а) имеет вместо полусферы призму со срезанной вершиной, изготовленную из свинцового стекла, однако принцип действия прибора остался тем же самым. Первоначально применение призмы было обусловлено возможностью использования изотропных минералов вместо стекла. Специальные модели рефрактометров, сконструированные Андерсоном и Пейном, имели призмы из синтетической шпинели, сфалерита и алмаза. Эти приборы по сравнению со стандартными имели определенные преимущества, но в то же время и некоторые ограничения. В рефрактометрах Рейнера пределы шкалы составляют 1,30—1,86. С помощью шпинелевого рефрактометра можно определить только меньшие показатели преломления (1,30—1,68). Это позволило растянуть шкалу, тогда как высокий верхний предел алмазного

рефрактометра требует применения подвижного окуляра для рассмотрения шкалы прибора.

Несколько моделей рефрактометров выпускаются в США. Принцип их работы тот же самый, что и английских приборов, описанных в данной главе, и поэтому приведенные здесь рекомендации применимы в равной мере и к ним.

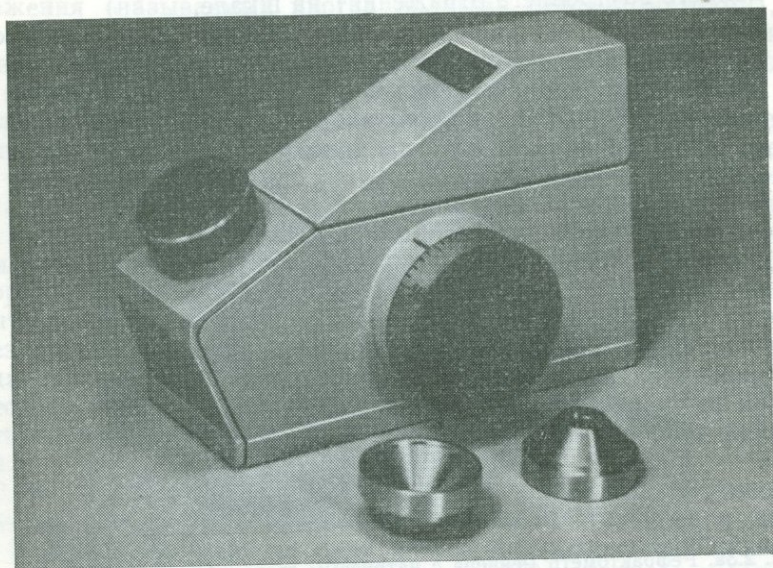


РИС. 2.36. Рейнеровский рефрактометр «Дайэлдекс».

Рефрактометр «Дайэлдекс» (Dialdex). В 1972 г. фирма «Рейнер» выпустила рефрактометр совершенно нового типа (рис. 2.36), хотя действует он по тому же принципу, что и все предыдущие модели. Вместо привычной шкалы, как в стандартном рефрактометре, наблюдатель, поместив каплю контактной жидкости и испытуемый камень на столик прибора, видит чистый экран, разделенный на светлую и темную части, причем в зависимости от природы камня граница между ними может быть одинарной или двойной, а ее положение на экране определяется, как обычно, одним или несколькими показателями преломления камня. При повороте калибровочного барабана, установленного с правой стороны прибора, в поле зрения движется черный лентообразный индикатор, который можно совместить с любым краем тени. Соответствующий показатель преломления может быть затем очень легко считан с барабана — отсюда и название прибора (Dialdex — угломерный круг). По сравнению с предыдущими моделями рефрактометра Рейнера этот прибор позволяет получить точность

до одной или двух единиц в третьем после запятой знаке. Другим преимуществом является более низкая дисперсия нового стекла, из которого изготовлена призма, что дает более резкую границу полного внутреннего отражения при освещении белым светом, а при использовании темно-желтого фильтра в сочетании с интенсивным источником света границы области затенения получаются настолько резкие, что отпадает необходимость в натриевой лампе (см. ниже).

## КАК ПРИМЕНЯТЬ РЕФРАКТОМЕТР

Хотя рефрактометр очень прост в работе, новичок должен внимательно прочесть инструкцию и последующие рекомендации, большинство из которых применимы к любому современному ювелирному рефрактометру. Прежде всего необходимо помнить, что призма, на которую устанавливают камень, изготовлена из стекла с очень малой твердостью и поэтому ее поверхность очень легко повреждается углами или ребрами определяемого камня. Четкие показания получаются лишь в том случае, если поверхность рефрактометра сохраняет свою первоначальную полировку.

Вначале опишем приемы работы на стандартном рефрактометре. Прибор должен быть установлен в устойчивом положении на столе, желательно на подставке, которая облегчает наблюдение. В качестве источника света используется настольная матовая лампа в 60 Вт, свет от которой должен идти прямо в окно рефрактометра. Сама лампа должна находиться немного ниже, чем окно.

В любом случае, если освещение правильное, наблюдатель должен видеть через окуляр ярко и равномерно освещенную шкалу. Если шкала не в фокусе, окуляр должен быть отрегулирован вращением.

Мы подошли к тому моменту, когда все готово для определения показателя преломления. В комплекте с рефрактометром поставляется бутылочка с жидкостью, имеющей высокий показатель преломления. Поместите *маленькую* каплю этой жидкости на стеклянный столик рефрактометра. Затем тщательно очистите определяемый камень и осторожно установите его на прибор так, чтобы капля растеклась под ним тонким слоем, создавая оптический контакт со стеклянным столиком. Если камень имеет достаточный размер, скажем более трех каратов, его без опасения можно брать пальцами, но при этом нужно быть особенно внимательным, чтобы не поцарапать мягкое стекло прибора. Маленькие камни следует брать пинцетом, чтобы верхняя грань камня легла параллельно поверхности столика. Для удаления камня с прибора осторожно сдвиньте его со стекла на металл, откуда его можно поднять без опасения повредить стекло. После каждого измерения необходимо удалить с поверхности призмы остаток контакт-

ной жидкости, чтобы избежать появления налета на стекле. Наиболее четкие показания наблюдаются в том случае, когда камень установлен точно посередине стекла, однако в некоторых приборах лучшие результаты могут быть получены лишь тогда, когда камень слегка сдвинут с центра.

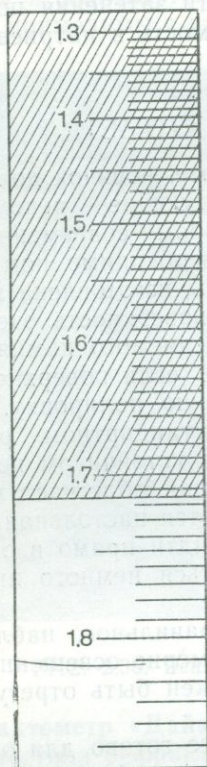


РИС. 2.4. Шкала стандартного рефрактометра Рейнера, какой видит ее наблюдатель при исследовании шпинели в натриевом свете. Показатель преломления 1,715. Слабая тень при 1,81 от контактной жидкости.

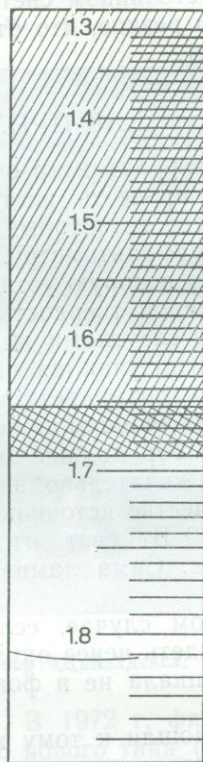


РИС. 2.5. Шкала рефрактометра с двумя границами затенения при исследовании хризолита при их максимальном удалении друг от друга (1,653—1,690).

Предположим, что камень установлен правильно на приборе (не забыта и жидкость для обеспечения оптического контакта) и что этим камнем является шпинель.

Через окуляр видно, что часть шкалы ярко освещена, а другая затемнена, причем край затемненной части пересекает шкалу вблизи деления 1,72 — показателя преломления шпинели (рис. 2.4). При использовании белого света *точное* положение края затемненной

части определить трудно, поскольку этот край выглядит как узкий спектр. Это обусловлено тем, что соотношение между показателями преломления камня и стекла полусферы различны для разных цветов (длин волн) спектра. Обычно дисперсия стекла рефрактометра выше дисперсии драгоценного камня.

Значение показателя должно быть считано в той части тени, где зеленый цвет переходит в желтый, и в той точке слегка изо-

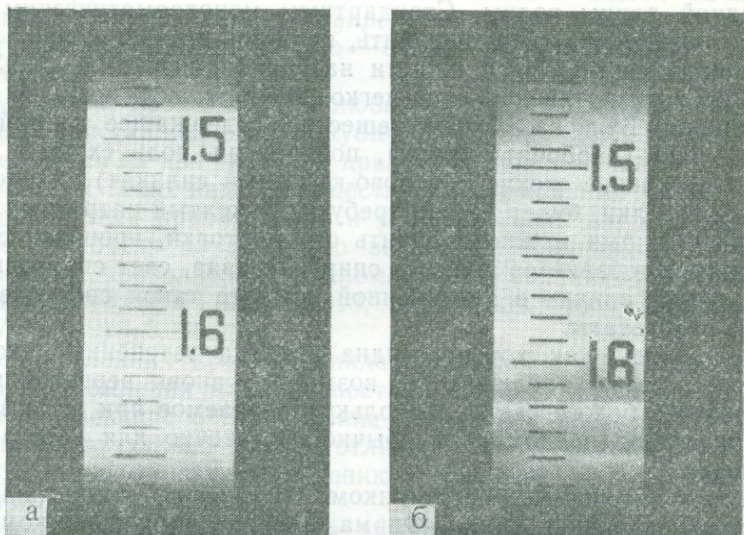


РИС. 2.6. Фотографии одной границы, даваемой обсидианом (а), и двух границ, даваемых турмалином (б), со шкалы шпинелевого рефрактометра Рейнера.

гнутого края, где величина показателя преломления наибольшая. Следует подчеркнуть, что кроме края затененной части, связанной с камнем, можно видеть слабое затенение, обусловленное отражением от контактной жидкости. Обычно это слабое затенение находится около деления 1,81, если применяется стандартная жидкость, предложенная Андерсоном и Пейном из Лондонской диагностической лаборатории. Край этого затенения более четкий, чем граница затенения, вызванная камнем, вследствие большей близости дисперсий жидкости и стекла полусферы. Шкала перевернута, т. е. в нижней части шкалы видны значения более высоких показателей преломления. Шпинелевый рефрактометр Андерсона — Пейна дает более четкие и более точные показания при освещении белым светом по сравнению с другими приборами. И он действительно был предназначен именно для этого. Синтетическая шпинель, используемая для призмы, имеет дисперсию, близкую к дисперсии большинства камней, поэтому угол полно-

го внутреннего отражения от поверхности между призмой и камнем (от которого зависит положение края затененной части) практически не меняется с длиной волны света. Фотография края затененной части на шпинелевом рефрактометре для обсидиана и турмалина показаны на рис. 2.6.

Для того чтобы получить очень четкий край затененной части на стандартном рефрактометре, необходимо применять так называемый монохроматический свет, т. е. свет только одного цвета или одной длины волны. Стандартным монохроматическим светом, который легче всего получить, является чистый желтый свет, излучаемый светящимися парами натрия (длина волны 5893 Å). Такой желтый натриевый свет легко получить, если имеется газовая горелка Бунзена. Любое вещество, содержащее натрий, например сода (карбонат натрия), поваренная соль (хлорид натрия) или оконное стекло (натрово-калиевый силикат), введенное в пламя горелки, будет давать требуемый желтый натриевый свет. Натриевое пламя можно получить от спиртовки, пропитав солью фитиль или добавив ее прямо в спирт. Правда, свет спиртовки не очень яркий, однако в затемненной комнате такой свет дает отличные результаты.

Убедившись, как хорошо видна граница затененной части в натриевом свете, наблюдатель, возможно, вновь вернется к использованию белого света, поскольку получаемое при этом значение показателя преломления обычно достаточно для распознавания камня.

Самым интенсивным источником натриевого света является натриевая разрядная лампа. Фирма «Рейнер» выпускает компактные лампы такого типа, предназначенные специально для работы с рефрактометрами этой фирмы. Если натриевый свет недоступен, четкость краев затененной части может быть улучшена с помощью светофильтров из красного стекла или желатина, устанавливаемых или между источником света и прибором, или же на окуляре рефрактометра. В этом случае показания будут несколько выше обычных, но более четкими, чем при использовании желтого фильтра, поскольку красный свет более монохроматичный.

Выпускаемый фирмой «Рейнер» темно-желтый фильтр, который насаживается на окуляр рефрактометра, дает очень хорошие результаты при наличии интенсивного источника света.

Описывая способ измерения показателя преломления, мы упомянули лишь о шпинели, у которой только одна затененная часть находится близ деления 1,72. Если мы установим на рефрактометр хризолит, то увидим, что он дает не одну, а две затененные области, причем одна затенена сильнее, а другая несколько слабее, и это помимо постоянной слабой тени, даваемой жидкостью.

Точное положение краев этих затененных областей будет меняться в зависимости от ориентации камня, однако, осторожно по-

ворачивая камень на столике (сохраняя все время с ним контакт), можно заметить, что минимальное значение, даваемое одним краем затененной части, и максимальное значение, даваемое другим краем, *не обязательно наблюдаются при одном и том же положении камня*. Для хризолита два таких показателя преломления, важные для определения минерала, будут равны 1,65 и около 1,69 соответственно (см. рис. 2.5).

Этот эффект появления двух затененных областей на шкале рефрактометра обусловлен *двупреломлением* и присущ большому числу ювелирных камней. Это — очень важное свойство для их диагностики.

Луч света, проходя через любой камень, за исключением тех, которые кристаллизуются в кубической сингонии, как правило, расщепляется на два различно преломляющихся луча.

Для всех таких камней существует минимальный и максимальный показатели преломления, и разница этих двух показателей составляет очень характерную величину — двупреломление.

Так, для хризолита двупреломление  $(1,690 - 1,654) = 0,036$ , для турмалина  $(1,638 - 1,620) = 0,018$ , а для желтого топаза только  $(1,637 - 1,629) = 0,008$ .

Два последних примера свидетельствуют о важности величины двупреломления для диагностики камней. Возьмем турмалин и топаз, имеющие очень близкие показатели преломления. Розовый топаз визуально трудно отличить от турмалина такого же цвета, однако по двупреломлению с помощью рефрактометра их различить довольно просто.

Это можно сделать, следя за поведением краев затененных областей при вращении камня. Для турмалина два края можно различить даже при освещении прибора белым светом, тогда как у топаза двупреломление слишком мало, чтобы его можно было уловить, не прибегая к шпинелевому рефрактометру или натриевой лампе. Большую помощь в определении и измерении двупреломления на рефрактометре оказывают поляроидные фильтры, которые надевают на окуляр прибора; они изготавливаются различными фирмами. Поляроидный фильтр пропускает только такой свет, плоскость колебаний которого параллельна определенному направлению. Лучи, соответствующие двум показателям преломления в двупреломляющем камне, колеблются в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Поэтому, повернув поляроид, можно полностью убрать одну из двух границ затененных областей. Это происходит тогда, когда колебания, пропускаемые поляроидом, совпадут с колебаниями этого луча. После поворота поляроида на  $90^\circ$  становится видимым край затенения, вызванного другим лучом. Таким образом, даже в случае слабого двупреломления, не позволяющего различить оба края в обычном свете, можно видеть заметный сдвиг края затенения при вращении поляроида, тогда как у камней с одним показателем преломления, таких,

как гранат или шпинель, никакого сдвига тени не наблюдается.

К камням, представляющим интерес для геммологов и обладающим одним показателем преломления (изотропным) в пределах шкалы рефрактометра, относятся флюорит, опал, шпинель и три разновидности граната — гессонит, пироп и альмандин. Зеленый гранат демантоид, сфалерит, алмаз и несколько его имитаций также имеют один показатель преломления, но величина его выходит за пределы шкалы обычного рефрактометра. Имитации из стекла дают только одну область затенения на шкале рефрактометра, однако она может находиться между значениями 1,50 и 1,70 в зависимости от состава стекла. При этом следует помнить, что ни один из изотропных природных драгоценных камней не имеет показателя преломления, заключенного в пределах, характерных для обычного стекла, т. е. от 1,50 до 1,70.

В том случае, когда на шкале в этих пределах виден лишь один край затенения, можно с уверенностью говорить, что мы имеем дело с пастой. Характер края затененной области при освещении белым светом также имеет диагностическое значение. Пасты с показателями от 1,60 до 1,70 представляют собой свинцовые стекла, дисперсия которых выше дисперсии драгоценных камней с такими же показателями. Это обуславливает возникновение более четкой границы затененной области при измерении на стандартном рефрактометре и окрашенной границы при использовании шпинелевого рефрактометра. Дублеты, площадка которых изготовлена из альмандина (встречаются наиболее часто), будут иметь показатель альмандина, т. е. около 1,79, что свидетельствует о подделке.

Список показателей преломления основных ювелирных камней приведен в табл. 2.1 для удобства (более полный список см. в конце книги). Величины показателей даны с точностью до второго знака, а двупреломления — до третьего знака, чтобы сделать небольшое, но часто играющее важную роль различие более наглядным.

В табл. 2.1 включены некоторые камни, показатель преломления которых выходит за шкалу рефрактометра. Хотя они дают «отрицательное» показание (т. е. видна лишь тень от контактной жидкости), важен уже сам этот факт, много говорящий о природе образца. В обычной практике (за исключением некоторых синтетических материалов, используемых для имитации алмаза) к таким камням относятся некоторые альмандины, демантоид, циркон, алмаз и сфен (очень редко). Обычно их можно различить по внешнему виду и другим характеристикам, приведенным ниже.

Величины показателей преломления некоторых камней колеблются в широких пределах, что связано с различием их химического состава. Особенно заметно это у красных гранатов, состав которых изменяется более или менее непрерывно от разностей, содержащих 80% чистого пироба ( $n=1,732$ ), до разностей с 85%

Таблица 2.1

## ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Камень	Показатель преломления		Величина двупреломления
Флюорит		1,43	—
Опал		1,45	—
Кварц	1,54		0,009
Берилл	1,57		0,006
Топаз	1,62		0,008
Гурмалин	1,62		0,018
Андалузит	1,63		0,010
Сподумен	1,66		0,015
Хризолит	1,65		0,037
Цонзит	1,69		0,009
Шпинель		1,72	—
Хризоберилл	1,74		0,009
Гессонит		1,74	—
Пироп		1,74	—
Корунд	1,76		0,008
Альмандин-пироп		1,77	—
Спессартин		1,80	—
Альмандин		1,81	—
Демантоид		1,89	—
Сфен	1,90		0,120
Циркон	1,93		0,059
Алмаз		2,42	—

чистого алмандина ( $n=1,810$ ). В табл. 2.1 приведены наиболее часто встречающиеся значения.

При использовании натриевой лампы опытный наблюдатель может получить гораздо более полную характеристику оптических свойств определяемых камней — одноосные они или двуосные, положительные или отрицательные и т. д. Эти свойства нередко оказываются важными при определении некоторых камней. Поэтому ниже даны краткие рекомендации по этому вопросу.

1. Для изотропных камней (аморфных или кубических) виден только один край затенения, который остается неподвижным при повороте камня.

2. Для одноосных камней (тетрагональная, тригональная или гексагональная сингонии), как правило, видны два края затенения, один из которых, соответствующий необыкновенному лучу, движется при повороте камня вперед и назад относительно неподвижного края, соответствующего обыкновенному лучу. Показатель необыкновенного луча необходимо замерять при максимальном удалении его от показателя обыкновенного луча; разница этих двух показателей и дает двупреломление камня. В том случае, когда показатель необыкновенного луча выше показателя обыкновенного луча, камень является оптически положительным, когда ниже — оптически отрицательным.

Граница затенения, обусловленного необыкновенным лучом, остается неподвижной при повороте камня лишь в том случае, когда при огранке грань площадки случайно оказалась перпендикулярной оптической оси (и эта величина дает максимальное двупреломление).

В том случае, когда оптическая ось параллельна грани площадки, наблюдается один край затенения, когда камень повернут в положение, при котором ось камня параллельна «оси» прибора (т. е. направлению между окуляром и окном, через которое свет проходит в рефрактометр). Полное двупреломление в этом случае наблюдается тогда, когда камень повернут на  $90^\circ$  по отношению к оси прибора.

3. В случае двусосных кристаллов (ромбическая, моноклинная и триклинная сингонии), как правило, у области затенения видны два края, оба из которых могут передвигаться при повороте камня. Максимальный показатель преломления, определяемый по наиболее удаленному краю затенения, соответствует величине, известной как  $n_g$ . Минимальный показатель, определяемый по другому краю затенения, соответствует величине, известной как  $n_p$ . Разница ( $n_g - n_p$ ) является полным двупреломлением<sup>1</sup>.

Измерить полное двупреломление двусосных камней на рефрактометре не всегда просто, однако каждый, кто серьезно занимается геммологией, должен практиковаться и научиться определять его. Некоторые преподаватели рекомендуют записывать значения обеих границ затенения при нескольких положениях камня, считая, что разница между максимальным и минимальным полученными значениями дает полное двупреломление. Опыт проверки экзаменационных работ показал автору, что такое предположение необоснованно. Единственный верный метод (который к тому же является наиболее быстрым и простым) заключается в том, чтобы наблюдать движение одной границы затенения при медленном повороте камня на столике прибора легкими толчками указательных пальцев обеих рук, замечая и записывая сначала наибольшее значение для верхней границы затенения, а затем наименьшее значение для нижней границы. Разница между максимальной и минимальной величинами дает значение двупреломления.

<sup>1</sup> В отечественных руководствах приняты обозначения французской школы: для изотропных минералов  $n$  или  $N$ , для одноосных  $n_o$  и  $n_e$  ( $N_o$  и  $N_e$ ) для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно. Для двусосных минералов  $n_g(N_g)$  — большой показатель преломления,  $n_m(N_m)$  — средний и  $n_p(N_p)$  — малый.

В рефрактометре видно, что у изотропных минералов граница затененной области не смещается при вращении, у одноосных минералов при вращении минерала одна граница постоянна, а другая меняет свое положение. При некотором повороте возможно совпадение обеих границ. У двусосных минералов обе границы меняют свое положение: одна от  $N_m$  до  $N_g$  и другая от  $N_p$  до  $N_m$ . — *Прим. ред.*

Промежуточный показатель преломления  $n_m$  определить сложнее. Он соответствует или минимальному значению верхнего края затенения, или максимальному значению нижнего края затенения. Случайно грань площадки может быть ориентирована таким образом, что оптическая ось (или даже обе оси) будет располагаться в плоскости грани. В этом случае в некоторых положениях камня наблюдается единственный край затенения (соответствующий величине  $n_m$ ).



РИС. 2.7. Изменение положения границ затенения при исследовании зеленого турмалина.

В том случае, когда величина  $n_m$  ближе к  $n_p$ , чем к  $n_g$ , камень является оптически положительным, а когда  $n_m$  ближе к  $n_g$ , чем к  $n_p$ , — оптически отрицательным. Если край затенения, соответствующий наибольшему показателю преломления, передвигается на расстояние менее половины расстояния между максимальным и минимальным значениями показателей преломления, камень должен быть оптически положительным. Если нижний край затенения перемещается на расстояние более половины расстояния между максимальным и минимальным значениями показателей преломления, то камень относится к оптически отрицательным.

Квалифицированных геммологов, по-видимому, заинтересует возможность определения ориентации ограненного камня по наблюдению за перемещением краев области затенения. Однако для целей идентификации обычно необходимо знать лишь максимальную и минимальную величины показателей преломления. *Следует особо подчеркнуть, что для всех камней — одноосных или двуосных — разница между максимальным и минимальным показателями преломления, полученными для любой грани, должна всегда представлять собой полное двупреломление данного камня.* Этот факт имеет очень важное значение для диагностики. Некоторые драгоценные камни имеют «криптокристаллическую» структуру, т. е. состоят из множества мелких кристаллов, ориентированных

более или менее случайным образом. Примерами таких камней могут служить жадеит, нефрит и представители группы халцедона (агата). Можно ожидать, что они дадут на рефрактометре единственную усредненную и не очень резкую границу затенения. Однако у некоторых агатов (например, оникса, сердолика) отчетливо наблюдается двойная граница затенения с явным двупреломлением около 0,006, не изменяющимся при повороте образца. Эта любопытная, но полезная для диагностики особенность называется

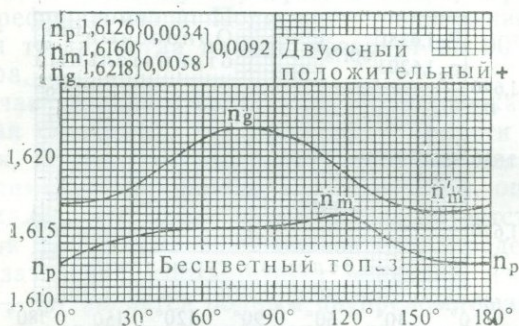


РИС. 2.8. Изменение положения границ затенения при исследовании бесцветного топаза.

ся структурным двупреломлением; она обусловлена суммарным эффектом одинаковых частиц (в данном случае мелкими волокнами кварца), заключенных в веществе с другим показателем преломления (в данном случае опале).

Диаграммы, представленные на рис. 2.7 и 2.8, иллюстрируют типичные перемещения краев затенения в одноосных и двуосных камнях.

Простые методы определения двупреломления без помощи рефрактометра будут обсуждены в следующей главе.

### МЕТОД «ДИСТАНЦИОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ» ДЛЯ КАБОШОНОВ

Для получения на рефрактометре точных показаний необходимо, чтобы камень имел плоскую полированную грань, обеспечивающую хороший контакт со стеклянным столиком прибора. Однако покойный Лестер Бенсон из Американского геммологического института разработал и описал остроумную и важную для диагностики новую методику, позволяющую измерять показатель преломления даже кабошонов или очень мелких ограненных камней, которые при обычных измерениях не дают на шкале никакого затенения. Метод Бенсона (известен в Америке как метод «пят-

на», в Англии — как метод «дистанционного наблюдения»; причина таких названий станет ясна из описания) является более трудным и менее точным, чем стандартный, однако он настолько расширяет возможности рефрактометра, что геммологу настоятельно рекомендуется овладеть этим методом, поскольку он позволит ему проводить идентификацию и в тех случаях, когда обычный метод неприемлем.

Например, хризоберилловый и кварцевый кошачий глаз, когда они закреплены в оправе, различить очень трудно. Метод Бенсона позволяет это сделать надежно, так же как и отличить один от другого кабошоны из нефрита, жадеита и некоторых других зеленых минералов. Методом Бенсона надежно определяется и бирюза, которая при обычном методе не всегда дает затенение даже с плоской поверхности. Могут измеряться и очень мелкие ограненные камни.

При использовании стандартного рефрактометра Рейнера процедура заключается в следующем. Прежде всего важно ограничить количество контактной жидкости до минимально возможной капли. Это можно сделать, применяя тонкую капиллярную стеклянную трубку, или тонкую проволоку, или иглу. Можно также прикоснуться камнем к обычной капле и затем удалить ее, используя лишь незначительное количество жидкости, прилипшей к камню. Затем камень (предположим, это кабошон) устанавливают в центре столика рефрактометра; при этом точка контакта несколько увеличивается за счет контактной жидкости. Удалив глаз от окуляра на расстояние около 30 см и слегка подвигав головой, пока не будет найдено правильное положение, наблюдатель сможет увидеть точку контакта камня и каплю жидкости в виде маленького диска в центре ограниченной части шкалы, еще видимой с такого расстояния.

Если сфокусировать глаз (и внимание) на этом пятне, показания шкалы, к сожалению, будут слегка не в фокусе, однако путем легких боковых движений головой удастся определить положение пятна достаточно точно. Можно заметить, что если контактное пятно наблюдать около значения шкалы, которое заведомо ниже показателя преломления образца, оно будет совершенно темным.

При постепенном перемещении поля зрения по вертикали в направлении более высоких показателей преломления в определенном месте контактное пятно из темного становится светлым (за счет полного внутреннего отражения). Можно найти такое положение, при котором граница затенения проходит точно по середине пятна. *Показание шкалы в этой точке дает показатель преломления камня.*

Прежде чем приступить к определению неизвестных образцов с помощью этого нового метода, необходимо приобрести некоторые практические навыки. Для этого рекомендуется поработать с бусинами или кабошонами из кварца, лунного камня или дру-

гих известных минералов, а также с мелкими ограненными камнями, размер которых недостаточен для того, чтобы они дали границу затенения для измерения на рефрактометре обычным методом.

### УХОД ЗА РЕФРАКТОМЕТРОМ

Рефрактометр, еще не бывший в работе, имеет очень ровную и хорошо отполированную поверхность стеклянной полусферы или призмы, что позволяет вести очень четкие определения показателей преломления. Эту поверхность необходимо поддерживать в хорошем состоянии, предохраняя ее от механических повреждений при неосторожной установке на нее камней. Ребра или углы камня могут царапать мягкое стекло, а контактная жидкость (обычно иодистый метилен с растворенными в нем одним или несколькими твердыми веществами) при длительном контакте может химически действовать на стекло, особенно если ее не смыть после проведения испытаний. Если прибор не используется длительное время, рекомендуется смазать стекло вазелином. Если стекло покрылось царапинами, что не позволяет получить четких показаний, его можно отполировать маленьким кусочком ваты, смоченной суспензией крокуса в воде. Обычно это дает блестящие результаты. Если, однако, поверхность имеет серьезные повреждения, целесообразно вернуть прибор изготовителям для повторной полировки.

Сильно давить на образец в процессе измерений не следует, так как это часто приводит к повреждению мягкого стекла. Как правило, вес самого камня вполне достаточен для обеспечения хорошего оптического контакта со столиком прибора.

Стоит отметить, что некоторые стекла не дают области затенения на рефрактометре из-за наличия на них тонкой поверхностной пленки, показатель преломления которой слегка отличается от показателя преломления основной массы стекла. Такое «покрытие», вероятно, образуется случайно в процессе производства. Недавно появились специально «покрытые» камни (см. конец гл. 7), которые также не дают показаний на рефрактометре. Во всяком случае, протирка таких камней кусочком ткани, смоченной крокусом, обычно очищает поверхность образца и позволяет получить четкие значения показателей преломления.

### МЕТОД «ЯРКОЙ ПОЛОСКИ»

В тех случаях, когда в условиях обычного освещения трудно получить показания, К. Дж. Пейн применял следующую методику, которая часто давала хорошие результаты. Крышку рефрактометра Рейнера снимают, а окно, через которое свет обычно проходит в прибор, закрывают, например, спичечной коробкой.

Лампу микроскопа (или натриевую лампу) устанавливают таким образом, чтобы луч света лишь касался камня, помещенного на столик рефрактометра. Если эти условия соблюдены, то обычно можно видеть яркую полосу, пересекающую шкалу в том месте, где должен бы быть край затенения. Возможно, потребуется повернуть камень для достижения более четкого изображения. У двупреломляющих камней, конечно, должны быть видны две яркие полосы.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАМНЕЙ С ВЫСОКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Верхний предел измерений показателей преломления на любых стандартных рефрактометрах составляет примерно 1,81 независимо от того, насколько далеко продолжается их шкала. Этот предел обусловлен применяемой контактной жидкостью — иодистым метиленом, насыщенным серой и тетраиодэтиленом. В Лондонской диагностической лаборатории применялись и другие жидкости, например фенилдииодарсин и бромистый селен, позволяющие измерять более высокие показатели преломления на рефрактометре с алмазной призмой, однако такие жидкости химически очень активны и могут вызвать быстрое разрушение поверхности свинцового стекла, из которого изготовлены полусфера или призма обычного рефрактометра. Даже если бы это было не так, небольшое расширение пределов измерения не имеет большого практического значения, поскольку очень немногих камней характеризуются показателями преломления от 1,8 до 1,9.

С другой стороны, для геммологов было бы крайне желательным определять показатели преломления камней в пределах от 1,9 до 2,6, поскольку появился ряд синтетических материалов с высокими показателями преломления, успешно применяемых в качестве имитации алмаза. Список таких материалов и их свойства приведены в табл. 10.1.

К счастью, имеется простой способ измерения таких высоких показателей преломления с достаточной точностью, который описан ниже. Будет рассмотрено несколько новых типов «рефлектометров», помогающих геммологам распознавать камни с показателями преломления, превышающими пределы шкалы обычных рефрактометров.

**Метод прямого измерения.** Для этого метода требуется хороший стандартный монокулярный микроскоп (см. гл. 6). Желательно, чтобы микроскоп имел шкалу, соединенную с винтом тонкой регулировки для того, чтобы регистрировать перемещение тубуса в положение точного фокуса (действительные показания не имеют никакого значения). К тубусу должна быть приделана миллиметровая линейка, а к штативу — нониус (рис. 2.9). Такие приспособления у микроскопа встречаются редко, однако они могут быть

без особых трудностей установлены хорошим механиком. Ф. С. Г. Тисдалл предложил использовать скользящий измеритель с миллиметровой шкалой и нониусом, дающий показания с точностью до одной десятой доли миллиметра и позволяющий измерить глубину. Инструменты такого типа недороги и могут быть использованы ювелирами и геммологами для точного определения размеров выдающихся камней. Устройство для определения глу-

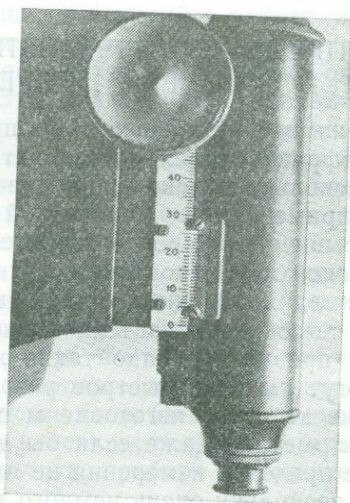


РИС. 2.9. Простейший микроскоп с нониусом с точностью до 0,05 мм для определения показателя преломления камней методом измерения реальной и кажущейся толщины камня.

бины позволяет измерять разницу в положении фокуса путем отсчета расстояния между верхом кремальеры и неподвижным штативом, относительно которого она передвигается.

Рекомендуется следующая последовательность проведения измерений. Определяемый камень чистят и затем фиксируют на предметном стекле с помощью небольшого шарика из воска или пластилина, в который вдавливают колету таким образом, чтобы грань площадки располагалась горизонтально. Камень помещают под объектив, имеющий среднее увеличение, позволяющее точно определить положение четкого фокуса, и наводят фокус на грань площадки, используя для этой цели частицы пыли, полировочные царапины и т. п. Полученные на фокусирующем барабане, нониусе или измерителе глубин значения записывают. Затем фокус понижают до тех пор, пока в фокусе не будет колета, видимая через камень, и вновь записывают показания. Разница между первым и вторым показаниями дает «кажущуюся» толщину кам-

ня. После этого камень сдвигают немного в сторону и получают третью величину, наведя фокус непосредственно на предметное стекло. Разница между третьим и первым показаниями и дает действительную толщину определяемого камня. Показатель преломления находят по простой формуле:

$$n = \frac{\text{действительная толщина}}{\text{кажущаяся толщина}}$$

Для повышения точности измерения следует повторить несколько раз. Если камень имеет достаточный размер, точность измерения показателя составляет 0,02, что обычно вполне достаточно для определения природы изотропного вещества. Данный метод дает хорошие результаты только для изотропных камней или для обыкновенного луча одноосных камней.

Описанный метод, позволяющий просто и достаточно быстро определить показатель преломления незакрепленных камней, почти неприменим для измерения закрепленных камней. В этом случае для определения действительной толщины камня может быть полезен каратометр Левериджа. «Кажущаяся» толщина, конечно, может быть легко определена как для закрепленных, так и незакрепленных камней.

Следует отметить, что положение включения ниже поверхности грани площадки может быть оценено с некоторой точностью путем измерения разницы между фокальными положениями для поверхности грани и включения и последующего умножения ее на показатель преломления камня, например на 2,42 в случае алмаза.

**Рефлектометры.** В геммологии (и не только в геммологии!) новая опасность часто мобилизует изобретательность человека, что позволяет ему противостоять этой опасности. В последние годы ювелиры и даже опытные геммологи обеспокоены появлением ряда синтетических кристаллов, которые в ограненном виде более или менее близко напоминают алмаз и имеют показатели преломления, превышающие пределы шкалы рефрактометра. Однако на рынке появился ряд приборов, переступивших «барьер 1,81», обусловленный применяемой контактной жидкостью, и позволяющих в какой-то мере оценить светопреломление прозрачного камня, имеющего хорошо отполированную плоскую поверхность. Для работы с этими приборами не требуется никакой контактной жидкости — отсюда и возможность преодолеть указанный барьер.

Как и для всех геммологических приборов, в случае новых рефлектометров также имеется ряд препятствий и ограничений в их использовании. Первым появился рефлектометр «Джеметер» («Gemeter»), а самым последним (выпущен в период подготовки данной книги к печати) является прибор «Джем Энелайзер» («Gem Analyser») фирмы «Мартин». Рефлектометры могут привести к многочисленным неверным определениям в руках тех, кто

недостаточно понял, что они меряют, и кто ожидает получить ответ, такой же точный и надежный, какой получается при определении камней с более низкими показателями преломления на стандартном рефрактометре. Но во всяком случае, они позволяют быстро и надежно отличить алмаз от всех его имитаций.

Связь между отражательной способностью прозрачного изотропного твердого материала и его показателем преломления для натриевого света была установлена много лет назад французским физиком Френелем, который нашел, что в случае перпендикулярно падающего луча уравнение

$$\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \times 100$$

позволяет определить процент отраженного света ( $n$  — показатель преломления образца). Интересно отметить, что в соответствии с этим уравнением алмаз отражает 17,2% света, падающего перпендикулярно его поверхности, тогда как кварц отражает чуть больше 4%.

Честь изобретения прибора, основанного на принципе Френеля и позволяющего измерять показатели преломления независимо от того, как они высоки, с точностью до 0,02, принадлежит покойному Л. К. Трумперу. Однако его прибор не изготовлялся в промышленных масштабах и, по-видимому, требовал при работе большего искусства и времени, чем можно позволить себе в наш нетерпеливый век. То же можно сказать о подобных измерениях, выполненных А. Ф. Халлимондом с использованием микроскопа со специальным объективом и фотоэлемента для записи интенсивности отраженного света.

Некоторые типы современных рефлектметров были сконструированы без учета уравнения Френеля. В них используется «свет», даваемый светоиспускающим диодом и состоящий из широкой полосы в инфракрасной области (до 9500 Å). Диод питается от небольшой батарейки. Свет отражается от поверхности испытуемого образца, который помещают на небольшое отверстие, расположенное в нескольких миллиметрах над диодом, и улавливается фототранзистором, расположенным под углом около 30° к инфракрасному лучу. Различие между разными моделями, использующими один и тот же принцип, заключается в основном в форме и размерах отверстия, в котором устанавливают камень; в разных шкалах прибора; в наличии схем, обеспечивающих стабилизацию питающего напряжения. Как правило, шкала имеет два предела — один для камней с низкими показателями преломления, а другой для минералов с высокими показателями. Переключение шкал осуществляется нажатием кнопки. Числовая точность шкалы, где она градуирована в показателях преломления, менее важна, чем стабильность результатов для камней одного и того же вида. В некоторых первых моделях стабильность была неудовлетворительной.

Доктор У. У. Ханнеман в своем приборе «Глаз ювелира» («Jeweler's Eye») (рис. 2.10) вместо показателей преломления градуировал шкалу прибора в значениях пределов, в которых будет находиться стрелка прибора, указывая наиболее важные драгоценные камни, причем один ряд пределов установлен для камней с низкими показателями, другой — для камней с высокими показателями преломления. В более позднем приборе, который он

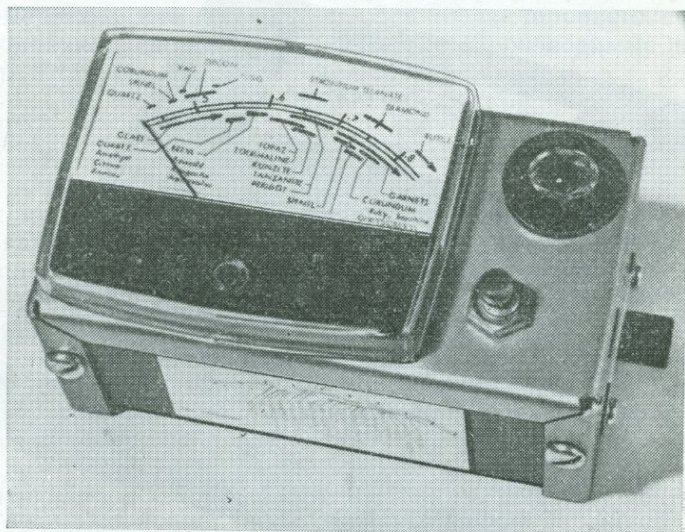


РИС. 2.10. «Глаз ювелира» Ханнемана.

назвал «Блескометр» («Lustermeter») (рис. 2.11), предложена совершенно условная шкала: на ней показаны значения «блеска», выраженные в единицах, которые Ханнеман назвал единицами Лн. Буква L показывает, что свет создается светоиспускающим диодом (LED (light-emitting diode) — светоиспускающий диод), а Н — первая буква фамилии Ханнемана, автора первой числовой шкалы блеска. Сравнить шкалу Ханнемана можно с проверенной временем шкалой твердости Мооса. На ней алмазу соответствует цифра 4, титанату стронция — цифра 3, синтетическому гадолиний-галлиевому гранату — цифра 2 и синтетическому иттрий-алюминиевому гранату — цифра 1. Значения для камней с более низкими показателями соответствуют их показателям преломления минус единица, т. е. для синтетической шпинели это будет 0,73, а для кварца — 0,55.

Заметно более низкое положение на шкале (градуирована ли она в величинах показателя преломления или единицах «блеска») титаната стронция по сравнению с алмазом на первый взгляд мо-

жет показаться удивительным, поскольку этот материал имеет показатель преломления (2,408), почти равный показателю преломления алмаза (2,419) для натриевого света. Различие в показаниях «Блескометра» обусловлено значительно более низкой дисперсией алмаза по сравнению с титанатом стронция. Даже

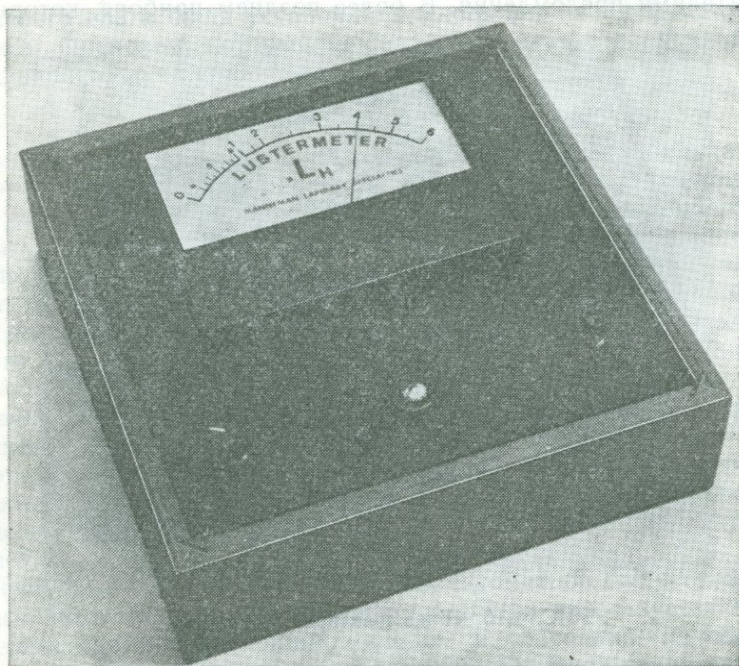


РИС. 2.11. «Блескометр» Ханнемана.

для красного света (6708 Å) показатель преломления титаната стронция падает до 2,378 по сравнению с 2,410 для алмаза, а для инфракрасного света, используемого в приборе, это различие проявляется в значительно большей степени.

Последний из приборов Ханнемана, так называемый «Алмазный глаз» («Diamond Eye»), предназначен специально для ювелиров, чтобы помочь им отличать алмаз от большинства его имитаций (в особенности от кубической окиси циркония). Принцип его работы тот же, что и «Блескометра», шкала градуирована в тех же единицах, однако в требуемой области шкалы чувствительность его заметно выше. Более подробно он описан в главе, посвященной алмазу (гл. 10).

При выборе отражающего свет прибора рекомендуется испы-

тать его в работе, определяя различные камни. Окно прибора должно иметь такой размер, чтобы на него можно было бы установить средний по величине камень. Прибор должен давать возможность измерять константу закрепленных камней, поскольку если камень не закреплен, его легко определить, например измерив плотность, тогда как для закрепленных камней измерение отражательной способности действительно было бы полезным. Если испытуемые камни имеют чистую полированную поверхность и при измерениях камень экранируется от постороннего света черным колпачком, должны получаться воспроизводимые результаты. Если этого нет, прибор не заслуживает доверия.

### ИММЕРСИОННЫЕ МЕТОДЫ

Как мы уже видели выше, для измерения показателей преломления камней с искривленными поверхностями или очень маленькими плоскими гранями методом «дистанционного наблюдения» можно применять рефрактометр. Однако в ряде случаев возникает необходимость в использовании других методов определения показателя преломления, например когда необходимо определить необработанные кристаллы, резные камни, большое число мелких камней в броши или кольце или когда из-за оправы контакт камня со столиком рефрактометра невозможен. В таких случаях лучше всего применять иммерсионные методы. Стеклованная ванночка или кювета и набор перечисленных ниже специальных жидкостей — вот все, что необходимо для измерений. Применение микроскопа значительно расширяет возможности и повышает точность метода, однако нужные сведения могут быть получены и без него.

Теоретические основы метода заключаются в следующем. Мы видим прозрачные объекты вследствие преломления и отражения света от их поверхностей, и в том случае, когда прозрачный твердый объект погружен в жидкость, имеющую близкий показатель преломления, светопреломление и отражение снижаются до минимума и объект становится практически невидимым. Характерным примером этого эффекта могут служить куски льда в воде. Легко показать экспериментально, что степень видимости, или, как ее называют, «рельеф» прозрачного объекта, погруженного в прозрачную жидкость, зависит только от того, насколько близко совпадают их показатели преломления.

Если мы подберем жидкость, в которой контуры погруженного камня становятся настолько неясными, что почти пропадают, можно смело предположить, что показатель преломления камня очень близок к известному нам показателю преломления жидкости. Хорошим примером является поведение огненного опала в четыреххлористом углероде, лунного камня или ортоклаза в хлорбензоле и кварца в бромистом этилене.

Ниже приведен список наиболее удобных жидкостей, имеющих разные показатели преломления, вполне доступных и относительно безвредных:

Четыреххлористый углерод	1,46
Толуол	1,50
Монохлорбензол	1,526
Бромистый этилен	1,54
Монобромбензол	1,56
Орто-толуидин	1,57
Бромформ	1,59
Моноиодобензол	1,62
Монобромнафталин	1,66
Моноиоднафталин	1,705
Иодистый метилен	1,745

Иодистый метилен и смеси, в которые он входит и которые имеют высокий показатель преломления, дороги и не очень приятны в обращении. Фенилдииодоарсин ( $n=1,85$ ) очень ядовит, вызывает ожог кожи и поэтому не рекомендуется для широкого применения. Им могут пользоваться лишь квалифицированные специалисты, принимающие необходимые меры предосторожности<sup>1</sup>.

Когда камни имеют достаточный размер и плоские полированные грани, рефрактометр, конечно, является наиболее удобным, быстрым и точным прибором. Однако во многих случаях он не может быть применен, и тогда в свои права вступают иммерсионные методы, в особенности если они используются в сочетании с микроскопом. Например, может встретиться брошь, усыпанная мелкими алмазами, причем некоторые из них, как подозревают, заменены синтетическим бесцветным сапфиром. Если брошь погрузить в иодистый метилен и исследовать камни при небольшом увеличении, то алмазы можно без труда распознать по их высокому рельефу (каждая грань отчетливо видна) в отличие от бесцветной синтетики с ее едва различимыми ребрами. Этот метод позволяет легко выделить отдельные посторонние камни в группе мелких камней, закрепленных или незакрепленных и имеющих одинаковый внешний вид.

Когда камни не закреплены в оправе, очень легко определить, больше или меньше их показатель преломления, чем показатель преломления жидкости, в которую они погружены. Для этого под стеклянную кювету с камнями, уложенными площадками вниз, подкладывают лист белой бумаги и наблюдают их в свете одной расположенной над головой лампы. Если камень имеет больший

<sup>1</sup> В Советском Союзе изготавливаются стандартные жидкости на основе иодистого метилена, серы и иодистого мышьяка (показатель преломления до 2,06), однако эти жидкости очень ядовиты и ими пользуются только по нормам работы с ядами. — *Прим. ред.*

показатель преломления, чем жидкость, то на бумаге от него видна тень, ограниченная темным ободком, а проекции ребер граней имеют вид темных линий. По ширине наружного ободка можно судить о разнице между показателями преломления жидкости и камня. В том случае, когда показатели почти совпадают, появляется окрашенный ободок, свидетельствующий о том, что показатели преломления камня и жидкости для некоторых длин волн

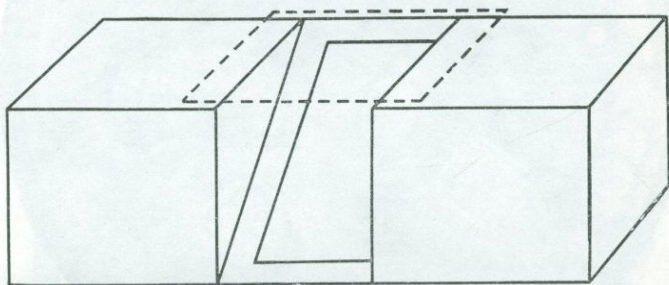


РИС. 2.12. Приспособление для изучения эффектов иммерсионного контраста: два картонных куба и наклонная подставка для зеркала между ними. Пунктирной линией обозначено положение стеклянного «мостика» для размещения кюветы с иммерсионной жидкостью и погруженных в нее исследуемых камней. Единственный источник света помещается над головой и позволяет обнаружить различия в контрасте при наблюдении погруженных камней в зеркале.

совпадают (но не для всех, поскольку дисперсия жидкости выше, чем дисперсия камня).

Описанный эффект лучше виден, если его наблюдать снизу, причем нетрудно сделать для этого простое устройство. Две деревянные подставки или два полых картонных куба устанавливаются таким образом, чтобы между ними располагалась клинообразная подставка с наклонной плоскостью ( $45^\circ$ ) к наблюдателю. На наклонной поверхности укрепляют небольшое зеркальце (какие обычно женщины носят в своих сумках). На два других куба укладывают в виде мостика пластинку матового стекла и на нее ставят стеклянную кювету с жидкостью и погруженными в нее камнями. В том случае, когда кювета освещается сверху, наблюдатель видит в зеркальце удивительную картину «иммерсионного контраста». Схема, приведенная на рис. 2.12, дает наглядное представление об этом простом устройстве, дающем хорошие результаты.

**Иммерсионная контактная фотография.** Тот же метод позволяет, установив кювету с жидкостью и погруженными в нее камнями на лист низкочувствительной контрастной пленки, получить их фотографию. Экспонирование продолжается одну или две секунды светом лампы, расположенной над кюветой. Проявленный

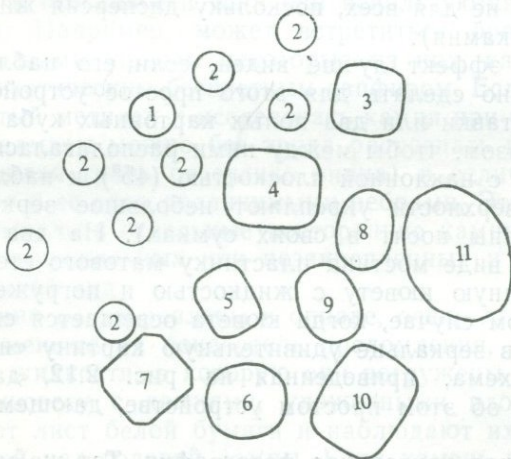
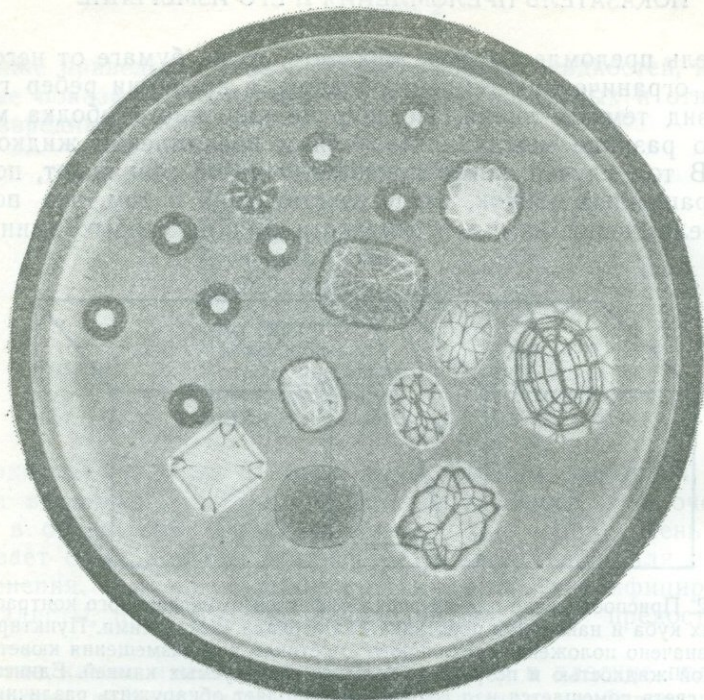


РИС. 2.13. Контактная фотография драгоценных камней, погруженных в монобромнафталин. 1 — синтетический рутил; 2 — бесцветный циркон; 3 — бесцветный сапфир; 4 — золотистый хризоберилл; 5 — розовая шпинель; 6 — коричневый сингалит; 7 — зеленый сподумен; 8 — фенакит; 9 — гамбергит; 10 — турмалин; 11 — цитрин. Публикуется с разрешения Геммологической ассоциации.

негатив дает очень четкое изображение контуров камней, наглядно демонстрируя соотношения показателей преломления камня и жидкости. Рис. 2.13 представляет собой такую иммерсионную контактную фотографию; здесь хорошо видны камни с большими

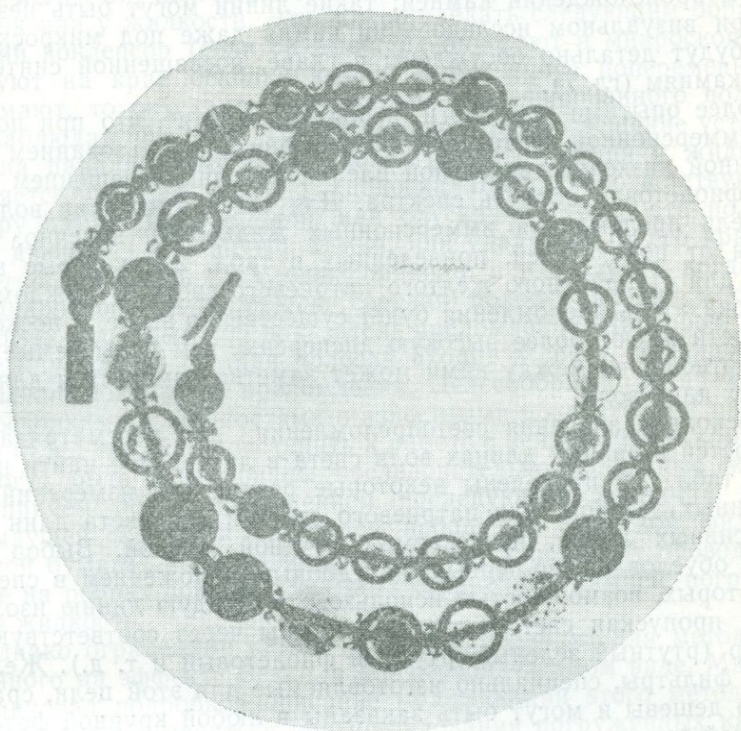


РИС. 2.14. Контактная фотография турмалиновых бус, погруженных в бромбензол (показатель преломления 1,56); видны также пять аквамаиновых бусин, обладающих низким контрастом. Публикуется с разрешения Геммологической ассоциации.

различиями в показателях преломления, погруженные в монобромнафталин.

На рис. 2.14 приведена другая иммерсионная контактная фотография — бусы из камня, считающегося турмалином различной окраски. На фотографии отчетливо видно, что среди них присутствуют пять аквамаиновых бусин, показатель преломления которых близок к показателю преломления жидкости.

Такие фотографии могут служить для определения точного размера, формы и распределения граней ограненного камня. Для этой цели, однако, должна быть выбрана жидкость с показателем пре-

ломления, близким к показателю преломления камня. Еще одно практическое значение таких фотографий для геммолога заключается в том, что на снимках синтетических камней часто обнаруживаются изогнутые линии роста, свидетельствующие об искусственном происхождении камней; такие линии могут быть незаметны при визуальном исследовании камня даже под микроскопом. Они будут детально обсуждены в главе, посвященной синтетическим камням (гл. 7).

Более опытные геммологи, вероятно, заметят, что при получении иммерсионной контактной фотографии с использованием предложенной низкочувствительной пленки рабочим освещением является фиолетовая область спектра. Для света этих длин волн показатель преломления иммерсионных жидкостей, конечно, отличается от показателей, приведенных в табл. 2.1, которые верны лишь для стандартного желтого натриевого света. В каждом случае показатель преломления будет существенно выше, и поскольку жидкости имеют более высокую дисперсию, чем испытываемые камни, соотношение между ними может заметно изменяться для различных длин волн.

Поскольку значения светопреломления для рассматриваемых жидкостей в разных длинах волн света в литературе найти нелегко, в табл. 2.2 приведены некоторые результаты измерений, выполненных автором, для натриевого света и для света длин волн интенсивных линий, испускаемых ртутной лампой. Выбор этих линий обусловлен, во-первых, их удобным положением в спектре, а во-вторых, возможностью использовать каждую линию изолированно, пропуская свет от ртутной лампы через соответствующий фильтр (ртутный зеленый, ртутный фиолетовый и т. д.). Желатиновые фильтры, специально изготовляемые для этой цели, сравнительно дешевы и могут быть заказаны в любой крупной фотографической фирме.

ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ

Таблица 2.2

Длина волны, Å	$\text{CH}_2\text{I}_2$	$\text{C}_{10}\text{H}_7\text{Br}$	$\text{CHBr}_3$	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Br}$
Hg 6234	1,7364	1,6564	1,5940	1,5615
Na 5893	1,7414	1,6590	1,5962	1,5620
Hg 5791	1,7434	1,6614	1,5977	1,5652
Hg 5461	1,7504	1,6676	1,6017	1,5689
Hg 4916	1,7662	1,6820	1,6091	1,5769
Hg 4358	1,8006	1,6998	1,6207	1,5906

В табл. 2.2 приведены показатели преломления иодистого метилена, монобромнафталина, бромформа и бромбензола.

При исследовании таких необработанных камней, как янтарь, нефрит и т. д., которые нередко используются в украшениях, ча-

сто можно отщипнуть небольшой кусочек без повреждения образца, поместить его на стекло в каплю жидкости и исследовать под микроскопом. Помимо того, что мы можем установить наличие или отсутствие рельефа у данного кусочка в используемой жидкости, легко определить, где больше показатель преломления — у камня или у жидкости. Это можно сделать следующим образом. Нижний конденсор (если он имеется) опускают и микроскоп фокусируют на край осколка камня. Затем тубус попеременно то поднимают, то опускают относительно сфокусированного положения, наблюдая при этом, что происходит. Если освещение установлено на параллельный свет, вдоль границы камня и жидкости появляется светлая полоска (полоска Бекке), соответствующая контуру камня. При подъеме или опускании тубуса эта полоска будет двигаться или внутрь камня, или удаляться от его края.

Легко запомнить следующее правило: в том случае, когда фокус микроскопа *поднимается*, светлая полоска входит в среду, имеющую более *высокий* показатель преломления. Наоборот, когда фокус *опускается*, светлая полоска входит в среду, имеющую более *низкий* показатель преломления. Целесообразно поупражняться с осколками и жидкостями с известными показателями преломления перед тем, как приступить к работе с неизвестными камнями.

Могут быть испробованы последовательно различные жидкости, причем перед применением последующей жидкости капля предыдущей жидкости удаляется небольшой полоской фильтровальной бумаги<sup>1</sup>. Наблюдение светлой полоски может проводиться также на ребрах довольно крупных ограненных камней, погруженных в жидкость.

Однако ограненные камни не совсем подходят для метода, основанного на эффекте Бекке, в его первоначальном виде. Митчелл опубликовал подробное описание модификации этого метода, которая может применяться при исследовании погруженных камней. Наблюдения Митчелла были сделаны независимо от более ранней работы Ж. О. Уилда и профессора Шлоссмахера в ФРГ.

Описываемый эффект лучше всего наблюдать при опущенном конденсаторе и частично закрытой диафрагме. Можно заметить, что по мере приближения фокуса к камню ребра граней сначала светлеют, а при дальнейшем понижении фокуса становятся тем-

<sup>1</sup> Иммерсионный метод является основным методом определения показателей преломления в минералогической практике. В качестве сравнительной среды используется набор из 100 жидкостей, причем показатель преломления каждой последующей жидкости отличается от показателя преломления каждой предыдущей жидкости на величину 0,003. Последовательной сменой жидкостей добиваются такого положения, что  $n$  минерала ( $n_g, n_m, n_r$  или  $n_o, n_e$ ) занимает промежуточное положение между показателями преломления двух смежных жидкостей. Показатель преломления равен средней величине. Обычный вариант метода дает возможность определить светопреломление с точностью  $\pm 0,003$ . Добиться равенства  $n$  жидкости и камня в белом свете невозможно: сказывается дисперсия камня и жидкости. — Прим. ред.

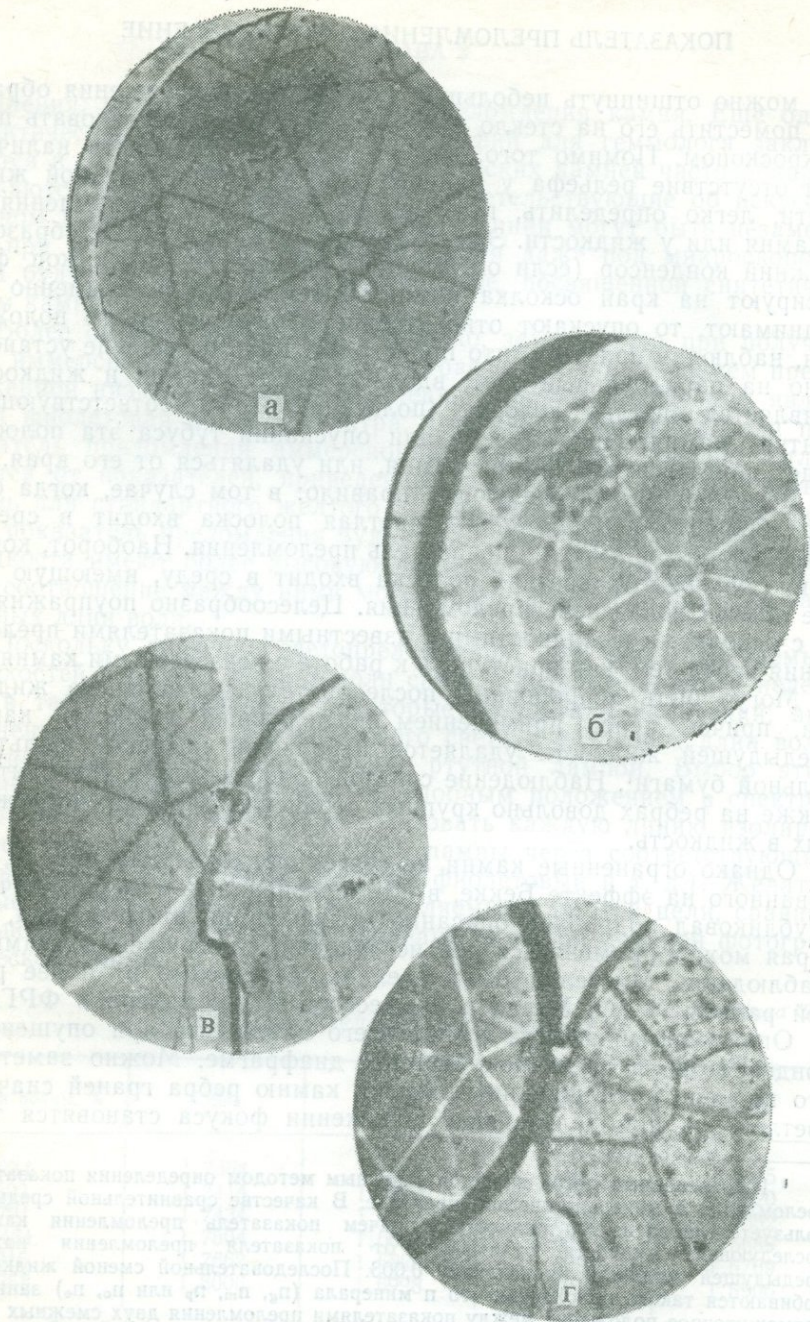


РИС. 2.15. а — рубин в иодистом метилене. Фокус располагается в пределах камня; б — тот же рубин, но фокус располагается в жидкости над камнем; в — рубин (слева) и шпинель в иодистом метилене. Фокус располагается в пределах камня; г — те же камни, но фокус располагается в жидкости над камнем (фото Р. К. Митчелла).

ными (в зависимости от соотношения показателей преломления камня и жидкости может наблюдаться обратный порядок).

Камни всегда следует изучать в положении, когда площадка находится внизу, а наблюдаемыми ребрами граней являются грани павильона. Если показатель преломления камня ниже, чем показатель преломления жидкости, ребра граней выглядят сначала темными, а затем становятся светлыми по мере понижения фоку-

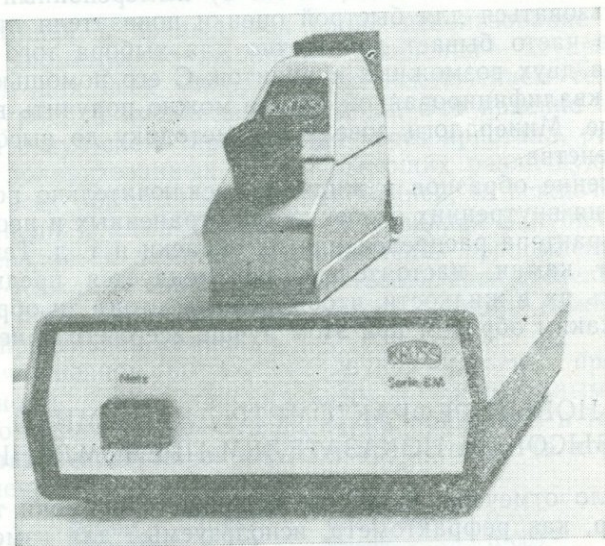


РИС. 2.16. Рефрактометр «EP 602 Риплус».

са микроскопа. Когда же показатель преломления камня выше, чем у жидкости, ребра сначала выглядят светлыми, а затем темнеют по мере понижения фокуса.

Такие наблюдения имеют большую практическую ценность при определении под микроскопом ряда мелких рубинов. Каждый камень, включения в котором вызывают подозрения, можно проверить в иодистом метиле, опуская конденсор, закрывая диафрагму и наблюдая вид ребер граней при перемещении тубуса микроскопа вверх и вниз. Если камень представляет собой красную шпинель, оказавшуюся случайно вместе с рубинами, то у него будет отчетливо заметен обратный по сравнению с рубинами эффект. Это хорошо видно на фотографиях Митчелла (рис. 2.15).

Метод, основанный на эффекте Бекке, дает возможность определить также соотношение показателей преломления микроскопических включений, встречающихся в большинстве драгоценных камней, и самого камня, в котором они заключены. Здесь опять

важен характер рельефа камня, по которому можно судить, насколько различны или близки показатели преломления включенного и включающего минералов. К сожалению, поскольку мелкие кристаллы постоянно «погружены» в твердые крупные кристаллы, эффект Бекке наблюдается только в отношении двух этих сред.

Наряду с применением метода тяжелых жидкостей для определения плотности камня (см. гл. 5) иммерсионный метод может использоваться для быстрой оценки показателя преломления камня, что часто бывает достаточно для выбора того или иного решения из двух возможных вариантов. С его помощью при тщательной и квалифицированной работе можно получить весьма точные данные. Минералоги довели эту методику до высокой степени совершенства.

Погружение образцов в жидкость исключительно полезно для обнаружения внутренних особенностей ограненных и неограненных камней, характера распределения их окраски и т. д. Тем, кто обрабатывает камни, настоятельно рекомендуется предварительно просмотреть их в жидкости, чтобы решить, стоит ли обрабатывать камень и каким образом при этом лучше всего его ориентировать.

### НОВЫЙ РЕФРАКТОМЕТР ДЛЯ КАМНЕЙ С ВЫСОКИМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

Как было отмечено выше, до последнего времени такой ценный прибор, как рефрактометр, используемый для измерения показателя преломления и двупреломления, применялся лишь для камней, показатель преломления которых был ниже 1,81. Этот предел был связан с используемой контактной жидкостью. Все жидкости с более высокими показателями преломления весьма ядовиты и вредны. Другим лимитирующим фактором являлся показатель преломления рабочей части прибора, однако это ограничение теперь преодолено, поскольку выпускаются прозрачные вещества с высоким показателем преломления.

В самый последний момент подготовки данной книги к изданию появилась интересная новинка в этой области. А. Крюсс, известный изготовитель приборов, начал производство рефрактометра «EP 602 Риплус», в котором призма сделана из титаната стронция ( $n_D = 2,48$ ), а трудности с контактной жидкостью преодолены путем использования расплава с высоким показателем преломления, что стало возможным благодаря электронагреву призмы.

Градуировка шкалы нового рефрактометра, который работает точно на таком же принципе, как и стандартные приборы, колеблется от 1,75 до 2,21.

Этот рефрактометр является ценным дополнением к нашим средствам быстрой и точной идентификации драгоценных камней.

## ДВУПРЕЛОМЛЕНИЕ И ДИСПЕРСИЯ

Рассматривая в предыдущей главе использование рефрактометра, мы упомянули о любопытном явлении — двупреломлении, характерном для всех минералов, за исключением тех, которые кристаллизуются в кубической сингонии. Это явление заключается в том, что луч света, проходящий через кристалл, расщепляется на два поляризованных луча, имеющих различную скорость. Поэтому у всех обычных ювелирных камней, за исключением гранатов, шпинели и алмаза, кристаллизующихся в кубической сингонии, наблюдается различие в показателях преломления указанных лучей. Каждому минералу свойственна своя степень различия благодаря чему двупреломление может служить важным критерием при определении камней.

В количественном выражении двупреломление представляет собой разность между максимальным и минимальным показателями преломления камня. Эти величины приведены в табл. 2.1, но для удобства некоторые из них повторены ниже (в порядке убывания значений):

Рутил	0,287	Сподумен	0,015
Кальцит	0,172	Кварц	0,009
Сфен	0,12	Хризоберилл	0,009
Циркон	0,059	Топаз	0,008
Хризолит	0,036	Корунд	0,008
Турмалин	0,018	Берилл	0,006

У некоторых минералов значения двупреломления меняются от образца к образцу; так, для наиболее популярных у ювелиров цирконов — голубого, золотистого (огненного) и бесцветного — двупреломление почти постоянно (0,059), тогда как у многих из цейлонских цирконов, особенно зеленых, оно значительно меньше и падает в некоторых случаях практически до нуля. Эта особенность циркона является уникальной и более подробно будет обсуждена в разделе, посвященном циркону. Синтетический рутил производится в США (с 1949 г.) и может быть легко определен по его очень высокому двупреломлению. Кальцит не относится к драгоценным камням, но играет (в виде оптически чистой формы — исландского шпата) важную роль в геммологических приборах.

Каким образом, кроме как на рефрактометре, можно определить, обладает ли камень двупреломлением? Наиболее простой способ, легко выполнимый после небольшой практики, заключается

ся во внимательном осмотре камня с помощью карманной 8X—12X лупы. Например, посмотрите на циркон с помощью лупы через площадку на ребра задних граней, где они сходятся в колете, наведя на них фокус. На стыке двух граней вместо *одной* четкой линии, как это наблюдается в случае камней, имеющих один по-

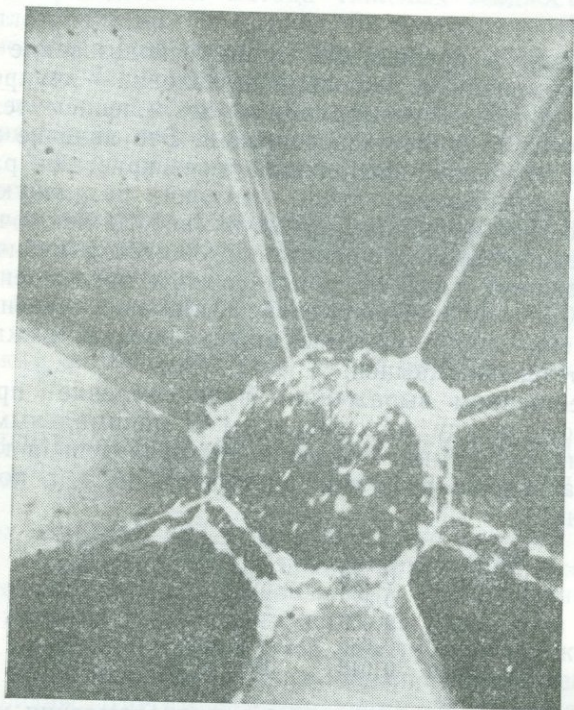


РИС. 3.1. Микрофотография циркона, снятая через площадку; видно раздвоение задних граней.

казатель преломления, таких, как алмаз, вы увидите *двойную* линию (рис. 3.1).

Следует, однако, иметь в виду, что вследствие особенностей кристаллической структуры все камни, обладающие двупреломлением, имеют одно или два направления, характеризующиеся лишь одним показателем преломления. У камней, которые относятся к тетрагональной, тригональной или гексагональной сингониям, существует только одно такое направление, т. е. одна так называемая оптическая ось. К минералам, которые считаются оптически одноосными, относятся циркон, корунд (рубин и сапфир), берилл (изумруд и аквамарин), турмалин и кварц (аметист и цитрин). Минералы, кристаллизующиеся в ромбической, моноклинной или

триклинной сингониях, имеют две оптические оси и называются двуосными. К ним относятся хризолит, хризоберилл (александрит), топаз, сподумен (кунцит) и т. д.

Следует поэтому учитывать, что если, скажем, циркон огранен так, что его оптическая ось проходит перпендикулярно площадке, необходимо наклонить камень, чтобы увидеть двупреломление через боковые грани. Кроме того, как отметил Р. Т. Лидди-коат, у одноосных минералов увидеть двупреломление (раздвоенные грани) в направлениях, перпендикулярных оптической оси (хотя оно в этом случае является максимальным), нельзя, поскольку изображение, даваемое необыкновенным лучом, располагается точно перед или за изображением, даваемым обыкновенным лучом.

У циркона, сфена и хризолита двупреломление настолько сильное, что и неспециалист без труда увидит описанный эффект даже в небольших камнях. Вместе с тем, чтобы заметить двупреломление в небольших образцах кварца или корунда, необходима большая практика. (Ж.-П. Пуаро, директор Парижской лаборатории диагностики драгоценных камней, сделал важное открытие, заметив, что для определенного значения двупреломления эффект раздвоения четче выражен у камней с низким показателем преломления, чем у камней с высоким показателем.) При освоении этого — как и любого другого — метода необходимы практика и настойчивость, и новичок, научившийся определять «легкие» камни, должен постоянно оттачивать свое мастерство и приобретать новые навыки в оценке двупреломления. Чем полнее мы овладеем возможностями карманной лупы, тем лучше. Даже если у кого-то имеются другие приборы, они, как правило, не могут быть использованы на аукционах или в других общественных местах. Но, конечно, микроскоп, дающий увеличение от  $25\times$  до  $60\times$ , более ценен, потому что при работе с ним легкость наблюдения сочетается с возможностью изучения более мелких деталей.

Если камень, обладающий двупреломлением, слишком мал или имеет низкое двупреломление и эффект «раздвоения» нельзя выявить с помощью лупы, его можно изучить другим простым, но более чувствительным способом. В прошлом его применяли независимо Макс Бауэр, Ж. О. Уилд, Ж. Кроунингшилд и Р. К. Митчелл. В последние годы этот способ был введен в повседневную практику визуального исследования камней Аланом Ходжкинсоном, который использует его с исключительным искусством и успехом.

Исследование с помощью этого метода лучше всего проводить в затененной комнате с одним источником света, будь то электролампа с С-образной нитью или, что более удобно, небольшой щелевой осветитель, подобный производимому фирмой «Ханнеман лэпидари специалтиз» (рис. 3.2). Если испытуемый камень достаточно большой или закреплен так, что открыт доступ к задним граням, его можно держать в руке. Маленькие камни удер-

живают пинцетом. Источник света наблюдают через площадку, держа образец как можно ближе к глазу. Наблюдение ведется полуприкрытым глазом, другой глаз закрыт. Когда камень расположен правильно, виден ряд изображений источника света, разложенных в спектр. Если камень обладает двупреломлением, эти изображения также раздвоены. Чем выше показатель преломления камня, тем дальше от центра поля зрения лежат указанные

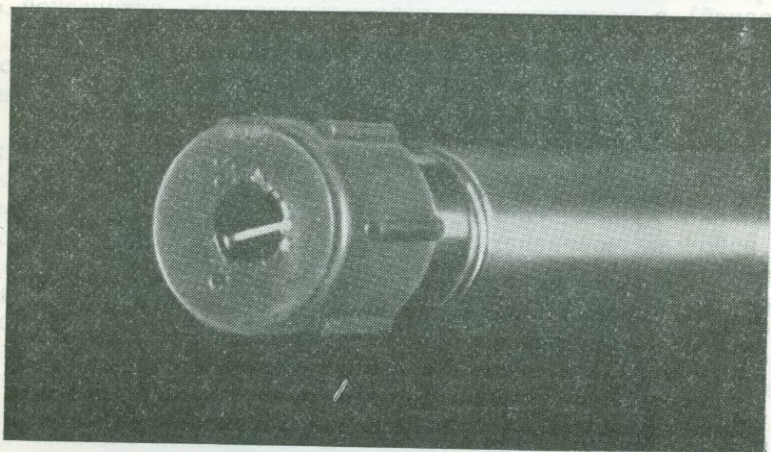


РИС. 3.2. Щелевой осветитель Ханнемана — Ходжкинсона.

изображения. У камней с высоким показателем преломления (циркон, алмаз и его современные имитации) изображения расположены так далеко от центра поля зрения, что видны лишь при небольшом наклоне камня. Рекомендуется попрактиковаться с большим ограненным образцом кварца, в котором изображения многочисленны и хорошо заметны.

Применяя этот простой способ, опытный геммолог может получить сведения не только о величине двупреломления (по расстоянию между раздвоенными изображениями источника света), но и о величине дисперсии (по ширине окрашенных полос) и показателе преломления камня.

Рекомендуемый прием при известном навыке очень ценен при определении любых ограненных камней в условиях, когда не может быть применен ни один из стандартных приборов.

Более чувствительным методом выявления двупреломления по сравнению с описанным выше является использование поляризованного света. Луч обыкновенного света, колеблющийся во всех возможных направлениях под прямым углом к направлению распространения луча, претерпевает изменения при прохождении через призму Николя или пластинку поляроида и становится поля-

ризованным. Невооруженным глазом отличить поляризованный свет от обычного невозможно, но тот факт, что он колеблется только в одной плоскости, придает ему особые свойства, имеющие большое значение для изучения минералов. Подробное описание методики применения поляризованного света выходит за рамки данной книги. Однако после того, как были получены пластинки поляроида — синтетического кристаллического вещества, пропускающего только поляризованный свет, такой свет стал доступен всем; поэтому здесь приводится краткое описание методики определения двупреломления с использованием поляризованного света. Тем, кто хотел бы получить более подробную информацию по этому вопросу, рекомендуем обратиться к любому хорошему учебнику минералогии.

Луч света, входящий в двупреломляющий минерал, как правило, расщепляется на два поляризованных луча, колеблющихся во взаимно перпендикулярных плоскостях. Скорости распространения этих лучей в кристалле различны и соответственно различно их преломление. В этой связи важно понять, что в двупреломляющих камнях могут распространяться только два типа лучей и что эти лучи колеблются перпендикулярно один другому в направлениях, которые жестко фиксированы ориентацией луча по отношению к структуре камня.

Луч света, который проходит через поляроидный диск (или призму Николя) и колеблется, скажем, в направлении север—юг, не может пройти через другой диск или призму, установленные под прямым углом к направлению его колебаний, т. е. в направлении запад—восток. Такая система, которая практически не пропускает свет, называется скрещенными николями или «скрещенными поляроидами». Если один из поляроидов или николей слегка повернуть, система начнет понемногу пропускать свет. При дальнейшем повороте поток света возрастает, пока не достигнет максимума при параллельном положении дисков (рис. 3.3).

Если между двумя скрещенными поляроидами поместить кусочек стекла, в поле зрения не произойдет никаких изменений: оно так и останется темным (при условии, что в стекле нет внутренних напряжений), так как стекло, будучи аморфным, не оказывает никакого влияния на направление колебания света, проходящего через первый диск. Когда же между поляроидами помещают двупреломляющий кристалл, картина меняется.

Если колебания лучей, проходящих через кристалл, не параллельны колебаниям лучей, проходящих через поляроиды, то через второй поляроид пройдет некоторое количество света.

Таким образом, поворот двупреломляющего камня между скрещенными поляроидами должен, как правило, давать за один полный оборот камня четыре положения погасания (при повороте на каждые  $90^\circ$ ) и четыре положения максимальной освещенности.

Это явление широко используется в минералогии для отличия однопреломляющих веществ от двупреломляющих. Стекло и минералы кубической сингонии, когда они находятся в напряженном состоянии, обнаруживают «аномальное» двупреломление между скрещенными николями, но этот эффект едва ли может быть принят за истинное двупреломление, поскольку в этом случае вместо четкого погасания по всему полю наблюдаются темные пятна или темная решетка. Аномальное двупреломление часто встречается у алмадина и алмазов. Природная шпинель обычно совершенно изотропна, но синтетическая всегда дает аномальные эффек-

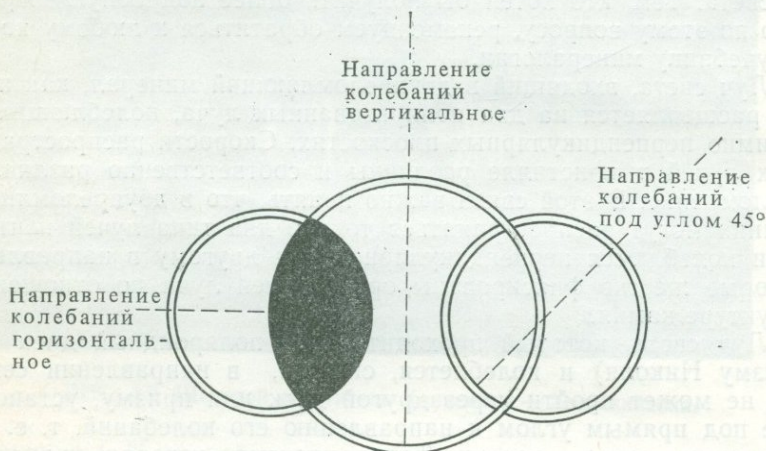


РИС. 3.3. Прохождение света через три различно ориентированные поляроидные пластинки (по данным фирмы «Х. С. Б. Микин»).

ты, в частности волнистое погасание, используемое при идентификации. Вследствие напряжений, которые возникают в пастах, применяемых для огранки, в процессе их формования, в готовых изделиях, помещенных между скрещенными поляроидами, в сходящемся свете часто наблюдается темный крест, что является очень характерным отличием изделий из паст от настоящих камней.

Несомненно, наиболее удобным и эффективным прибором для изучения этих явлений является поляризационный микроскоп с вращающимся столиком. Такой прибор дорог и едва ли нужен ювелиру. Его с успехом заменят обычный микроскоп и пара поляроидов. При этом один из дисков крепится под столиком, а второй надевается на окуляр и может поворачиваться, что дает возможность получить полное погасание перед началом определений. Двупреломление можно определить и без микроскопа путем применения поляроидов типа старомодных «турмалиновых щипцов».

Можно также закрепить поляриды на концах короткой трубки, имеющей посредине отверстие для установки камня.

Полярископ Рутланда, выпускаемый фирмой «Рейнер», является одним из наиболее дешевых и удобных из многих моделей серийных ручных полярископов с поляроидными дисками. Эта же



РИС. 3.4. Полярископ Рейнера с освещением снизу.

фирма производит полярископ со встроенным освещением (рис. 3.4), который мы настоятельно рекомендуем. У такого прибора пространство между скрещенными поляроидами достаточно большое, для того чтобы исследовать камни непосредственно в украшениях. Используя карманную лупу или ненапряженный стеклянный шарик, можно наблюдать характер фигур интерференции, зависящий от оптической природы камня (рис. 19.1).

Определив, обладает камень двупреломлением или нет, мы часто легко можем отличить настоящий камень от подделки. Стекла или пасты могут иметь локальные внутренние напряжения,

вызывающие заметное аномальное двупреломление (как отмечено выше), однако ни в одном из стекол или изотропных камней эти напряжения не в состоянии дать эффект «раздвоения», описанный выше. Поэтому читатель, освоивший этот метод, без труда отличит используемый как украшение настоящий хрустальный (кварцевый) шар (который, если он достаточно большой и свободен от внутренних дефектов, может стоить очень дорого) от дешевых, стеклянных шаров, повсеместно продаваемых как имитации. Если к обратной стороне хрустального шара прижать полоску бумаги и смотреть через шар, то в большинстве положений можно наблюдать двойное изображение края полоски. При вращении шара будет заметно, что эффект раздвоения больше всего выражен вначале на одной стороне полоски, а затем на другой, тогда как в одном из направлений шара (вдоль оптической оси исходного кристалла кварца) и вокруг «экватора», перпендикулярного к нему, никакого раздвоения не наблюдается. Если же имеют дело со стеклянным шаром, края полоски выглядят одинарными в любых направлениях. Небольшая практика дает для освоения этого метода больше, чем чтение, и стоит хотя бы один раз увидеть и понять эффект «раздвоения», чтобы в дальнейшем легко обнаруживать его, что имеет большое практическое значение при определении драгоценных камней.

Следует отметить, что, исследуя с помощью лупы коричневый или темно-зеленый турмалин или коричневый сфен, можно не увидеть ожидаемого раздвоения ребер задних граней. Причина заключается в том, что у этих камней один из двух лучей может быть полностью поглощен. Это — исключительно яркий пример эффекта, известного как *дихроизм*, который будет рассмотрен в следующей главе.

## ДИСПЕРСИЯ

В основе двупреломления лежит различие в показателях преломления кристалла в зависимости от направления колебания проходящего через него света, тогда как дисперсия обусловлена различиями в показателе преломления в зависимости от цвета (длины волны) применяемого освещения. Поскольку значения этих двух свойств в числовом выражении иногда довольно близки, новички нередко путают их. Однако двупреломление, если только оно не исключительно высокое, на внешний вид камня почти не влияет, но имеет очень большую ценность для диагностики камня. Дисперсия же, будучи основой «огня» ограненного камня, оказывает значительное влияние на внешний вид камня, но ее ценность для диагностики незначительна.

Степень двупреломления минерала практически не связана с его показателем преломления и очень сильно зависит от атомной структуры кристалла: карбонаты и нитраты, например, имеют до-

вольно низкие средние показатели светопреломления и очень высокое двупреломление. В то же время дисперсия (за некоторыми исключениями, как у алмаза) возрастает достаточно устойчиво с увеличением показателя преломления камня.

Поскольку речь идет о видимом свете, показатели преломления всех минералов постепенно растут от красного к фиолетовому концу спектра. Если нарисовать график, откладывая показатель преломления по оси ординат, а длину волны по оси абсцисс, то их соотношение будет выражено не прямой линией, а кривой, которая становится все круче по мере приближения к ультрафиолетовой области. Действительно, кривые дисперсии становятся бесконечно крутыми по мере того, как они приближаются к длине волны, при которой для рассматриваемого материала начинается основная полоса поглощения.

Твердые и жидкие материалы, обладающие наибольшей дисперсией, будут полностью поглощать свет сразу же за фиолетовым концом видимого спектра или в ближнем ультрафиолете, тогда как минералы с низкой дисперсией, например флюорит, кварц или чистый корунд, продолжают пропускать свет до 2000 Å, что делает их пригодными для изготовления спектрографов и других оптических приборов.

**Настольный спектрометр и измерение дисперсии.** Все значения показателя преломления, приведенные в книгах или таблицах, даны для желтого (натриевого) света с длиной волны 5893 Å, который повсеместно принят в качестве стандарта, и градуировка шкалы рефрактометра рассчитана на точную работу именно с этой длиной волны.

Выше неоднократно упоминалось об эффекте, обусловленном дисперсией, однако до сих пор ничего не было сказано о ее измерении. Это может быть сделано с помощью прибора, известного под названием настольного спектрометра или отражательного гониометра, и метода «минимального отклонения».

Настольный спектрометр состоит из горизонтального вращающегося столика с делениями в угловых градусах и сфокусированной на бесконечность зрительной трубы, окуляр которой снабжен крестом нитей и которая укреплена на расположенной в центре столика оси, являющейся одновременно и осью прибора. Труба может перемещаться по периметру столика (рис. 3.5), причем ее угловое положение может устанавливаться с точностью до одной минуты дуги.

Против зрительной трубы смонтирована другая, похожая на нее, но неподвижная труба — так называемый коллиматор с узкой регулируемой щелью на удаленном от центра конце. Щель находится в фокусе линзы, расположенной на ближнем к центру конце коллиматора, благодаря чему узкий пучок света, проходя через нее, превращается в поток параллельных лучей. При измерениях дисперсии, как правило, применяется угольная дуга или кварце-

вая лампа. Пары ртути дают серию ярких и равномерно распределенных по длине спектра линий, тогда как свет угольной дуги всегда содержит в желтой части спектра натриевый дублет, являющийся стандартным светом при измерениях показателей преломления. Если требуется свет иной длины волны, то свет от дуги может быть «модифицирован» солями лития или других элементов.

В центре градуированного столика расположена круглая вращающаяся платформа. На ней крепится призма (или камень, играющий роль призмы). Точную величину показателя преломления

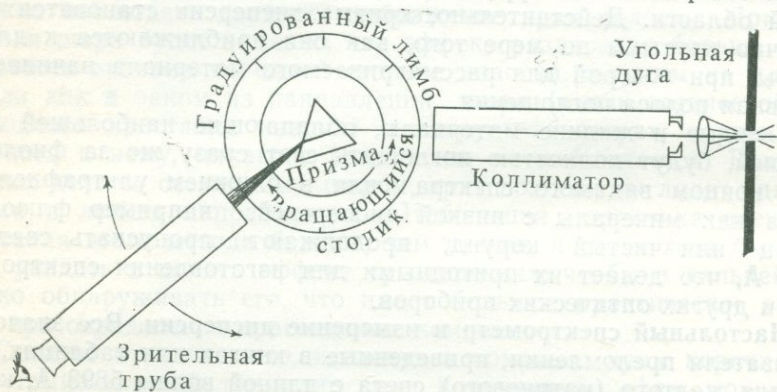


РИС. 3.5. Схема настольного спектрометра.

(скажем, до третьего знака после запятой) можно измерить только у образцов, совершенно прозрачных и имеющих плоские, хорошо отполированные грани, причем две из них (обычно площадка и один павильон) должны быть наклонены друг к другу под определенным углом (около  $40^\circ$ ) и играть роль призмы. Конечно, не обязательно, чтобы эти грани непосредственно прилегали одна к другой, но камни ступенчатой огранки, у которых фактически уже есть ребро призмы, гораздо легче устанавливать на приборе, чем камни бриллиантовой или смешанной огранки, у которых нет такого удобного для глаза ориентира. Наиболее трудная часть всей операции заключается в установке камня с помощью воска в центре платформы таким образом, чтобы грани, образующие преломляющую призму, расположились вдоль оси прибора строго вертикально. Тонкая регулировка положения образца выполняется посредством регулировочных винтов, которыми снабжена платформа, но грубая установка образца производится обычно вручную. Если все выполнено правильно, то измерение угла между выбранными гранями особого труда не составляет. Определяют положения зрительной трубы, при которых в нее попадает узкий пучок выходящего из коллиматора света после

отражения сначала от одной, а затем от другой из выбранных граней. Половина угла между ними и будет углом призмы.

Далее для центральной платформы с укрепленным на ней камнем находят такое положение, при котором пучок света из коллиматора преломлялся бы призмой, образованной двумя выбранными гранями, и выходил бы из нее уже в виде спектра, видимого в зрительную трубу. Затем платформу с призмой медленно поворачивают, наблюдая через трубу за движением спектра, до тех пор, пока не будет достигнуто основное положение «минимального отклонения» вначале для натриевой линии, всегда присутствующей в спектре угольной дуги, а потом для других линий известных длин волн, введенных дополнительно в этот спектр.

Полученные данные подставляют в формулу

$$n = \frac{\sin 1/2A + D}{\sin 1/2A},$$

где  $n$  — показатель преломления,  $A$  — угол призмы и  $D$  — угол минимального отклонения для данной конкретной длины волны.

Спектр, создаваемый камнем, играющим роль призмы, редко бывает совершенным, поскольку грани с совершенной оптической зеркальностью встречаются только у алмаза. Поэтому так важно вводить в пламя дуги вещества, дающие только несколько интенсивных линий в нужных областях спектра. Полезно иметь под рукой два вещества — мелкие обломки лепидолита и обычный мел. Их вводят в пламя дуги с помощью тигельных щипцов. При этом нужно пользоваться защитными очками, чтобы не повредить глаза ярким светом. Лепидолит легко плавится и дает интенсивный и устойчивый литиевый и натриевый спектры. Одна из подлежащих измерению линий является линией лития и лежит в красной части спектра при 6708 Å. Мел дает фиолетовую линию кальция (при 4227 Å). Разница показателей преломления камня для двух указанных длин волн принимается как характеристика дисперсии, которая почти совпадает со стандартным интервалом от 6867 до 4308 Å, соответствующим эталонным фраунгоферовым линиям В и G солнечного спектра. Линии В и G очень хорошо заметны, если используется солнечный свет. При работе с дуговым источником света ориентировка по этим линиям нецелесообразна. К тому же при измерении необходимо отсекал экраном прямой свет дуговой лампы; в противном случае невозможно заметить слабый отраженный сигнал, который требуется измерить. Свет, проходя через отверстие в экране, должен падать только на щель коллиматора, которая должна быть заподлицо с экраном. Сконцентрировать свет от дуговой лампы на щели можно с помощью линзы, укрепленной в регулируемом зажиме. Ее направляют таким образом, чтобы изображение пламени проецировалось на щель. Как и во всех подобных экспериментах, хорошие результаты получаются только при условии тщательной юстировки оптической системы.

Как показывает приведенное выше краткое описание, метод минимального отклонения является очень трудоемким, что ограничивает его практическую ценность для геммолога средней квалификации. При наличии специально изготовленных призм точность этого метода может достигать четвертого знака после запятой. Перестает существовать и верхний предел измерений показателей преломления при условии, что угол призмы не более чем в два раза превышает критический угол для данного камня. У ограниченных без предварительной ориентировки одноосных минералов истинную величину показателя преломления можно получить лишь для обыкновенного луча; для двусных минералов наблюдаемые величины могут иметь любые промежуточные значения между максимальным и минимальным показателями преломления.

Следует, пожалуй, добавить, что этот метод позволяет очень удобно и точно измерить показатели преломления и дисперсии иммерсионных жидкостей. Для этого необходима лишь полая стеклянная призма с плоскими хорошо отполированными гранями — емкость для исследуемой жидкости.

Именно этим методом были получены величины дисперсии, приводимые теперь во всех учебниках. В практической геммологии измерение дисперсии как средство диагностики камней используется редко, поскольку существуют значительно более простые методы определения драгоценных камней.

Важно знать, что на рефрактометре нельзя получить истинное значение показателя преломления камня, если не применять натриевый свет, по которому градуирован прибор. Положение границы полного внутреннего отражения зависит от критического угла между материалом, из которого сделана призма рефрактометра, и исследуемым камнем; если дисперсии этих двух сред неодинаковы, угол будет меняться для каждой длины световой волны. В стандартных приборах дисперсия стекла призмы гораздо выше дисперсии любого из камней. Это приводит к любопытному результату: показатель, измеренный в красном свете, оказывается выше показателя, измеренного в фиолетовом свете, — явление, противоположное тому, которое должно было бы наблюдаться в действительности. Кроме того, при использовании белого света камни с низкой дисперсией дают широкую радужную полосу вместо четкой границы на шкале рефрактометра; граница же затененной области от свинцового стекла (пасты) будет выражена довольно четко, поскольку его дисперсия близка к дисперсии стекла призмы. По этой же причине граница полного внутреннего отражения от контактной жидкости также практически не окрашена. При использовании шпинелевого рефрактометра наблюдается обратная картина. Дисперсия камней, показатель преломления которых не превышает показатель преломления шпинели, обычно лишь немного ниже дисперсии синтетической шпинели (0,021) —

материала призмы прибора. Поэтому при освещении белым светом такие камни обнаруживают четкие неокрашенные границы затенения, а граница затенения от свинцового стекла имеет довольно широкую радужную окантовку. Такую же картину на шкале прибора дают контактные жидкости, например бромнафталин.

В повседневной практике четкие различия в характере границ полного внутреннего отражения от стекол с показателями преломления в интервале от 1,60 до 1,70, с одной стороны, и от камней с такими же показателями преломления, с другой—являются тем редким случаем, когда различия в дисперсии могут служить дополнительным диагностическим критерием, так как камни с показателями преломления в пределах шкалы рефрактометра имеют очень близкие значения дисперсии. Опытный геммолог, однако, сразу заметит, что турмалин на шпинелевом рефрактометре дает гораздо более резкую границу, чем топаз, из-за аномально низкой дисперсии последнего.

Если данные о величине дисперсии какого-либо редкого драгоценного камня (например, бразилианита) в литературе отсутствуют, можно восполнить этот пробел с помощью рефрактометра, используя свет, пропущенный через подходящие цветные фильтры (например, красный и синий). Разница между показаниями рефрактометра, полученными с красным и синим светом, не дает непосредственно величину дисперсии, как это было описано выше. Однако, сопоставив ее с величинами, характерными для камней с известной дисперсией, можно определить и неизвестную дисперсию изучаемого камня.

В геммологических исследованиях дисперсия количественно оценивается редко, однако влияние ее на внешний вид ограничен-

Таблица 3.1

ДИСПЕРСИЯ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ ДЛЯ ЛИНИИ В И G  
ВИДИМОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА

Синтетический рутил	0,30	Хризолит	0,020
Титанат стронция	0,19	Корунд	0,018
Сфалерит	0,156	Сподумен	0,017
Касситерит	0,071	Турмалин	0,017
Демантоид	0,057	Скаполит	0,017
Сфен	0,051	Данбурит	0,016
Алмаз	0,044	Хризоберилл	0,015
Бенигоит	0,044	Фенакит	0,015
Циркон	0,039	Топаз	0,014
Паста (1,635)	0,031	Берилл	0,013
Иттрий-алюминиевый гранат	0,028	Кварц	0,013
Спессартин	0,027	Полевой шпат	0,012
Шеелит	0,026	Бериллонит	0,010
Альмандин	0,024	Кварцевое стекло	0,010
Пироп	0,022	Флюорит	0,007
Шпинель	0,020		

ных камней может играть очень важную роль при их определении. В особенности это справедливо для бесцветных камней. Например, именно дисперсия дает возможность отличать титанат стронция и синтетический рутил от алмаза. В рутиле цветовые эффекты настолько сильно выражены, что камень становится очень похожим на опал. Отличить титанат стронция от алмаза с полной гарантией может только геммолог достаточно высокой квалификации. В таких случаях особую ценность имеют эталонные образцы титаната. Они позволяют провести непосредственное сравнение определяемых камней.

Даже в окрашенных камнях, например демантоиде, сфене, редком и прекрасном бенитоите, живая игра — результат высокой дисперсии — значительно увеличивает их привлекательность и позволяет опытному глазу уверенно отличать их от других камней такого же цвета, но имеющих более низкую дисперсию. У двупреломляющих камней различные лучи могут дать различную степень дисперсии. Для этих случаев в табл. 3.1 приводится максимальная ее величина.

Камни	Максимальная дисперсия
Алмаз	0,044
Сфен	0,031
Алмаз усложненный	0,027
Бенитоид	0,027
Демантоид	0,027
Титанат стронция	0,027
Титанат кальция	0,027
Титанат бария	0,027
Титанат циркония	0,027
Титанат магния	0,027
Титанат ниобия	0,027
Титанат тантала	0,027
Титанат ванадия	0,027
Титанат хрома	0,027
Титанат железа	0,027
Титанат марганца	0,027
Титанат кобальта	0,027
Титанат никеля	0,027
Титанат меди	0,027
Титанат цинка	0,027
Титанат кадмия	0,027
Титанат свинца	0,027
Титанат бария	0,027
Титанат стронция	0,027
Титанат кальция	0,027
Титанат магния	0,027
Титанат ниобия	0,027
Титанат тантала	0,027
Титанат ванадия	0,027
Титанат хрома	0,027
Титанат железа	0,027
Титанат марганца	0,027
Титанат кобальта	0,027
Титанат никеля	0,027
Титанат меди	0,027
Титанат цинка	0,027
Титанат кадмия	0,027
Титанат свинца	0,027

## ЦВЕТ, ЦВЕТНЫЕ ФИЛЬТРЫ И ДИХРОСКОП

Красота и популярность драгоценных камней в значительной степени обусловлены их цветом. Именно цвет бирюзы и лазурита сделал их первыми из камней, которые стали предметом вожделения человека на заре цивилизации, и именно благодаря замечательному красному цвету рубина, глубокому васильковому цвету лучших сапфиров и яркому зеленому цвету изумруда (в сочетании с их прозрачностью, твердостью и редкостью) эти камни всегда считались самыми дорогими. Лишь для алмаза, уникального как в этом, так и во многих других отношениях, полное отсутствие цвета рассматривалось как эталон совершенства.

Тем, кто не знаком с геммологией, трудно вообразить, что окраска большинства минералов, используемых как драгоценные камни, может быть представлена широкой гаммой цветов и что в «чистом» виде эти минералы были бы совершенно бесцветны и потому имели бы сравнительно низкую ценность. Рубин и сапфир представляют собой красную и синюю разновидности минерала корунда, но существуют также белые, желтые, розовые и зеленые сапфиры. Изумруд и аквамарин — густо-зеленая и бледно-голубая разновидности берилла, однако известны белые, розовые и желтые бериллы, равно как и бериллы зеленого цвета, не попадающие, однако, в разряд изумрудов. Турмалин, кварц, циркон и топаз могут служить еще одним примером таких полихромных минералов; турмалин замечателен тем, что у него полихромность нередко наблюдается в одном кристалле, причем границы между цветами (обычно зеленым и розовым) проявляются довольно резко или по длине кристалла, или по концентрическим зонам.

Полихромность этих минералов объясняется тем, что только очень немногие (точнее, восемь) элементы придают окраску минералам и что присутствие их даже в виде следов в бесцветных по своей природе кристаллах приводит к появлению разных окрасок. Более подробно о значении этих «переходных» элементов будет сказано в гл. 8 при описании спектроскопа.

Существует много красных, синих и зеленых драгоценных камней, но только некоторые из них близки к рубину, сапфиру и изумруду по богатству оттенков, и только натренированный глаз эксперта способен отличить их от других природных камней, имитаций из стекла и от их синтетических аналогов. Для начинающего геммолога необходимо использовать любую возможность для практики в визуальном определении различных драгоценных камней,

обращая при этом особое внимание на особенности оттенков цвета, типичные для каждого из минералов.

В том случае, когда даже опытному глазу трудно различить разные, но очень близкие по цвету камни, для «анализа» цвета применяются некоторые несложные приборы, упрощающие эту процедуру. То, что мы называем белым светом, т. е. светом от Солнца или других светящихся тел, в действительности представляет собой смесь всех цветов радуги. В 1666 г., известном как год Большого Лондонского пожара, Ньютон, анализируя с помощью стеклянной призмы узкий пучок света, проникающего через щель в занавеске в его затемненную комнату, впервые увидел, что солнечный свет имеет сложную природу.

Падая под углом на границу прозрачного твердого тела, свет различно преломляется в зависимости от длины волны; красные лучи, имеющие большую длину волны, отклоняются меньше, чем фиолетовые, имеющие меньшую длину волны. При прохождении через призму лучи, различно отклоняясь от прежнего направления, разделяются и на экране видны в виде перекрывающихся пятен чистых цветов (так называемая спектральная полоса) — красного, оранжевого, желтого, зеленого, синего и фиолетового, плавно переходящих один в другой.

Камни кажутся глазу окрашенными просто потому, что они поглощают часть проходящего через них белого света; некоторые длины волн (цвета) поглощаются сильнее других. Это явление называется предпочтительным поглощением. Наименее поглощаемые цвета достигают нашего глаза и вызывают ощущение цвета камня. Наблюдаемый нами цвет входил в состав первоначального белого света, а не был создан камнем, который просто поглотил из белого света цвета, дополнительные к тем, которые мы видим. Известно и то, что два камня могут поглотить из белого света совершенно разные наборы длин волн и тем не менее казаться невооруженному глазу одинаковыми по цвету. Поэтому только с помощью приборов можно установить, что так называемая средняя эффективная длина волны непоглощенных участков спектра действительно одинакова для каждого из камней.

Спектроскоп (с помощью которого свет анализируется тем же способом, как и в первоначальном эксперименте Ньютона) в большинстве случаев позволяет обнаружить это различие в двух одинаковых цветах, что способствует быстрой идентификации цветных камней. Подробности, касающиеся использования этого ценного прибора, сообщаются в гл. 8.

### ЦВЕТНОЙ ФИЛЬТР ЧЕЛСИ

Простым и очень хорошим средством выявления не заметных на глаз различий в цвете камня могут служить цветные фильтры. Они позволяют отличать изумруд от его имитаций.

Изумруд — почти единственный камень среди зеленых камней (и стекол), который пропускает значительную часть красного цвета спектра и поглощает в некоторой степени его желто-зеленую область. Если его рассматривать через фильтр, пропускающий только темно-красный и желто-зеленый свет, то он выглядит красным, тогда как практически все имитации или природные камни, похожие по цвету на изумруд, кажутся через фильтр зелеными. Выпускалось много типов таких фильтров, из которых наибольшее распространение получил фильтр Челси, разработанный Лондонской диагностической лабораторией (при Лондонской торговой палате) совместно с Политехническим колледжем Челси. Кроме определения изумрудов фильтр Челси применим и для решения других задач, однако если геммолог не знает всех возможностей этого фильтра, он может прийти к неправильному выводу. Так, иногда признак «красный через фильтр» является сигналом опасности, в других случаях, наоборот, это положительный сигнал. Ниже даны практические рекомендации, которые могут быть полезны в работе.

*Зеленые камни.* Большинство изумрудов, как уже было отмечено выше, выглядят через фильтр красными, варьируя по оттенкам от яркого рубиново-красного для сочных камней до бледно-розового для более бледных изумрудов. Самыми красными из всех являются некоторые синтетические камни. Некоторые изумруды, в особенности южноафриканские и индийские, практически не изменяют свой цвет. С другой стороны, зеленые стекла, имитирующие изумруд, большинство зеленых дублетов, зеленый турмалин, а также зеленый жадеит сохраняют зеленоватый цвет при наблюдении через фильтр. Демантоид и зеленый циркон дают розоватый цвет, как и окрашенный зеленый халцедон, однако они и без того сильно отличаются по внешнему виду от изумруда, чтобы их можно было принять за изумруд. К сожалению, отчетливо красными выглядят некоторые типы изумрудных триплетов; кроме того, красноватый оттенок может проявиться у изумрудно-зеленого флюорита.

*Синие камни.* Материалы, окрашенные в синий цвет кобальтом, пропускают много красных лучей и через фильтр выглядят красными. Поэтому голубые синтетические шпинели и синие кобальтовые стекла кажутся красными. Это позволяет быстро отличить их с помощью фильтра от сапфира, аквамарина или голубого циркона, имеющих грязно-зеленый цвет. Следует, однако, отметить, что многие цейлонские сапфиры содержат следы окиси хрома; они выглядят пурпурными при искусственном освещении и красноватыми через фильтр Челси. Природные синие шпинели также обладают красноватым оттенком, но ни в одном из этих природных минералов цвет не приближается к насыщенному яр-

ко-красному цвету, характерному для синей синтетической шпнели.

*Красные камни.* В этом случае фильтр Челси не может оказать существенной помощи; укажем только на наблюдаемую через него ярко-красную окраску бирманских и синтетических рубинов. Ни у одного другого красного камня этот эффект не проявляется в такой степени.

Для достижения наилучших результатов при работе с фильтром Челси необходимо держать камень вблизи яркой лампы накаливания, а фильтр поднести близко к глазам, чтобы яркий свет лампы не мешал наблюдению.

## ДИХРОИЗМ И ДИХРОСКОП

Цвет камня может отличаться по характеру от описанного выше. Почти во всех двупреломляющих цветных камнях имеются *два различно окрашенных луча*, которые одновременно достигают нашего глаза, смешиваясь друг с другом. Двупреломление камня означает в общем то, что лучи, прошедшие через него в каком-либо направлении, разделяются на два, каждый из которых колеблется в плоскости, перпендикулярной другому лучу. Эти лучи не только распространяются с различными скоростями, но, как правило, *поглощаются различно*. Это явление называется дихроизмом («эффектом двух цветов») или, в более общем случае, плеохроизмом (эффектом многих цветов), поскольку некоторые камни могут характеризоваться в различных направлениях тремя разными цветами, хотя в одном направлении видны всегда только два цвета.

Описываемый эффект заметить невооруженным глазом обычно невозможно, за исключением сильно дихроичных камней, оттенков которых меняется при их повороте в соответствии с изменением направления света, проходящего через кристалл.

Чтобы наблюдать *оба цвета одновременно*, применяется небольшой простой прибор, называемый дихроскопом. Он представляет собой трубку с окном на одном конце и линзой на другом, между которыми помещается кусочек кальцита таким образом, чтобы он создавал (вследствие своего сильного двупреломления) два рядом лежащих изображения окна, наблюдаемых через окуляр. Теперь свет двух таких сопряженных изображений окна колеблется в разных плоскостях, причем колебания для одного изображения перпендикулярны колебаниям для другого.

Если камень расположить перед окном дихроскопа так, чтобы свет, проходящий через него, попадал в окно прибора, то через окуляр будут видны два окна, окрашенные в цвета поляризованных лучей, идущих из камня (рис. 4.1).

Обычно это просто два различных по интенсивности оттенка одного и того же цвета. Например, для сапфира, как правило, в окнах видны темно-синий и светло-синий цвета, однако у некоторых камней наблюдается удивительная разница в цветах. Например, в уральском александрите при повороте камня перед окном дихроскопа можно видеть пурпурный, зеленый и оранжевый цвета (по два одновременно).

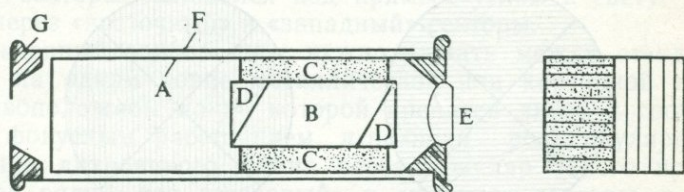


РИС. 4.1. Схема дихроскопа. А — металлическая трубка с ромбом оптического кальцита В, закрепленным с помощью пробковой оправы С, и окуляром Е. D — приклеенные к кальциту стеклянные призмы (служат для улучшения изображения). Трубка А скользит в трубке F с прямоугольным окном G. Справа — изображение окна дихроскопа, как оно видно через окуляр.

Вращение камня — важный фактор при определении дихроизма. Во всех двупреломляющих камнях имеется одно или два направления, известные как оптические оси, вдоль которых никакого дихроизма нет. Это явление общеизвестно, но не все знают, что и в других направлениях дихроизм может не наблюдаться, если направления колебаний двух изображений окна случайно окажутся под углом  $45^\circ$  к лучам, выходящим из камня.

Важно также помнить, что дихроизм свойствен только двупреломляющим камням; у стекол же и у изотропных минералов он отсутствует. Таким образом, мы располагаем еще одной возможностью определения двупреломления (см. гл. 3). Дихроскоп позволяет отличить рубин от красной шпинели и граната, синюю шпинель от синего турмалина такого же оттенка, сапфир от синей синтетической шпинели и т. д. Таблицы дихроичных цветов камней приведены в различных книгах, однако даже в камнях одного вида этот эффект сильно варьирует, поэтому его лучше всего изучать на практике, в том случае, когда различия в оттенке слабы, трудно быть уверенным в наличии дихроизма.

Наблюдать дихроизм лучше всего в дневном свете. Держите камень пинцетом против света в левой руке, а дихроскоп — в правой так, как будто вы наблюдаете камень через короткофокусную лупу. Окно прибора небольшое, и начинающим довольно трудно расположить камень точно перед ним и в то же время обеспечить прохождение максимального количества света, необходимого для наблюдения дихроизма. Окуляр большинства дихроскопов снабжен линзой, позволяющей видеть слегка увеличен-

ные изображения камня в каждом из двух изображений окна. Как правило, только одна или две грани пропускают столько света, чтобы можно было видеть цвет, однако достаточно даже небольшого пятна, чтобы можно было сравнить два оттенка и наблюдать различие в цвете.

Как уже отмечалось выше, камень необходимо рассматривать в различных положениях, чтобы добиться наилучшего эффекта.

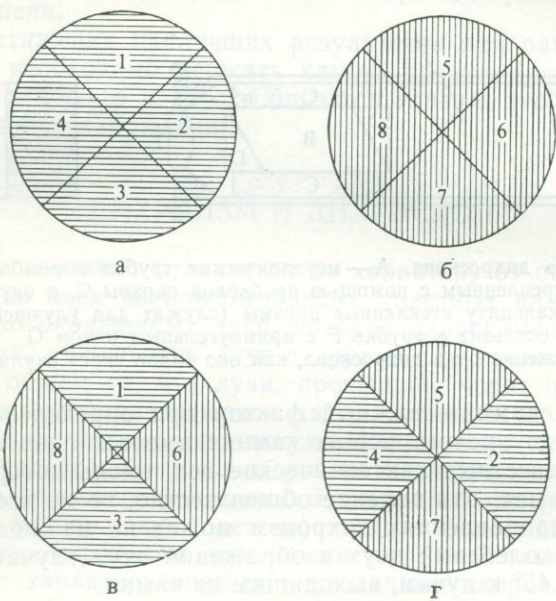


РИС. 4.2. Схема изготовления полярископа из поляроидной пленки: поляроидные диски разрезаны лезвием безопасной бритвы (а и б) и вновь соединены (в и г). Составной диск укрепляется на конце трубки, снабженной окуляром.

В правильно ограненных рубинах, в которых оптическая ось ориентирована перпендикулярно площадке камня с целью получения наилучшего цвета, при наблюдении через площадку заметен лишь очень слабый дихроизм. В синтетическом рубине, который редко гранится правильно, дихроизм при наблюдении через площадку обычно заметен очень сильно. Это связано с особенностями роста кристаллов, полученных методом Вернейля.

Более дорогие модели дихроскопов снабжены держателем, предназначенным для фиксации камня и его вращения перед окном прибора. Это облегчает наблюдение, но, конечно, не имеет существенного значения для получения хороших результатов.

Если вы располагаете куском исландского шпата размером 25 мм или больше, вы можете сами сделать дихроскоп, наклеив кусок черной бумаги на одну из сторон камня и прорезав небольшое отверстие в ней. Единственная трудность заключается в

выборе такого размера отверстия, чтобы два изображения, обусловленные двупреломлением шпата, располагались в непосредственной близости друг от друга.

Хорошие дихроскопы могут быть также изготовлены из поляроидной пленки. В одной из рекомендаций предлагается разрезать два диска из этого материала (с помощью лезвия безопасной бритвы) на секторы, как показано на рис. 4.2, а затем соединить их таким образом, чтобы свет, проходящий через «северный» и «южный» секторы, колебался под прямым углом к свету, проходящему через «восточный» и «западный» секторы.

Составленный заново диск нужно зажать между стеклами и укрепить на одном конце металлической или картонной трубки, на противоположном конце которой крепится линза с соответствующим фокусным расстоянием, играющая роль окуляра. При наблюдении дихроичного камня через окуляр такого простого устройства видно, что «северный» и «южный» секторы, с одной стороны, и «западный» и «восточный», с другой — окрашены в различные оттенки из-за различных направлений колебаний света, проходящего в этих секторах.

Замечательные эффекты дихроизма можно наблюдать у таких довольно редких камней, как фиолетово-синий иолит, зеленый андалузит, голубой апатит, сфен и бенитоит. К более известным камням, имеющим сильный или явно выраженный дихроизм, относятся рубин, сапфир, александрит, большинство турмалинов, кунцит, аквамарин и голубой циркон. Наиболее эффектные цветовые контрасты дает фиолетово-синяя разновидность цоизита, известная под названием «танзанит»; она является одним из наиболее важных добавлений (1967 г.) к списку цветных камней. В хорошем кристалле танзанита через дихроскоп можно видеть попарно темно-синий, пурпурно-красный и бледно-зеленый цвета. Эффект, свойственный природному камню, часто ослабляется в результате нагревания его после огранки с целью изменения цвета. В некоторых камнях при их повороте и наблюдении в различных направлениях заметно изменение цвета камня невооруженным глазом, и эту способность определять дихроизм путем непосредственного наблюдения необходимо всемерно развивать.

Дихроскоп дает более интересные сведения, если известны направления колебаний света для каждого изображения окна. Их легко установить экспериментально и отметить раз и навсегда на ободке окуляра. Один из методов определения направления колебаний — наблюдение через дихроскоп света, отраженного от полированной поверхности стола. Такой свет почти нацело поляризован, и его колебания направлены параллельно отражающей плоскости. Более яркое окно дихроскопа соответствует лучам, колеблющимся параллельно поверхности стола, тогда как направление колебаний лучей, идущих из более темного изображения окна, перпендикулярно поверхности стола.

## УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Каждый ювелир по опыту знает, что некоторые камни «на вес» тяжелее, чем другие. Так, например, бесцветный циркон весит больше, чем алмаз такого же размера, а сапфир больше, чем изумруд. Ученые уже давно научились выражать это качество количественно, и это играет большую роль при распознавании веществ. В качестве стандарта была использована вода, и вес каждого вещества сравнивался с весом равного объема чистой воды. Полученное в результате такого сравнения число называется удельным весом, или относительной плотностью вещества. Таким образом, удельный вес тела есть отношение его веса к весу чистой воды равного объема. Для получения точных данных в качестве стандарта используется вода при температуре  $4^{\circ}\text{C}$ .

Итак, когда мы говорим, что удельный вес алюминия составляет 2,7, а рубина 4,0, мы имеем в виду, что при одинаковых объемах алюминий весит в 2,7, а рубин в 4 раза больше, чем вода.

Материалы, используемые в ювелирном деле, имеют очень широкий диапазон плотности — от 1,08 у янтаря до 21,5 у платины.

В конце главы приведена таблица удельных весов веществ (табл. 5.1), имеющих наибольшее значение в ювелирном деле. Если эту характеристику можно легко определить (а это действительно так), то нетрудно отличить один вид камня от другого.

Если определяемый камень может быть высвобожден из оправы (что на практике, однако, удается сделать далеко не всегда), то этот метод применим в любом случае — необработанного или ограненного камня, кабошона или резного, крупного или маленького; плотность камня может быть определена тем или иным способом без применения дорогой аппаратуры.

Выражение «без применения дорогой аппаратуры» предполагает, что каждый ювелир имеет хорошие весы для взвешивания алмазов. Для достижения высокой точности при определении удельного веса первым методом, описанным ниже, весы и разновес должны быть в полном порядке.

Весы, показанные на рис. 5.1 (при пользовании которыми на правую чашку кладут гирьки весом от 1 карата и более, а на левую чашку — взвешиваемые камни; доли карата с точностью до  $\frac{1}{100}$  карата определяют путем передвижения грузика вдоль верхнего градуированного коромысла весов), современным ювелирам и торговцам алмазами могут показаться старомодными, поскольку за последние двадцать лет они были почти всюду вытеснены

более удобными «электронными» или «апериодическими» весами. При взвешивании на таких весах камней, по крайней мере до 100 каратов, их вес в каратах определяется путем вращения калиброванного барабана. Любые доли карата, превышающие целое значение, моментально могут быть считаны с освещенной шкалы. При этом отпадает необходимость в длительной процедуре

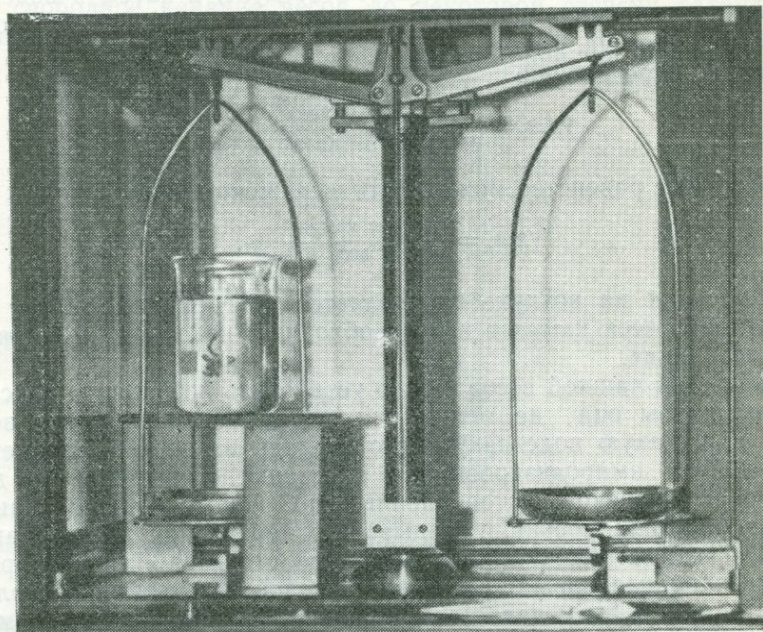


РИС. 5.1. Весы для определения удельного веса камней методом гидростатического взвешивания.

уравновешивания чашек весов. Если читатель имеет возможность пользоваться такими весами, тем для него лучше. Но и весы старых типов до сих пор еще применяются в школах и колледжах, и они вполне пригодны для домашних лабораторий, оборудование которых не должно быть дорогостоящим. Тем, кому весы необходимы только для определения удельного веса, мы рекомендуем весы Ханнемана, описанные ниже.

### ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ МЕТОД

Хорошие алмазные весы легко могут быть приспособлены для измерения плотности камней по методу, предложенному около 250 лет до н. э. греческим математиком Архимедом и известному

как «принцип Архимеда». Его суть состоит в следующем: тело, погруженное в жидкость, выталкивается этой жидкостью с силой, равной весу вытесненной жидкости. Это означает, что если, скажем, подвешенный камень опущен в воду, то он потеряет в весе столько, сколько весит вытесненная им вода. Очевидно, что камень вытесняет объем воды, равный его собственному, и, таким образом, взвесив камень сначала на воздухе, а затем в воде, мы получим все данные, необходимые для расчета его удельного веса (сокращенно уд. в.).

Так, по определению

$$\text{уд.в.} = \frac{\text{вес камня}}{\text{вес равного объема воды}} \cdot$$

Последнее равенство может быть выражено в виде

$$\text{уд.в.} = \frac{\text{вес камня}}{\text{потеря веса в воде}} \cdot$$

Вес камня на воздухе определяется обычным способом. Для определения веса камня в воде необходимы некоторые несложные приспособления.

Над левой чашкой весов нужно установить небольшую подставку так, чтобы она не мешала колебаниям коромысла весов (рис. 5.1). Такую подставку легко сделать из дерева или металла. Удобная импровизированная подставка получается из двух спичечных коробков, установленных по обеим сторонам чашки, на которые, как мостик, укладывается деревянная рейка, например 15-сантиметровая линейка. На нее ставится лабораторный стакан, наполненный на три четверти водой. Из медной проволоки диаметром 1—1,5 мм делается спиральная чашка, в которую можно положить камень любого размера от 2 до 30 каратов. Чашка с камнем подвешивается на нижний крючок коромысла с помощью более тонкой медной, латунной и вольфрамовой проволоки с таким расчетом, чтобы она была погружена в воду, но не касалась дна стакана. Если отдельную подвеску из тонкой проволоки сделать почему-либо не удастся, можно изготовить подвеску вместе с чашкой из латунной проволоки диаметром 0,5 мм (рис. 5.2). Применение более толстой проволоки для изготовления подвески снижает точность измерений, поэтому желательно использовать проволоку потоньше. Больше всего для этой цели подходит вольфрамовая проволока диаметром 0,05 мм.

Теперь все готово для взвешивания.

Сначала камень должен быть очень точно взвешен обычным способом, если возможно, то до третьего знака после запятой (в каратах). Затем, установив подставку в стаканчик с водой, как описано выше, камень опускают в спиральную чашку, подвешивают в воде и в таком положении его взвешивают. Сделав это, камень убирают и отдельно взвешивают погруженную в воду

спиральную чашку. Полученный вес вычитают из общего веса камня и чашки в воде. Теперь мы имеем все данные, необходимые для определения удельного веса по приведенной выше формуле. По-видимому, спиральную чашку лучше погрузить в воду на все время взвешивания и в таком положении уравновесить. В этом случае отпадает необходимость отдельно взвешивать чашку, однако свободное качание весов до некоторой степени затрудняет взвешивание на воздухе.

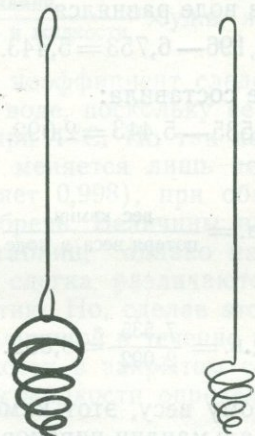


РИС. 5.2. Спиральные держатели из проволоки, в которые укладывают камни при определении удельного веса методом гидростатического взвешивания.

При взвешивании нужно следить, чтобы ни на проволоке, ни на камне при погружении их в воду не было воздушных пузырьков. Тут может быть полезна акварельная кисть из верблюжьего волоса. Погрузите спиральную чашку в воду. Кисточку намочите, стряхните с нее воду, чтобы между волосками не остался воздух, и проведите ею по спиральной чашке перед подвешиванием ее к коромыслу весов, пока на ней не останется пузырьков. Если камень сначала тщательно смочить водой и потереть пальцами, то при помещении его в спиральную чашку пузырьки на нем, как правило, не образуются. Если же пузырек все-таки появился, то его удаляют с помощью кисточки. Присутствие при взвешивании нескольких воздушных пузырьков может привести к изменению веса на несколько сотых карата, т. е. значительно снизить точность измерений. Конечно, если бы пузырьки неизменно сохранялись на спиральной чашке в течение всего эксперимента, они не влияли бы на точность измерения, но поскольку нет никакой гарантии, что это будет именно так, то их присутствие нежелательно. При этом лучше пользоваться дистиллированной или охлажденной кипяченой водой.

Ниже приведен конкретный пример определения удельного веса. Красный камень весом 7,535 карата на основании его цвета и отсутствия дихроизма посчитали гранатом. Рефрактометра не было, и для проверки решили определить удельный вес камня только что описанным способом (он называется методом гидростатического взвешивания).

Вес спиральной чашки с камнем, погруженным в воду, составил 12,196 карата, а вес пустой чашки в воде — 6,753 карата. Таким образом, вес камня в воде равнялся

$$12,196 - 6,753 = 5,443.$$

Потеря веса камня в воде составила:

$$7,535 - 5,443 = 2,092.$$

По формуле

$$\text{уд.в.} = \frac{\text{вес камня}}{\text{потеря веса в воде}}$$

мы имеем

$$\text{уд.в.} = \frac{7,535}{2,092} = 3,602.$$

Итак, судя по удельному весу, этот камень не гранат, а красная шпинель, поскольку альмандин-пироповый гранат имеет плотность около 3,80.

Результаты, получаемые методом гидростатического взвешивания, менее точны для мелких камней, чем для крупных, а если сравнивать камни одинакового веса, то для камней с большей плотностью, поскольку их объем меньше. Легко рассчитать, как скажется на окончательном результате даже небольшая ошибка при взвешивании в воде. Предположим, что мы определяем плотность двух сиамских рубинов, один весом 8 каратов, другой весом 1 карат, причем истинная плотность обоих камней точно равна 4,00. При одинаковой погрешности порядка 0,01 карата при взвешивании в воде окончательный результат будет составлять 4,020 для большого камня, что вполне допустимо для его идентификации, и 4,16 для меньшего камня, а этого уже достаточно для того, чтобы прийти к заключению, что камень является альмандином, а не рубином.

При гидростатическом взвешивании в воде ошибка в 0,01 карата вполне возможна из-за поверхностного натяжения воды, которое, воздействуя на подвеску, нарушает равновесие весов. Для снижения этого эффекта следует применять очень тонкую проволоку. Образование мелких пузырьков на проволоке или камне также является результатом высокого поверхностного натяжения. Таким образом, для получения как можно более точных результатов при взвешивании мелких камней (менее 3 каратов)

мы советуем использовать не воду, а некоторые другие жидкости с более низким поверхностным натяжением. Для этой цели может быть рекомендован толуол — стабильная и сравнительно недорогая жидкость. Конечно, применяя такие жидкости, необходимо умножить полученный при гидростатическом взвешивании удельный вес на коэффициент, представляющий собой величину плотности применяемой жидкости при температуре эксперимента, т. е.

$$\text{уд.в.} = \frac{\text{вес камня}}{\text{потеря веса в жидкости}} \times \text{уд.в. жидкости при } T^{\circ}\text{C}.$$

Строго говоря, этот коэффициент следовало бы учитывать даже при взвешивании в воде, поскольку ее удельный вес точно равен  $1,00 \text{ г/см}^3$  только при  $4^{\circ}\text{C}$ . Но так как плотность воды с изменением температуры меняется лишь незначительно (например, при  $70^{\circ}\text{C}$  она составляет 0,998), при обычной диагностике этой разницей можно пренебречь. Величины плотности чистых жидкостей можно взять из таблиц, однако на практике у различных партий жидкости они слегка различаются, поэтому необходимо проверять каждую партию. Но, сделав это один раз, можно пользоваться полученной величиной в течение нескольких лет, поскольку при хранении жидкости в закрытом сосуде она, как правило, сохраняется. Плотность жидкости определяется следующим образом.

Берется кусок чистого кварца весом, скажем, 30—40 каратов и гидростатическим взвешиванием определяется его плотность в проверяемой жидкости. Затем, зная, что плотность чистого кварца постоянна и составляет 2,651, рассчитывают плотность жидкости по формуле

$$\text{уд.в. жидкости} = 2,651 \times \frac{\text{потеря веса в жидкости}}{\text{вес камня}}.$$

Должна быть замерена температура жидкости, и если впоследствии плотность камня измеряется при другой температуре, величина плотности жидкости уменьшается (в случае толуола на 0,0007) на каждый градус повышения температуры. Следует отметить, что в соответствии с недавно высказанными американскими медиками предостережениями, касающимися токсичности бромистого этилена, мы не можем его рекомендовать для использования. Необходимо иметь в виду, что практически все нужные геммологам жидкости в большей или меньшей степени ядовиты и требуют осторожного обращения. Следует избегать вдыхания паров и тщательно мыть руки после контакта с ними.

Если измерения удельного веса жидкости гидростатическим методом проводятся часто, то имеет смысл составить таблицу плотностей применяемой жидкости для каждого градуса (а для более точной работы — для каждой десятой доли градуса). Рань-

ше для вычислений рекомендовали применять семизначные логарифмы, но теперь современные карманные электронные калькуляторы позволяют получать точные результаты и быстрее, и легче. Даже при обычных расчетах по определению удельного веса с применением воды эти приборы, несомненно, позволяют экономить

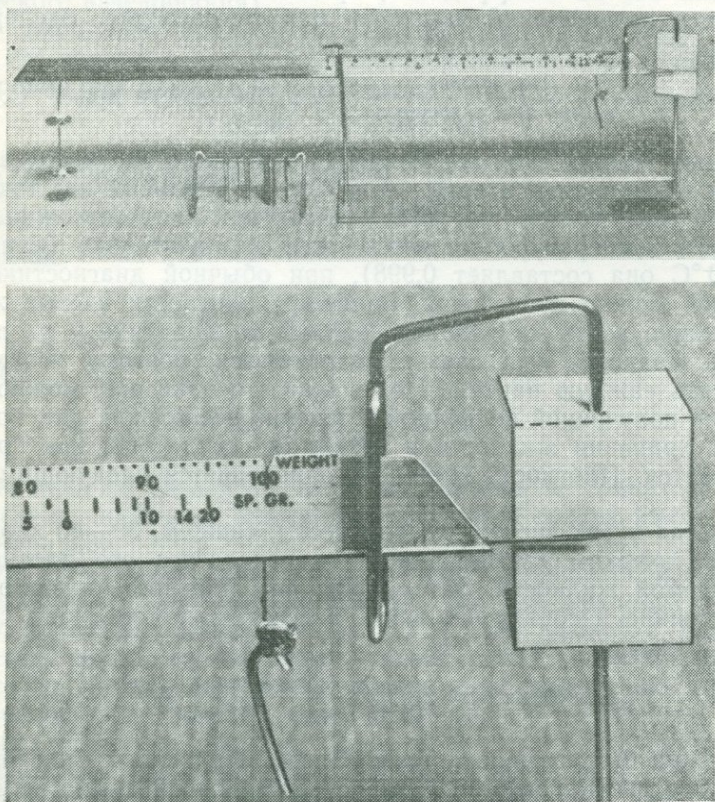


РИС. 5.3. Весы Ханнемана для определения плотности: общий вид (верхний рисунок) и деталь.

время и снижают вероятность ошибки — любая ошибка обычно сразу же видна по абсурдному конечному результату.

Хотя всегда подразумевается, что при определении удельного веса камней они не должны быть закреплены, автор нашел, что метод гидростатического взвешивания можно использовать при исследовании бус из нефрита, янтаря или пластмасс, не снимая бусины с нитки. Вес нитки обычно так мал по сравнению с весом бус, что получаемый результат, как правило, достаточно точен, чтобы по нему можно было судить о материале бус. Бусы с по-

мощью нитки соединяются в компактную связку, и она взвешивается, как обычно, на воздухе и в воде. При этом рекомендуется добавлять в воду несколько капель жидкого мыла.

Следует отметить, что если возникает необходимость проверить удельный вес крупных резных изделий из нефрита и других поделочных материалов, то в этом случае с успехом можно применять пружинные весы, имеющие подходящие пределы измерений. Изделие с помощью крепкой нитки подвешивается к крючку пружинных весов и взвешивается сначала на воздухе, а затем в воде (при полном погружении). Даже при таком, казалось бы, грубом методе, как этот, снимать показания нужно очень аккуратно, чтобы получить более или менее точные результаты. Следует проверить «нулевое» положение, расположить глаза на одном уровне со стрелкой и шкалой и т. п.

Автор нашел, что пружинные весы очень удобно крепить на фотоштативе.

**Весы Ханнемана.** Для тех, кто не ощущает потребности в стандартных весах, но хотел бы точно измерять плотность драгоценных камней, можно рекомендовать остроумное и простое по конструкции устройство, изобретенное и изготовляемое доктором У. У. Ханнеманом (рис. 5.3). Помимо весьма высокой точности, преимущество этих весов в том, что они дают значения удельного веса без каких-либо расчетов. Основная деталь весов — алюминиевое коромысло, висящее на тонкой нейлоновой нитке, закрепленной на его середине. Испытуемый образец помещают в одну из двух маленьких чашек на левом плече коромысла и уравнивают его грузиком, подвешенным на правое плечо коромысла, снабженное шкалой. Камень взвешивают сухим или погруженным в воду. Фирма, выпускающая весы, утверждает, что они позволяют взвешивать камни с точностью до 0,002 карата, а такая точность достаточна даже для небольших камней. Весы можно получить от фирмы в виде набора деталей. Они были испытаны в Англии и дали очень хорошие результаты.

## МЕТОД ТЯЖЕЛЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Часто достаточно оценить приблизительную плотность образца, чтобы различить два сходных по внешнему виду камня, такие, как, например, желтый кварц и топаз, хризоберилловый и кварцевый кошачий глаз и т. д. В этих случаях можно очень быстро определить приблизительную плотность, применяя *тяжелые жидкости*.

В принципе метод тяжелых жидкостей очень прост.

Мы знаем, что камень тонет в жидкости, плотность которой ниже его собственной, плавает, если плотность жидкости выше, и остается во взвешенном состоянии, если плотности камня и жидкости одинаковы. Поэтому, имея набор определенных тяжелых

жидкостей известной плотности и последовательно погружая в них испытуемый камень, можно быстро оценить его плотность, наблюдая, тонет ли он или поднимается к поверхности.

Перед тем как обсудить практические детали применения этого способа, рассмотрим, какие жидкости подходят для этой цели. Предлагалось около десятка жидкостей, однако наибольший интерес для нас представляют только три, поскольку они дают необходимый интервал плотностей и удобнее в работе.

Прежде всего следует назвать *бромформ* — подвижную, слегка желтоватую жидкость с плотностью 2,9, затем *иодистый метилен* — подвижную желтую (в свежем виде) жидкость с плотностью 3,33 и, наконец, *жидкость Клеричи*, бесцветную и довольно вязкую с плотностью 4,15<sup>1</sup>.

Первые две представляют собой органические жидкости и смешиваются в любых пропорциях с монобромнафталином, имеющим плотность 1,49, благодаря чему их плотность может быть понижена до любого желаемого значения. Хорошо служат для этой цели также бензол и толуол, однако они огнеопасны и их нельзя пересылать по почте. Жидкость Клеричи названа по имени итальянского химика, впервые предложившего ее. Она представляет собой концентрированный водный раствор двух солей малоната и формиата таллия, и ее плотность может быть легко понижена от максимального значения 4,15 путем добавления дистиллированной воды.

Соединив одну жидкость с другой, необходимо все тщательно размешать стеклянной палочкой. Это особенно важно в случае вязкой жидкости Клеричи.

Иодистый метилен и жидкость Клеричи довольно дороги, но, поскольку их требуется очень немного и хватает надолго, это обстоятельство не имеет большого значения.

Тяжелые жидкости могут храниться в чистом виде или разбавленными до определенной плотности в небольших пробирках размером около 20×75 мм, плотно закрытых пробками и установленными в отверстиях деревянной подставки.

Выбор жидкостей для работы зависит от индивидуальных потребностей. Ниже приведен список жидкостей, предложенных автором на основании большого опыта работы по определению всевозможных драгоценных камней:

1. Бромформ, разбавленный до 2,65
2. Бромформ, разбавленный до 2,71
3. Иодистый метилен, разбавленный до 3,06
4. Иодистый метилен чистый 3,33
5. Жидкость Клеричи, разбавленная до 3,52
6. Жидкость Клеричи, разбавленная до 4,00

<sup>1</sup> Жидкость Клеричи ядовита и очень сильно действует на кожу рук, поэтому работать с ней следует в резиновых перчатках. — *Прим. ред.*

Бромформ и иодистый метилен, как отмечено выше, могут быть разбавлены монобромнафталином или другими углеводородными жидкостями низкой плотности. Жидкость Клеричи должна всегда разбавляться дистиллированной водой. При использовании водопроводной воды возникает опасность помутнения реактива. Учитывая высокую стоимость раствора Клеричи, следует хранить его в чистом виде.

Если плотность жидкости после разбавления случайно получилась слишком низкой, ее, конечно, можно увеличить добавлением чистой жидкости или (в случае жидкости Клеричи) концентрированного раствора. Сильно разбавленная жидкость Клеричи может быть доведена до более высокой концентрации путем осторожного медленного выпаривания или за счет естественного испарения воды.

Для получения жидкости плотностью 2,65 в пробирку, наполовину заполненную чистым бромформом, кладут небольшой кусочек кварца или маленький ограненный камень из группы кварца, например аметист, цитрин или горный хрусталь, и, помешивая раствор стеклянной палочкой, по каплям добавляют монобромнафталин до тех пор, пока образец, играющий роль «индикатора», опущенный стеклянной палочкой ниже уровня жидкости, не начнет погружаться или очень медленно всплывать.

Плотность жидкости в этот момент будет составлять 2,65. Индикатор желательно оставить в жидкости на будущее, поскольку он дает возможность судить об изменении ее плотности со временем из-за различной скорости испарения компонентов. Вторую из названных жидкостей плотностью 2,71 готовят аналогичным образом, но в качестве индикатора используют маленький кусочек кальцита (исландского шпата) или аквамарина.

Третью жидкость (3,06) получают путем разбавления иодистого метилена до тех пор, пока небольшой кусочек зеленого турмалина не окажется взвешенным в жидкости. Четвертая жидкость — просто чистый иодистый метилен — не требует никакого индикатора.

Для получения пятой жидкости (3,52) берут концентрированную жидкость Клеричи и разбавляют дистиллированной водой, которую добавляют по каплям, тщательно размешивая раствор после каждой капли, до тех пор, пока индикатор — маленький алмаз не окажется взвешенным в ней. Наконец, жидкость плотностью 4,00 готовят аналогичным образом, используя в качестве индикатора небольшой образец синтетического рубина.

Если приобретенная жидкость Клеричи содержит осадок солей таллия, можно добавить в нее немного дистиллированной воды и подогреть на водяной бане до полного растворения осадка.

Процесс точной доводки плотности жидкостей до плотности индикаторов является весьма кропотливым и требует квалификации и терпения, но как только индикатор начинает очень медлен-

но тонуть или подниматься, можно считать, что плотность жидкости стала достаточно близкой к плотности индикатора.

Многие предпочитают пользоваться двумя индикаторами для каждой жидкости, один из которых плавает, а второй находится на дне. В этом случае точно известно, что плотность жидкости находится в пределах «чувствительности» этих индикаторов. Индикаторы следует выбирать с таким расчетом, чтобы их плотности были достаточно близки, что не всегда легко сделать. Если плотности индикаторов сильно различаются, то мы лишь приблизительно можем судить о плотности жидкости.

Следует иметь в виду, что указанные выше шесть жидкостей выбраны, исходя из практики работы по определению драгоценных камней, но, конечно, для тех или иных измерений могут потребоваться и другие жидкости. При недостатке времени ювелир может ограничиться лишь тремя жидкостями — чистым бромформом, чистым иодистым метиленом и бромформом, разбавленным до плотности, аналогичной плотности кварца. Первые две жидкости не требуют индикаторов, поскольку при комнатной температуре плотность чистого бромформа равна 2,9, а иодистого метилена 3,33, причем частичное испарение не меняет этих показателей. Третья жидкость служит не только для определения всех разновидностей кварца, но также для распознавания природного изумруда в отличие от синтетического.

Иодистый метилен, долго стоявший на свету, темнеет, что обусловлено выделением свободного иода. Поэтому, чтобы предотвратить сильное потемнение, рекомендуется бросить в жидкость несколько кусочков меди, которая легко соединяется со свободным иодом. Прозрачность потемневшей жидкости может быть восстановлена, если в сосуд с жидкостью опустить достаточное количество медных стружек и встряхивать его. Через несколько дней жидкость фильтруют и сливают в чистый сосуд.

Не рекомендуется испытывать в тяжелых жидкостях пористые камни, такие, как низкосортные виды бирюзы или опала. Камни с зияющими трещинами также могут выглядеть хуже после пребывания в этих жидкостях. Камни и пинцеты после их погружения в тяжелую жидкость и перед переносом из одной жидкости в другую следует протереть, поскольку даже небольшое количество жидкости, оставшейся на камне, приводит к изменению плотности следующей по ходу испытаний жидкости. Особенно важно выполнять это требование в случае использования жидкости Клеричи, поскольку она является водным раствором, не смешивающимся ни с какой другой жидкостью. После испытания в жидкости Клеричи камень и пинцеты должны быть промыты водой и высушены. В случае применения других жидкостей наилучшим средством для очистки является, пожалуй, бензол.

Самый постоянный удельный вес имеют минералы, простые по химическому составу. К ним относятся алмаз, кварц и корунд.

Помимо лазурита и бирюзы, гетерогенных по своей природе, существуют еще три камня, плотность которых варьирует в широких пределах. Это циркон, красный гранат альмандин пиропового ряда и синяя шпинель. Цирконы, применяемые в настоящее время в ювелирном деле, — голубые, бесцветные и золотистые, которые добываются в Индокитае, но обжигаются и гранятся в Таиланде, откуда и поступают на мировой рынок, — имеют постоянную плотность около 4,69. У некоторых зеленых цейлонских цирконов плотность 4,00 или ниже; плотности цирконов того же происхождения, но другого цвета лежат в пределах указанных величин.

Причина такого необычно сильного колебания плотности цирконов была выяснена лишь недавно. Оказалось, что это связано с нарушением кристаллической решетки за счет радиоактивного излучения некоторых радиоактивных элементов, входящих в их состав. Цирконы, имеющие наименьшую плотность, — это почти полностью аморфные камни (см. гл. 15).

Плотность красных гранатов может колебаться от 3,65 до 4,20 вследствие того, что они представляют собой смеси двух минералов, различных по составу и свойствам: пироп — силиката магния и алюминия — и альмандина, в котором магний замещен железом.

Чистый пироп и чистый альмандин неизвестны в природе, однако камни с плотностью до 3,85 (и показателем преломления до 1,76) обычно классифицируются как пиропы, тогда как более тяжелые камни считаются альмандинами.

Автор предлагает называть гранаты, занимающие промежуточное положение между пиропом и альмандином, пирандинами.

Плотность синей шпинели обычно около 3,60, однако если часть магния замещена цинком, то она заметно повышается. При этом ни цвет, ни внешний вид шпинели не изменяются. Нередко встречаются синие шпинели с плотностью 3,70 или 3,80, а в единичных случаях даже с плотностью 4,06.

Метод тяжелых жидкостей дает возможность определять плотность очень мелких камней наряду с крупными образцами, и в этом состоит его большое преимущество перед гидростатическим методом. Кроме того, с его помощью можно испытывать сразу ряд камней. Например, весь пакет мелких изумрудов можно проверить на присутствие имитаций, помещая камни в жидкость с плотностью 2,71. Камни, которые быстро утонут или всплывут, не являются изумрудами. Они могут быть изъяты пинцетом и исследованы дополнительно другими методами. Настоящие колумбийские или уральские изумруды в такой жидкости будут очень медленно всплывать или опускаться. Южноафриканские изумруды имеют несколько большую плотность, но, во всяком случае, и они не могут быстро погружаться.

Жидкость, имеющая плотность, соответствующую плотности кварца (2,651), пригодна для выявления синтетических изумрудов Чэтема, имеющих очень близкую плотность. Что же касается лю-

рых природных изумрудов, то они в ней будут довольно быстро тонуть.

Янтарь можно отличить от его имитаций из пластмасс, таких, как бакелит, эриноид и др., с помощью жидкости, которая едва ли может считаться «тяжелой». Согласно Р. Вебстеру, 10 чайных ложек столовой соли на стакан воды позволяют получить раствор,

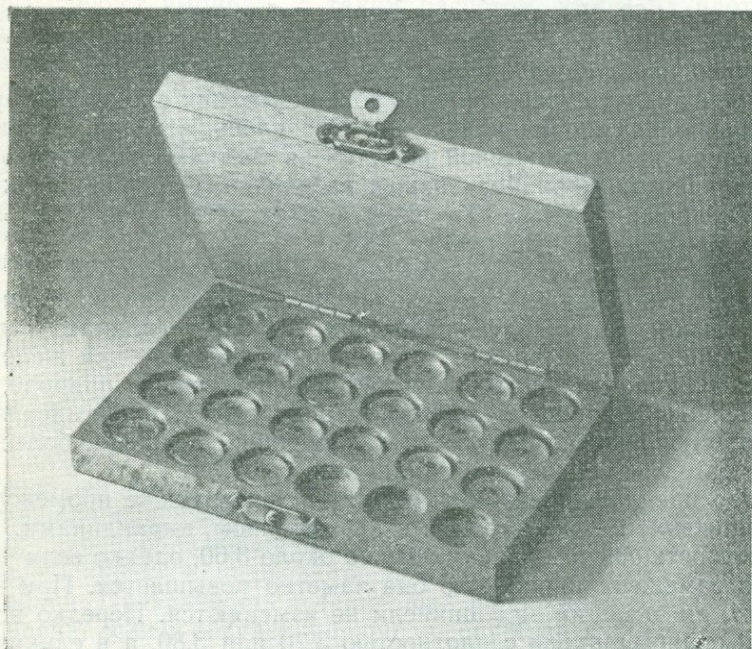


РИС. 5.4. Набор индикаторов плотности Рейнера.

достаточно плотный, чтобы в нем плавал янтарь. Так как плотность различных пластмасс, применяемых для его имитации, заметно выше, они будут тонуть в этом растворе. Бусы из янтаря или его имитаций могут быть испытаны гидростатическим методом, как описано выше.

Хотя тяжелые жидкости используются геммологами в основном лишь для приблизительной оценки плотности образца, этот способ при более тщательной работе может применяться и для определения плотности с большой точностью. Если одна из жидкостей разбавлена до такой плотности, что испытуемый камень находится в ней во взвешенном состоянии, можно с уверенностью сказать, что плотности камня и жидкости одинаковы (при данной температуре) по крайней мере до третьего знака после запятой. Точно измерив плотность жидкости, мы узнаем и плотность камня. Это

Таблица 5.1

УДЕЛЬНЫЙ ВЕС			
Янтарь	1,08	Флюорит	3,18
Бакелит	1,26	Сподумен	3,18
Панцирь черепахи	1,29	Жадеит	3,33
Эриноид	1,33	Хризолит (зеленый)	3,34
Целлулоид	1,38	Цоизит	3,35
«Растительная» кость	1,40	Сингалит	3,48
Слоновая кость	1,80	Алмаз	3,52
Кость	2,00	Топаз (розовый)	3,53
Огненный опал	2,00	Топаз (желтый)	3,53
Опал	2,10	Топаз (бесцветный)	3,56
Обсидиан	2,40	Сфен	3,53
Лунный камень	2,57	Шпинель	3,60
Халцедон		Шпинель (синтетическая)	3,63
(агат, сердолик)	2,60	Гессонит	3,65
Кварц	2,65	Хризоберилл	3,7—3,8
Коралл	2,68	Демантоид	3,72
Берилл (аквамарин)	2,69	Альмандин	3,85
Берилл (желтый)	2,69	Корунд	3,9—4,20
Берилл (изумруд)	2,71	Циркон (зеленый)	3,99
Берилл (розовый)	2,80	Циркон (голубой, бес- цветный, золотистый)	4,0—4,5
Жемчуг (ориенталь)	2,71		4,69
Жемчуг (культивированный)	2,75	Пирит	4,90
Бирюза (американская)	2,7	Гематит	5,10
Бирюза (иранская и египет- ская)	2,8	Серебро	10,50
Лазурит	2,8	Золото, 9 каратов	11,40
Розовый жемчуг	2,85	Золото, 14 каратов	13,93
Нефрит	3,0	Золото, 18 каратов	15,40
Турмалин	3,05	Золото, 22 карата	17,70
Андалузит	3,15	Золото чистое	19,30
		Платина	21,50

можно сделать, заполнив данной жидкостью специальные мерные колбы и тщательно взвесив их. Если известны вес пустой сухой колбы и вес колбы, наполненной водой, то отношение веса колбы с жидкостью к весу колбы с водой будет равняться плотности жидкости.

Более быстро, но не менее точно можно получить хорошие результаты, определяя плотность тяжелой жидкости с помощью ареометра. При этом требуется достаточно большое количество жидкости, поэтому данный метод пригоден только в случае относительно дешевых жидкостей на основе бромформа. Автор нашел, что лучше всего использовать небольшой ареометр со шкалой от 2,5 до 3,0.

Удобны в работе и стеклянные индикаторы с нанесенными на них значениями соответствующих плотностей (рис. 5.4), которые выпускаются фирмой «Рейнер» и поставляются Геммологической ассоциацией. Можно, однако, без особого труда изготовить самодельный набор индикаторов из небольших образцов или кусочков таких минералов, которые легкодоступны и в чистом виде имеют

постоянную плотность. В нижеприведенном перечне подходящих минералов даны значения плотностей с точностью до второго знака, характерные для прозрачных и не имеющих дефектов образцов.

Кварц (горный хрусталь)	2,65
Кальцит (исландский шпат)	2,71
Турмалин (розовый)	3,05
Полевой шпат (прозрачный)	3,18
Хризолит (зеленый)	3,34
Алмаз	3,52
Топаз (бесцветный)	3,56
Хризоберилл (желтый)	3,72
Демантоид	3,85
Корунд (синтетический, бесцветный)	3,99
Сфалерит (прозрачный)	4,09

Плотность тяжелой жидкости можно очень удобно и быстро оценить по величине ее показателя преломления, определяя его на рефрактометре с последующим считыванием значений плотности

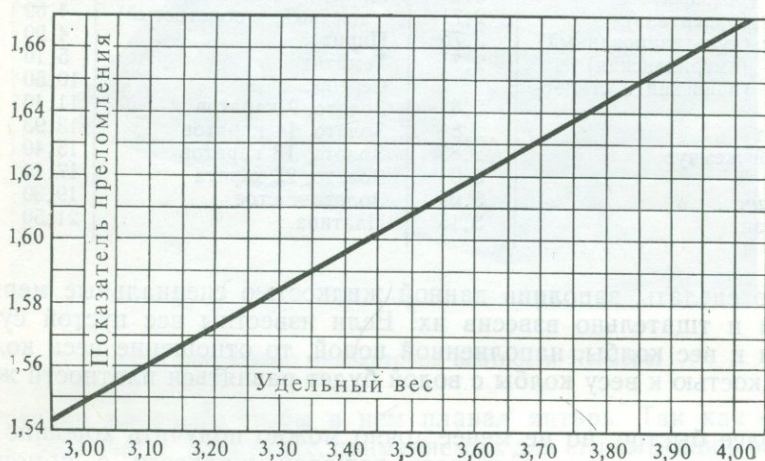


РИС. 5.5. График зависимости показателя преломления жидкости Клеричи от ее удельного веса.

по заранее построенному графику. Особенно пригодна для этого жидкость Клеричи. Образцы этой жидкости из различных партий несколько различаются по своим свойствам, однако приведенный график (рис. 5.5) дает достаточно точные результаты для идентификации камней. Поскольку зависимость является прямолинейной, кривая с помощью обычной графической бумаги может быть продолжена и дальше.

В табл. 5.1 приведены значения плотности наиболее известных драгоценных камней, некоторых металлов и других материалов, применяемых в ювелирном деле. Указанные величины, определенные автором, являются наиболее характерными для данных веществ. Предельные значения ради простоты в большинстве случаев не указаны. Обычно они отличаются незначительно, и там, где в табл. 5.1 плотность приведена с точностью до второго знака после запятой, колебания величин составляют несколько единиц во втором знаке. При более значительных колебаниях величины плотности даются с точностью до первого знака после запятой. Наиболее ценные материалы выделены курсивом.

В табл. 5.1 включены практически все материалы, с которыми имеет дело ювелир средней квалификации. Для геммологов-энтузиастов и коллекционеров, которые интересуются редкими драгоценными камнями, в конце данной книги приводится более полная таблица.

## ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОСКОПА

Для геммолога микроскоп, несомненно, является самым важным из всех приборов. Хотя и не такой универсальный, как карманная лупа, он дает значительно большее увеличение. В повседневной практике эксперту гораздо чаще приходится отличать природные камни от их синтетических аналогов и определять имитации, чем идентифицировать природные камни. Как мы увидим ниже в гл. 7, микроскоп совершенно необходим для выявления подделок.

Но его значение этим не исчерпывается: неоценима помощь микроскопа, когда необходимо отличить один камень от другого, поскольку, изучив под микроскопом включения в камне, можно определить природу образца и даже место его добычи. Таким же путем можно определить характер и глубину трещин, выявить наличие двупреломления и приблизительно оценить его величину; с помощью иммерсионных жидкостей или путем «прямого измерения» можно установить показатель преломления.

Изучение включений в минералах началось в прошлом веке, однако эта работа долгое время проводилась от случая к случаю. Но в течение последних десятилетий это направление получило широкое признание как новый метод определения драгоценных камней и выяснения условий их образования в природе. И это действительно один из наиболее важных вкладов геммологии в науку, из которых она родилась, — в минералогию и геологию. Основные успехи в изучении включений в драгоценных камнях достигнуты главным образом благодаря энтузиазму доктора Эдварда Гюбелина из Люцерна. В журналах появились его многочисленные статьи, посвященные этой теме, иллюстрированные прекрасными микрофотографиями. В его недавно вышедшей книге «Внутренний мир драгоценных камней» многие из них представлены в виде серии замечательных цветных микрофотографий. Тема эта, однако, обширная, и внимательный и наблюдательный исследователь может открыть здесь еще много нового.

Микроскопы, специально предназначенные для ювелиров и геммологов, сконструированы профессором Шлоссмахером из ФРГ, сотрудниками Американского геммологического института, Э. Гюбелином из Швейцарии и Рейнером из Англии. Но к сожалению, большинство из них или слишком дороги, или труднодоступны. Специальные «петрографические» микроскопы, используемые минералогами, также являются дорогостоящими приборами.

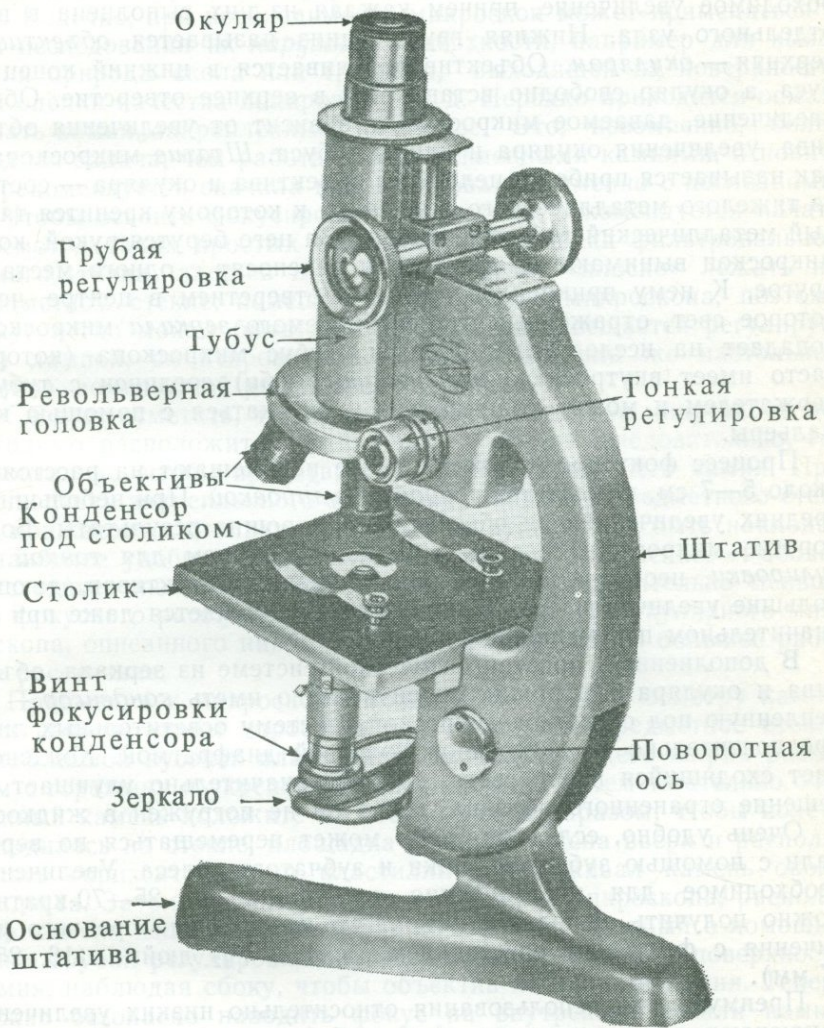


РИС. 6.1. Стандартный микроскоп. Фотография публикуется с разрешения фирмы «Р. и Дж. Бек».

К счастью, большая часть исследований может быть выполнена с помощью весьма простого микроскопа, и поэтому ниже мы приведем описание такого типичного стандартного прибора (рис. 6.1) и методики его применения для изучения драгоценных камней.

В микроскопе имеются две системы линз, обеспечивающих необходимое увеличение, причем каждая из них выполнена в виде отдельного узла. Нижняя группа линз называется *объективом*, верхняя — *окуляром*. Объектив ввинчивается в нижний конец тубуса, а окуляр свободно вставляется в верхнее отверстие. Общее увеличение, даваемое микроскопом, зависит от увеличения объектива, увеличения окуляра и длины тубуса. *Штатив* микроскопа — так называется прибор в целом без объектива и окуляра — состоит из тяжелого металлического *основания*, к которому крепится тяжелый металлический *тубусодержатель*. За него берутся рукой, когда микроскоп вынимают из футляра и переносят с одного места на другое. К нему прикреплен *столик* с отверстием в центре, через которое свет, отраженный от регулируемого *зеркала* микроскопа, попадает на исследуемый образец. Тубус микроскопа (который часто имеет внутреннюю *выдвижную трубу*) соединен с тубусодержателем и может подниматься и опускаться с помощью *кремальеры*.

Процесс фокусировки, когда тубус перемещают на расстояние около 5—7 см, называется *грубой регулировкой*. При небольших и средних увеличениях он обеспечивает хорошие результаты. Более дорогие микроскопы снабжены приспособлением для *тонкой регулировки*, необходимой при использовании объективов, дающих большие увеличения, фокус которых резко меняется даже при незначительном перемещении тубуса.

В дополнение к простой оптической системе из зеркала, объектива и окуляра для наших целей полезно иметь *конденсор* — укрепленную под столиком микроскопа систему осветительных линз, предпочтительно со встроенной ирисовой диафрагмой. Конденсор дает сходящийся пучок света, который значительно улучшает освещение ограненного образца, когда он не погружен в жидкость.

Очень удобно, если конденсор может перемещаться по вертикали с помощью зубчатой рейки и зубчатого колеса. Увеличение, необходимое для исследования камней, т. е. 25—70-кратное, можно получить, используя объективы низкого или среднего увеличения с фокусным расстоянием  $\frac{2}{3}$ , 1 и  $1\frac{1}{2}$  дюйма (16, 25 и 37 мм).

Преимущество использования относительно низких увеличений заключается в следующем: а) в любой момент времени в поле зрения можно видеть большую часть образца; б) больше глубина фокуса; в) больше рабочее расстояние между образцом и передней линзой объектива, благодаря чему снижается вероятность повреждения стекла линзы острыми ребрами или углами камня, имеющего обычно более высокую твердость, чем стекло. Кроме

того, при небольших увеличениях изображение более четкое, и начинающему значительно легче вести наблюдение.

Остановившись вкратце на основных особенностях стандартного микроскопа, мы далее покажем, как использовать его наилучшим образом для изучения внутренних особенностей ограненных камней. Конечно, при необходимости микроскоп может применяться и для исследования их *наружной* поверхности, например для выяснения природы скола или трещины, выходящей на поверхность, для оценки качества полировки и т. д. Нередко приходится осматривать камни, закрепленные в оправе. Это, несомненно, более трудная задача, чем работа с незакрепленными камнями, и новичку рекомендуется сначала попрактиковаться именно с последними.

Чтобы освоить фокусировку микроскопа, рекомендуется начать с осмотра таких простых объектов, как кусочки фильтровальной бумаги, ткани, листьев и т. п. Они будут «плоско» лежать на предметном стекле, помещенном на столик микроскопа, поэтому фокус легко может быть найден. Образец освещается регулируемой лампой, вмонтированной в микроскоп, или же настольной лампой, помещенной рядом выше столика.

Следует отметить, что при осмотре камня тубус микроскопа необходимо расположить вертикально, а столик, следовательно, горизонтально, чтобы предотвратить скатывание с него камня. При наблюдении закрепленного объектива, например предметного стекла, прижатого к столику зажимами, штатив может быть наклонен в наиболее удобное для длительной работы положение. «Рабочее расстояние» любого объектива, как правило, значительно меньше его фокусного расстояния. При использовании бинокулярного микроскопа, описанного ниже, достигается значительно большее рабочее расстояние.

Привыкнув к микроскопу, можно приступить к осмотру камня. Для начала, чтобы упростить дело, возьмите предметное стекло и небольшой кусочек пластилина. Скатайте из него шарик размером с горошину и укрепите в центре стекла. Затем тщательно очищенный камень положите на стекло таким образом, чтобы колета находилась на стекле, площадка была обращена вверх и располагалась горизонтально, а пластилин поддерживал камень около рундиста. Затем поместите стекло на столик микроскопа, расположив камень непосредственно под объективом, который с помощью винта грубой регулировки опустите почти вплотную к поверхности камня, наблюдая сбоку, чтобы объектив не касался камня. Теперь можно безопасно наводить фокус на внутренние детали камня, наблюдаемые через площадку, поскольку это достигается *подниманием*, а не *опусканием* объектива, когда существует реальная опасность повреждения линзы объектива камнем.

При фокусировке в процессе движения объектива вверх вскоре можно будет увидеть колету и ребра близлежащих граней. Затем, если мы будем продолжать медленно поднимать фокус, их изобра-

жение должно исчезнуть, и после длительного подъема в поле зрения появится поверхность площадки, заметная благодаря прилипшим к ней частицам пыли и иногда таким небольшим дефектам поверхности, как царапины, сколы и т. д. Если в глубине камня имеются какие-либо трещины, включения или пузырьки, они будут видны в фокусе в некоторой точке между фокусом колеты и фокусом площадки. Если неясно, достигнут ли уровень площадки (а она не всегда четко видна), можно немного переместить предметное стекло в ту или иную сторону, пока не станут видны ребра между площадкой и другими гранями короны. Следует отметить, что при движении стекла влево изображение в поле микроскопа движется вправо.

Регулируя положение конденсора и наклон зеркала, можно создать оптимальные условия освещения внутренней части камня. Конечно, камни можно осматривать, если они лежат на предметном стекле площадкой, однако в этом случае наблюдение затрудняется отражением и преломлением, обусловленными многими мелкими гранями. Когда работа с микроскопом станет привычным делом, камень можно будет держать площадкой вверх просто между большим и указательным пальцами левой руки, опираясь для устойчивости на столик микроскопа. В этом случае можно безопасно наводить фокус, опуская объектив вниз, поскольку пальцы, держащие камень, будут служить ограничителями, предохраняющими объектив от контакта с образцом. Очень мелкие камни можно держать пинцетом. Особенно удобны для этой цели пружинные пинцеты, губки которых снабжены бороздками.

При использовании вышеописанной методики для достижения хороших результатов очень важно иметь конденсор. Однако даже в этом случае осмотр камня, по-видимому, не будет полным, поскольку доступная зона наблюдения ограничена главным образом той частью камня, которая расположена непосредственно под площадкой. Поэтому мелкие включения и другие особенности около рундиста могут быть упущены. Для более тщательного осмотра «трудных» (т. е. очень чистых) камней рекомендуется помещать камень в стаканчик или кювету с жидкостью, показатель преломления которой близок к показателю преломления изучаемого камня. Количество жидкости должно быть таким, чтобы камень полностью был покрыт ею, причем все — камень, кювета и жидкость — должно быть чистым, чтобы избежать появления частиц на поверхности жидкости или камня, поскольку они очень затрудняют наблюдение. Для этого жидкость должна быть профильтрована. Хорошей иммерсионной жидкостью, пригодной для этой цели, является монобромнафталин, широко известный в быту, как средство от моли. Кроме того, часто используется иодистый метилен, показатель преломления которого (1,745) ближе к показателю преломления корунда (1,76), чем показатель преломления монобромнафталина (1,66). Однако при близком совпадении показате-

лей преломления жидкости и камня последний становится практически невидимым, что затрудняет наблюдение. При использовании монобромнафталина различие в светопреломлении между жидкостью и камнем весьма невелико, что не позволяет с легко-

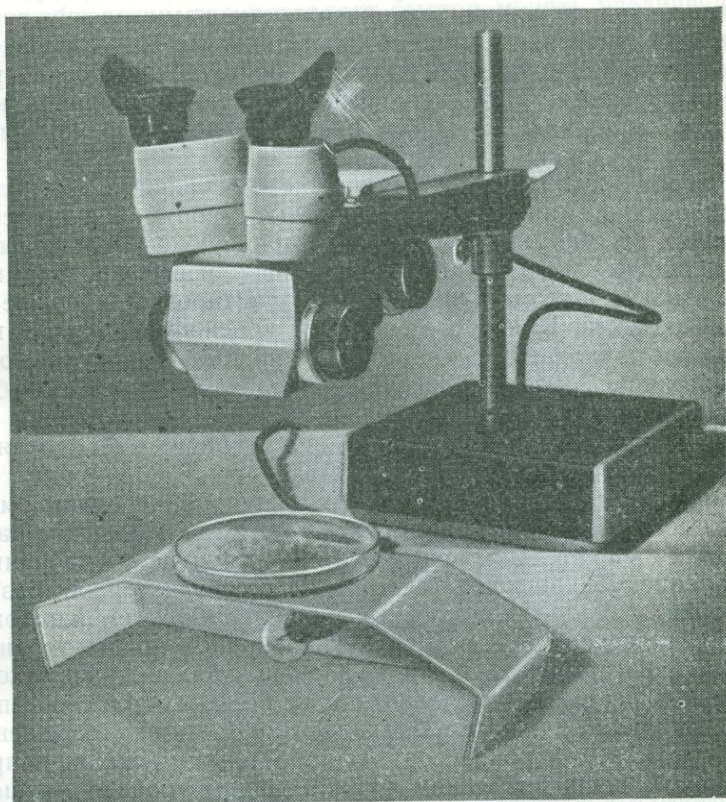


РИС. 6.2. Стереоскопический бинокулярный микроскоп Виккерса с освещающим столиком. Фотография публикуется с разрешения фирмы «Виккерс».

стью разглядеть внутреннее строение камня, однако оно достаточно, чтобы видеть ребра граней, благодаря чему наблюдатель знает, какую часть камня он осматривает. При отсутствии указанных жидкостей можно использовать бромформ или бромбензол. К сожалению, пары большинства иммерсионных жидкостей вызывают раздражение слизистых оболочек глаз и носа у людей, предрасположенных к аллергии. Этому недостатка лишен бензилбензоат, который имеет показатель преломления 1,56. Что же касается кювет, то наилучшими являются такие, у которых стеклянное

кольцо спаяно или плотно приклеено к плоскому стеклянному основанию. Подобные кюветы поставляет Геммологическая ассоциация в Лондоне.

При осмотре камня в жидкости удобнее всего класть его на площадку. Необходимо быть внимательным, чтобы не спутать пузырьки воздуха, прилипшие к поверхности камня, с внутренними пузырьками, встречающимися в синтетических камнях. Внешние пузырьки обычно крупнее и выглядят более эффектно по сравнению с внутренними. Их можно удалить путем протирания камня, тогда как внутренние пузырьки при этом, конечно, останутся на месте.

Приведем несколько советов, которые могут оказаться полезными при выборе микроскопа. Если опыт работы с микроскопом небольшой, то рекомендуем покупать прибор, будь это новый или уже бывший в употреблении микроскоп, у известной фирмы, поскольку только в этом случае можно гарантировать хорошее изображение объекта. При обращении к микроскопу от случая к случаю вполне подходит описанный выше простой монокуляр, однако при постоянной работе с камнями предпочтительнее приобрести бинокулярный микроскоп, так как глаза при работе с ним утомляются гораздо меньше. Образцы бинокулярного и монокулярного микроскопов показаны на рис. 6.2 и 6.3.

Наилучшими, без сомнения, являются микроскопы модели «Грино» со спаренными объективами. Они имеют большое рабочее расстояние, значительную глубину резкости и не переворачивают изображение. Микроскопы такого типа со столиком или без него, с обычным зеркалом или со встроенным освещением изготавливают многие оптические фирмы. Дополнительно может быть установлен конденсор, который для геммолога очень важен, причем конденсор должен регулироваться вертикально, с тем чтобы обеспечить нужное освещение камня. Наиболее ярко камень освещен при верхнем положении конденсора, однако тонкие детали, например линии роста в синтетическом рубине, видны гораздо лучше при опущенном конденсоре. Большим удобством при длительной работе с микроскопом являются наклонные окуляры.

Тем, кто ищет сравнительно недорогой микроскоп, пригодный для большинства геммологических исследований, можно рекомендовать микроскоп «Зенит» советского производства. Он имеет наклонный окуляр, вращающийся столик, конденсор и приспособление для наблюдения в поляризованном свете.

Перед покупкой микроскопа (нового или бывшего в употреблении) рекомендуется испытать его на нескольких камнях, заведомо содержащих включения, поскольку нередко прибор, дающий отличные результаты со шлифами, лежащими на предметном стекле, непригоден для объемного наблюдения драгоценных камней. Прежде всего следует помнить, что для исследования камней короткофокусные объективы ( $1/8$  дюйма, или  $\sim 3$  мм) не нужны. Наи-

более пригодны для этой цели объективы с фокусным расстоянием 1 или 1½ дюйма (25 или 37 мм), дающие 20—30-кратное увеличение в зависимости от длины тубуса и фокусного расстояния используемых окуляров. Полезным дополнением к стандартному микроскопу служит револьверная головка, в которой крепятся два или три объектива, что позволяет быстро менять увеличение.

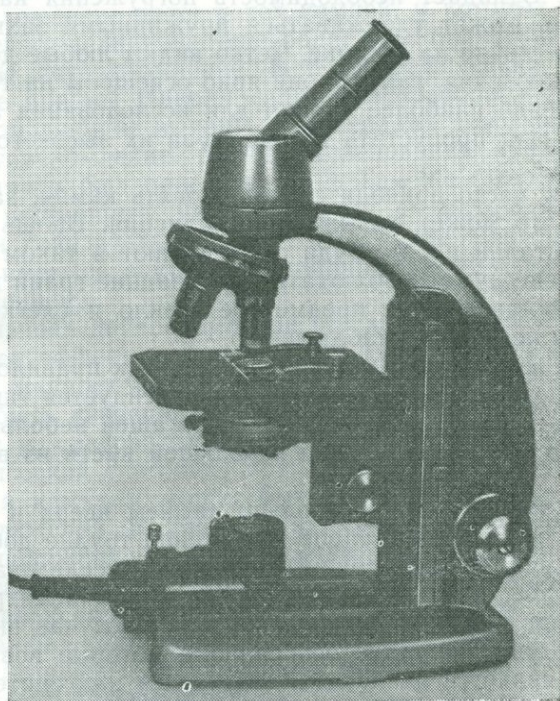


РИС. 6.3. Монокулярный микроскоп Виккера с конденсором и встроенным освещением, пригодный для определения драгоценных камней. Фотография публикуется с разрешения фирмы «Виккерс».

До сих пор практически ничего не было сказано об освещении при работе с микроскопом. Поскольку дневной свет — весьма неопределенный и неконтролируемый фактор, лучше использовать искусственное освещение. В продаже имеется много осветителей для микроскопа, но для этой цели с успехом может служить небольшая регулируемая лампа при условии, что она имеет непрозрачный или почти непрозрачный абажур, предотвращающий прямое попадание света в глаза наблюдателя. Удобнее всего матовая лампа мощностью 40 или 60 Вт. «Темнопольное» освещение имеет ряд преимуществ и широко применяется для изучения включений

(особенно в алмазах) в США и Швейцарии. Самое обычное устройство состоит из небольшой низковольтной лампы, встроенной в корпус, находящийся под столиком и представляющий собой, по существу, зеркальный отражатель в форме чаши. Шторка предотвращает прямое попадание света на камень, в то время как отраженные от стенок рефлектора лучи входят в камень со всех сторон. Отпадает необходимость погружения камня в жидкость: камень может удерживаться пружинными захватами, приклеенными к стойке на столике. Четко видны любые дефекты, трещины или включения, так как они ярко освещены на темном фоне. Такое освещение наиболее удобно для исследования алмазов, через которые свет пропустить трудно из-за их высокого показателя преломления.

Геммологу часто приходится исследовать камни, закрепленные в оправе, и это может вызывать затруднения. Брошь обычно помещают на столик и без труда осматривают в таком положении. Камни в кольце лучше наблюдать через задние грани камня, установив его площадкой на предметное стекло и слегка наклонив, чтобы шинка не мешала наблюдению.

Задняя поверхность камней в кольцах, как правило, сильно загрязнена, и поэтому перед осмотром рекомендуется тщательно вымыть кольца в спирте или в воде, содержащей небольшое количество жидкого мыла, с помощью небольшой кисти из верблюжьего волоса.

Конечно, можно держать кольцо камнем вверх и изучать его через площадку, однако в таком положении трудно добиться хорошего освещения. Самым трудным является исследование камней в глухой оправе, поскольку такие камни можно осматривать лишь при освещении сверху. Однако даже в этом случае внутри камня часто можно увидеть такие особенности, которые позволяют сделать вывод, является ли камень природным или синтетическим.

Если для лучшего осмотра требуется погрузить закрепленные камни в жидкость, рекомендуется использовать стеклянную чашку достаточного размера диаметром, скажем, 7,5—10 см, в которой твердое изделие может быть полностью погружено в жидкость. При этом во избежание лишней траты дорогостоящих реактивов, а также для того, чтобы избавиться от необходимости чистки ювелирного украшения от остатков маслянистой и плохо пахнущей иммерсионной жидкости, целесообразно применять недорогую и летучую жидкость, такую, как толуол (несмотря на его сравнительно низкий показатель преломления).

В гл. 3 были описаны методы определения двупреломления в драгоценных камнях (важный диагностический признак) по кажущемуся раздвоению ребер задних граней при наблюдении их с помощью лупы через площадку камня.

В камнях, имеющих высокое двупреломление, таких, как рутил (0,287), сфен (0,12), циркон (0,059), хризолит (0,036) и даже

турмалин (0,018), при некотором навыке его легко определить с помощью сильной лупы даже в мелких камнях, однако в минералах, имеющих низкое двупреломление, таких, как кварц (0,009), топаз (0,009), корунд (0,008), хризоберилл (0,009) и берилл (0,006), этот эффект с помощью лупы в небольшом камне выявить нельзя.

Микроскоп, однако, дает возможность непосредственно наблюдать двупреломление даже у тех камней, у которых этот эффект мал, и, конечно, делает его еще более заметным в камнях, имеющих высокое двупреломление. В петрографических микроскопах имеются две призмы Николя (или поляризаторы из поляроидной пленки), позволяющие выявить в минералах даже самое незначительное двупреломление. Метод исследования «между скрещенными николями» был описан в гл. 3. Там же было отмечено, что некоторые изотропные материалы (т. е. материалы, имеющие только один показатель преломления), такие, как стекло, иногда, если в них имеются внутренние напряжения, обладают некоторым двупреломлением.

«Аномальное» двупреломление всегда имеет местный характер и не создает эффекта «раздвоения», даже такого, какой наблюдается под микроскопом. Поэтому если имеет место раздвоение, то можно быть уверенным в том, что камень действительно двупреломляет и, следовательно, не может быть стеклом или минералом кубической сингонии. Этот признак часто очень важен для определения камня и может быть выявлен одновременно с изучением включений в камне. Так, если при наблюдении через площадку похожего на сапфир камня, который может быть синтетическим сапфиром, стеклом или, что менее вероятно, синтетической шпинелью, видно раздвоение пузырьков, то можно считать доказанным без каких-либо дополнительных проверок, что камень является синтетическим сапфиром, поскольку ни стекло, ни шпинель не имеют двупреломления.

При работе с микроскопом, как и со всеми другими приборами, упомянутыми в этой книге, хорошие результаты могут быть достигнуты только после большой практики, однако при некоторой настойчивости любой человек может с успехом освоить микроскоп, получая при этом удовольствие от работы с ним.

## МИКРОФОТОГРАФИЯ

Любознательный исследователь, возможно, захочет сделать фотографию некоторых интересных особенностей камня или включений. При наличии у экспериментатора хорошего микроскопа и достаточного терпения, необходимого для установки наилучшего освещения, получить хорошую фотографию не представляет особого труда.

Простейшая методика, не требующая применения фотоаппара-

та, заключается в следующем. Из тубуса вынимают окуляр, вместо него сверху накладывают матовое стекло и в затемненной комнате фокусируют микроскоп таким образом, чтобы интересующие нас особенности камня стали четко видны на поверхности матового стекла (разумеется, именно матовая поверхность стекла должна находиться в контакте с тубусом). Затем освещение микроскопа отключают и в полной темноте матовое стекло заменяют кусочком низкочувствительной фотопленки (эмульсией вниз). Его можно накрыть небольшой квадратной коробкой или другим непрозрачным предметом. После этого вновь включают освещение на время от 0,5 до 30 с или около того в зависимости от характера освещенности объекта съемки. На проявленной пленке должно появиться резкое изображение, которое, конечно, затем может быть увеличено. Шедевры микрофотографии этим методом получить не удается, однако он дешев и прост.

Если в распоряжении исследователя имеется 35-миллиметровая камера, нетрудно сделать черно-белую или цветную микрофотографию. В этом случае окуляр не удаляют и интересующие особенности тщательно фокусируют обычным способом. Затем камеру устанавливают на бесконечность и достаточно сильно открывают диафрагму. При съемке камеру держат таким образом, чтобы объектив ее находился на окуляре. Экспонируют с помощью затвора камеры (длительность экспозиции регулируют включенной лампой микроскопа или же посредством установки затвора на длительную выдержку с применением тросика). Если освещение достаточно сильное и позволяет использовать экспозицию меньше секунды, то с успехом можно использовать выдержки, даваемые затвором; можно применить реле времени, что снижает риск сдвига камеры при работе с затвором. Для устойчивости и безопасности лучше укрепить камеру на штативе, а не держать ее руками, как предложено выше.

Современные зеркальные однообъективные камеры, которые так популярны благодаря их универсальности, могут быть приспособлены для съемки через микроскоп. Для этого в камеру вместо объектива ввинчивается специальная насадка, имеющаяся в продаже, с помощью которой камера укрепляется над окуляром микроскопа. Изображение в камере, как обычно, наводится и фокусируется, причем на пленке всегда должно получаться такое же изображение.

Основной трудностью при микросъемке — помимо выбора поля зрения таким образом, чтобы все интересующие нас особенности располагались в фокусе и были бы правильно освещены, — является точное определение экспозиции, что особенно важно при цветной съемке. Конечно, немаловажное значение здесь имеет опыт; большую пользу могут принести и некоторые виды специальных экспонометров. Обычные фотоэлектрические экспономет-

ры, как правило, малочувствительны, чтобы в этих условиях давать правильные показания.

Завершая эту главу, следует сказать, что микроскопы, описанные и рекомендованные выше, по-видимому, будут наиболее популярны среди начинающих геммологов и мелких ювелиров. Тем же, кого не смущает высокая стоимость оборудования, мы рекомендуем обратиться к соответствующей главе книги Петера Г. Рида «Геммологическое оборудование» (Баттеруэрт, 1978), где представлены и описаны всевозможные современные микроскопы, сконструированные специально для геммологов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАМНЕЙ,  
ИМИТАЦИЙ И КОМБИНИРОВАННЫХ КАМНЕЙ

В предыдущих главах было показано, каким образом с помощью несложных опытов можно определить минеральный вид любого из драгоценных камней, используемых в ювелирном деле. Установив (по показателю преломления или каким-либо другим методом), что камень является, например, хризолитом, цирконом или топазом, можно считать задачу выполненной, если имелась в виду только идентификация камня. Зная природу камня, уже нетрудно определить его стоимость — на основании цвета, чистоты, совершенства огранки и веса. Однако если данный камень является рубином, сапфиром, изумрудом или напоминает александрит, опал и бирюзу (этот список можно легко продолжить), то возникает новый вопрос: природный ли это камень или синтетический? Ответить на него для специалиста обычно не составляет труда, но иногда у камня нет четких отличительных признаков, по которым его можно было бы идентифицировать, и в этом случае требуется провести лабораторные исследования. Именно в этом вопросе особенно четко проявляется различие между геммологами-любителями и геммологами-профессионалами. Лишь последние, с их мастерством, интуицией и длительным опытом, сумеют заметить и правильно интерпретировать те признаки, которые только и позволяют иногда отличить природные камни от синтетических. Внимательно изучив дальнейший текст, читатель узнает, на что именно необходимо обращать внимание при диагностике камней. Некоторую помощь в этом ему окажут приводимые микрофотографии. Однако следует отметить, что для приобретения необходимой квалификации нужна большая практика и непосредственная работа с образцами.

Среди геммологов и ювелиров принято считать, что если камень имеет состав, кристаллическую структуру и свойства драгоценного камня, но получен искусственным путем (безразлично каким), он должен называться «синтетическим». Однако, строго говоря, нет никаких оснований ограничивать использование этого термина только такими узкими рамками, поскольку любое созданное человеком соединение может быть названо синтетическим вне зависимости от того, является ли оно аналогом природного вещества. И действительно, геммологи свободно пользуются этим термином в более широком смысле, говоря, например, о титанате стронция или алюминате иттрия как о «синтетических» камнях.

Чтобы избежать двойственности, присущей этому термину, Международный комитет по технической терминологии предложил новое название для обозначения рассматриваемой группы камней — гомокреатные (от греческого *homos* — равный, одинаковый и латинского *create* — делать). Будущее покажет, примут ли геммологи это новое слово (предложенное, кстати, очень известными учеными). Первая реакция была отрицательной, но потом стало ясно, что этот термин имеет перед другими подобными терминами два преимущества. Во-первых, будучи «новым», он не успел еще приобрести никаких других значений, кроме того единственного, ради которого и был предложен. И во-вторых, поскольку слово является производным от греческого и латинского корней, оно может использоваться без изменений в большинстве европейских языков<sup>1</sup>.

Геммологи, которые стремятся применять точную терминологию для характеристики материалов, имитирующих природные камни, испытывают и другие трудности. Наиболее распространенная, пожалуй, связана с понятием «синтетические шпинели». Эти камни производятся в больших количествах методом Вернейля как в окрашенном, так и в бесцветном варианте с целью имитации по внешнему виду не природных шпинелей, а аквамарина или алмаза. Более того, ни по свойствам, ни по составу они не похожи на природные шпинели, и только по структуре могут быть отнесены к этой группе.

Прежде чем перейти к детальному описанию важнейших синтетических камней, приведем краткий исторический обзор методов их производства.

Первым драгоценным синтетическим камнем, который стали получать в начале XX в. на промышленной основе в больших масштабах благодаря появлению замечательного метода — метода Вернейля, был рубин. В настоящее время годовой объем производства синтетических рубинов достигает миллиарда каратов. Большая часть синтетического рубина используется для технических целей — в подпятниках часов, в измерительных и авиационных приборах. Однако значительное количество попадает и на рынки (особенно на Востоке) в качестве ювелирного материала. Спустя несколько лет после начала производства рубинов возникло производство сапфиров, причем не только сапфиров традиционно синего цвета, но также бесцветных, желтых, зеленых, оранжевых и розовых камней. В 20-х годах методом Вернейля были получены шпинели — главным образом бесцветные или бледноокрашенные, — которые предназначались в основном для имитаций

<sup>1</sup> В русском языке уже установилось четкое разграничение между «синтетическими» камнями, имеющими тот же состав и характер, что и природные камни, и «искусственными» камнями, изготовленными в лаборатории и не имеющими естественных аналогов. — *Прим. ред.*

аквамарины и алмаза. Их состав отличается повышенным содержанием окиси алюминия. После второй мировой войны в ФРГ и США начали производить звездчатые рубины и сапфиры. Через несколько лет появились рутил и титанат стронция, выращенные с помощью модифицированного метода Вернейля, обеспечивающего избыточное содержание кислорода в среде.

Синтетические изумруды, по размеру пригодные для огранки, были впервые созданы в ФРГ фирмой «И. Г. Фарбениндустри» незадолго до второй мировой войны, но их промышленное производство было организовано К. Чэтемом в США несколько лет спустя. Много позднее изумруды стала производить фирма «Линде» в США и более успешно фирма Пьера Жильсона во Франции.

Столетняя история упорных попыток ряда ученых синтезировать алмаз завершилась успехом шведского концерна в 1953 г. Однако первой опубликовала отчет о синтезе алмаза фирма «Дженерал электрик», США (в феврале 1955 г). В мае 1970 г. специалисты той же компании объявили о выращивании алмаза высокого ювелирного качества размером до одного карата. Теперь производство мелких кристаллов алмазов для промышленного использования налажено в больших масштабах во многих странах, причем стоимость полученного материала соизмерима со стоимостью дробленого борта. В то же время стоимость выращенных ювелирных кристаллов значительно выше стоимости природных алмазов.

Кварц — один из самых распространенных в природе минералов, но его прозрачные кристаллы, лишенные двойников, встречаются сравнительно редко, тогда как для радиоэлектроники требуется именно такой материал. Поэтому во время второй мировой войны воюющие страны интенсивно занимались производством синтетического кварца, обладающего указанными свойствами. Для геммологов эта работа не представляла интереса, пока в последующие годы в СССР (и возможно, в некоторых других странах) не были синтезированы разновидности кварца синего, зеленого и коричневого цветов, которые, появившись на рынке в ограненном виде, поставили геммологов перед необходимостью их «узнавания». Из других синтетических ювелирных камней, созданных сравнительно недавно, можно назвать флюорит, шеелит, александрит бирюзу и, что наиболее удивительно, опал. Кроме того, появился ряд прозрачных твердых кристаллов с высокими показателями преломления, не известных в природе и первоначально не предназначенных для ювелирных целей. Примером могут служить двойные окислы редких земель со структурой граната, которые и были по этой причине названы их создателями-физиками «гранатами». Минералоги, однако, считают данное название некорректным, поскольку гранаты с минералогической точки зрения представляют собой силикаты. Из синтетических гранатов наибольшей известностью пользуется алюминат иттрия, или иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), широко применяющийся для имитации алмаза.

Новейшим материалом, используемым сейчас для этой цели, является кубическая модификация окиси циркония<sup>1</sup>. При комнатной температуре она неустойчива, но может быть «стабилизирована» за счет введения в нее окиси кальция или некоторых других окислов. Природная окись циркония встречается в виде моноклинного минерала бадделита.

Из многих синтезированных к настоящему времени камней, достаточно твердых и прозрачных, чтобы представлять собой ювелирную ценность, мы подробно рассмотрим только те, которые находят широкое применение. Названия же и свойства камней, имеющих меньшее практическое значение, приведены в таблицах, чтобы гоммолог мог определить их, если они ему встретятся.

Прежде чем приступить к детальному описанию отдельных синтетических камней и способов их определения, мы приведем краткий обзор основных методов, используемых сейчас для выращивания ювелирных кристаллов.

### *Выращивание кристаллов из расплава*

1. Способ «плавления в пламени», известный как способ Вернейля, был впервые предложен французским химиком О. Вернейлем в конце прошлого века. Рубин, а в дальнейшем сапфир и другие камни из группы корунда, в том числе звездчатые формы, шпинели различных цветов, рутил и титанат стронция, были получены именно этим хорошо зарекомендовавшим себя методом.

2. Способ Чохральского заключается в «вытягивании» кристалла из расплава. Он успешно используется для получения крупных кристаллов шеелита, флюорита, редкоземельных гранатов и т. д. Пригоден также для производства сверхчистых рубиновых стержней для лазеров.

3. Способ Бриджмена — Стокбергера, при котором исходную шихту, расплавленную в тигле, заставляют кристаллизоваться, очень медленно опуская тигель в более холодную зону печи; используется для выращивания кристаллов флюорита и шеелита.

4. Так называемый способ зонной плавки, впервые предложенный советскими специалистами в 1973 г. для получения тугоплавких соединений, успешно используется для выращивания кристаллов кубической окиси циркония. Шихта плавится в высокочастотной печи с последующим медленным охлаждением.

### *Выращивание кристаллов из растворов*

1. Выращиванием кристаллов из раствора в расплавленном растворителе успешно синтезируются прекрасно образованные кристаллы изумруда, рубина, шпинели, александрита и специальных «гранатов».

<sup>1</sup> В СССР она получила название «фианит». — *Прим. ред.*

2. Гидротермальный рост кристаллов из щелочных водных растворов при умеренно высоких температурах и давлениях является, пожалуй, процессом, наиболее близким к природному. Так получают кварц, рубин и изумруд.

3. Кристаллизация в условиях высоких давлений необходима для производства технических алмазов. Скорость реакции повышают, увеличивая температуру.

Цель приведенного краткого обзора — ознакомить геммологов с большим разнообразием способов получения синтетических камней. Поскольку последние характеризуются в основном такими же свойствами, как и их природные аналоги, большое значение для распознавания как тех, так и других камней имеет способность геммолога замечать небольшие различия, которые обычно выявляются при внимательном исследовании материала с помощью лупы или микроскопа. Эти особенности природных и синтетических камней обусловлены специфическими условиями их кристаллизации. В природе кристаллы растут медленно под давлением из горячих водных растворов или из расплавленной магмы (в первом приближении эти условия подобны условиям гидротермального метода и метода выращивания из раствора в расплаве). Обязательным является также присутствие многих химических соединений, которые в определенных условиях вступают во взаимодействие, образуя ряд различных минералов. Поэтому при осмотре природного кристалла (или камня, ограненного из такого кристалла), как правило, можно наблюдать в нем мелкие включения других минералов, образовавшихся одновременно с ним, или следы окружающей жидкости, в которой он формировался.

Действительно, в природных кристаллах во включениях часто видны все три фазы (или состояния вещества) — твердая, жидкая и газообразная. Твердые включения достаточно разнообразны и могут служить хорошим признаком, позволяющим определить природу и происхождение основного минерала. Жидкие включения почти всегда состоят из воды с примесью хлористого натрия. Газообразные включения представлены, как правило, двуокисью углерода. В общезвестных трехфазных включениях, характерных для колумбийских изумрудов, плоские полости с остроугольным контуром заполнены водным раствором хлористого натрия, в котором плавают пузырек двуокиси углерода и небольшой кубик соли. В момент захвата кристаллом капля жидкости несомненно была гомогенной. Когда же температура понизилась, растворимость упала и раствор распался на существующие сейчас три фазы.

Синтетические камни выращивают в химически более «чистых» условиях, поэтому единственными посторонними кристаллическими включениями могут быть только соединения, сходные по составу с основным кристаллом. Так, в синтетическом изумруде, представляющем собой силикат бериллия и алюминия, во включениях обычно встречается фенакит (силикат бериллия).

Исключения из этого правила составляют те случаи, когда кристаллы выращиваются на «затравке» из природного минерала с характерными для него включениями. Кэрролл Чэтем, например, при выращивании рубинов пользуется затравкой из бирманского рубина, а Лехлейнер применяет в качестве затравки ограненный аквамарин или другой минерал из группы берилла и наращивает на него тонкий слой синтетического изумруда. Понятно, что остроумные идеи такого рода облегчают жизнь ювелирам и геммологам, которые пытаются защитить ювелиров и с их помощью покупателей от обмана.

Ниже описаны основные типы синтетических ювелирных камней, встречающихся в настоящее время на рынке, с их характерными особенностями, позволяющими отличать синтетику от природных камней. К счастью, природа включений является не единственным диагностическим признаком, на основании которого делается заключение. В распоряжении геммолога имеются дополнительные способы определения, сохраняющие много времени и труда, хотя некоторые из них могут быть реализованы только в хорошо оснащенной лаборатории.

## ПЕРВЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ РУБИНЫ

Первыми синтетическими драгоценными камнями, появившимися на мировом рынке, были рубины, полученные французским химиком Фреми, который работал сначала один, а затем совместно с Фейлем и Вернейлем. В 1877 г. ему удалось вырастить небольшие фиолетово-красные ромбоэдрические кристаллы рубина, сплавляя смесь окиси алюминия, карбоната калия, фторида бария и небольшого количества двуххромовокислого калия в глиняном тигле в течение восьми дней. Из полученных кристаллов были огранены небольшие камни. Наиболее совершенные кристаллы были использованы в ювелирных украшениях в необработанном виде, что предвосхитило современную моду.

В 1885 г. на рынке внезапно появились загадочные рубины весом 1—2 карата, которые сначала получили название женеvских по предполагаемому месту их производства. Камни имели химические и физические свойства природных рубинов и поначалу были приняты за таковые. Позднее было высказано предположение, что они получены сплавлением небольших кусочков природного рубина с добавкой двуххромовокислого калия для улучшения цвета. Эти рубины, а также подобные им камни, появившиеся в Лондоне и ряде других городов, стали называться «реконструированными». Более подробные сведения об этом можно найти в монографии Водички «Книга о драгоценных камнях» (1909 г., с. 219—220).

Небольшие, похожие на пуговицы булы, некоторые с «ножкой» из природного сиаmского рубина (рис. 7.1), а также ограненные из них камни можно встретить в некоторых музеях и в частных

коллекциях. Свойства данных камней и скудная литература, существующая по этому вопросу, недавно были критически рассмотрены К. Нассау из лаборатории «Белл телефон» и Ж. Р. Кроунингшилом из Геммологической торговой лаборатории в Нью-Йорке, которые пришли к заключению о маловероятности процесса «реконструирования» рубина. По их мнению, эти камни были получены с помощью примитивного процесса плавления в пламени порошка окиси алюминия, но, вероятно, с использованием кристалла



РИС. 7.1. Часть небольшой булы первых синтетических рубинов. Слева сверху фрагмент сямского рубина, используемого при синтезе в качестве затравки.

природного рубина в качестве затравки. Этот вывод достоин внимания, однако необходимо отметить, что столетняя тайна по-прежнему остается неразгаданной.

Различия между первыми синтетическими камнями и современной вернейлевской синтетикой, описанной в следующем разделе, представляют интерес для квалифицированных геммологов, но обычно не учитываются ювелирами или торговыми фирмами, которые относят оба типа камней к синтетическим рубинам, отбрасывая не слишком удачный термин «реконструированный».

Довернейлевская синтетика в ювелирных украшениях встречается довольно часто, по крайней мере в Англии. Можно думать, что период изготовления таких украшений был довольно коротким, что-нибудь между 1885 и 1910 гг. «Ранние» камни по сравнению с современными больше похожи на природные рубины благодаря более густому цвету и наличию многочисленных мелких пузырьков и включений, создающих эффект «шелковистости». Однако исследование с помощью лупы или микроскопа быстро выявляет их истинную природу. Обычно такие камни имеют форму овала или квадрата и весят от 1 до 2 каратов. Под микроскопом в них видны четко выраженные, напоминающие трещины, зачастую не совсем параллельные друг другу изогнутые линии роста, между которыми расположены более тонкие линии. В таком материале обычны также пузырьки, нередко крупные и твердые

включения нерасплавившейся шихты, концентрирующиеся на одной из плоскостей роста. Если в камне присутствуют пузырьки с хвостиками, можно видеть, что они двигались по направлению к *выпуклой* стороне изогнутых линий. В вернейлевских камнях движение таких пузырьков, особенно в верхней части булы, направлено к *вогнутой* поверхности. Другой особенностью старых камней является морозный узор («иней») в глубине камня, напоминающий выделения кальцита в некоторых колумбийских изумрудах.

### МЕТОД ВЕРНЕЙЛЯ

Когда французский ученый О. Вернейль сконструировал свою специальную печь (рис. 7.2) с водородно-кислородной горелкой, все ранние способы получения синтетического рубина были оставлены и началась эра промышленного производства синтетических драгоценных камней. С тех пор и до настоящего времени метод Вернейля успешно применяется для получения не только рубина и различных по цвету сапфиров, но также для производства шпинели, рутила и титаната стронция, что будет описано ниже.

Некоторые характерные признаки (изогнутые линии роста и газовые пузырьки), отличающие вернейлевские корунды от их природных аналогов, связаны со спецификой процесса их выращивания; поэтому мы считаем полезным привести его краткое описание.

Наиболее важное условие этого процесса — чистота шихты, а также кислорода и водорода, используемых в горелке. Окись алюминия, основную составляющую корунда, получают из алюмоаммиачных квасцов. Они представляют собой октаэдрические кристаллы двойного сульфата аммония и алюминия, содержащего кристаллизационную воду. Их подвергают перекристаллизации для повышения чистоты, а затем прокачивают в большом тигле при температуре 1100 °С. Квасцы разлагаются с образованием аммиака, двуокиси серы и паров воды, которые улетучиваются. Остается осадок — чистая окись алюминия в виде неустойчивой гамма-модификации — очень мелкого порошка. Если хотят получить рубин, то в квасцы перед прокачиванием вводят до 8% окиси хрома, вследствие чего прокаленный продукт приобретает бледно-зеленый цвет. Для получения синего сапфира в квасцы добавляют окислы железа или титана. Цвет желтого сапфира создается окисью никеля, александритоподобного корунда — окисью ванадия и т. д. Готовую шихту в виде порошка загружают в бункер, расположенный в верхней части печи. Дно бункера представляет собой сито. Горелка находится в кольцевой камере. Шихта под действием периодического постукивания механическим молоточком по бункеру начинает падать вниз, проходя через пламя; здесь порошок плавится. Расплавленная капля, пройдя через круглую каме-

ру плавления, попадает на керамическую подложку, где сначала образуется большое количество мелких кристалликов корунда, слагающих конус. Затем пламя в печи регулируют таким образом, чтобы в центре конуса начал расти небольшой стерженек, переходящий кверху в монокристалл. По мере подачи шихты он расши-

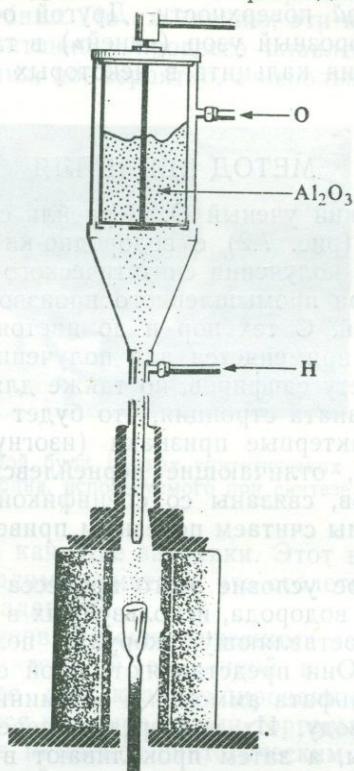


РИС. 7.2. Схема печи Вернейля.

ряется, образуя булю обычной формы — сужающийся книзу цилиндр диаметром около 18 мм. Вследствие больших внутренних напряжений буля корунда легко расщепляется по длине на две половинки, которые затем пускают в обработку для использования в ювелирном деле или в технике.

Этим же способом можно выращивать аналоги природной шпинели, используя в качестве шихты окислы алюминия и магния. Полученные кристаллы окрашивают окисью кобальта в синий цвет, окислами марганца в бледно-зеленый и окислами железа в бледно-розовый цвет. При соотношении окислов алюминия и магния 1 : 1, как в природной шпинели, буля растет плохо. Самое благоприятное с технологической точки зрения соотношение — 3,5 ча-

сти окиси алюминия на 1 часть окиси магния. В результате получается материал, представляющий собой смесь кристаллов шпинели и гамма-модификации окиси алюминия, с которой она изоморфна. Тенденция кубической  $\gamma = \text{Al}_2\text{O}_3$  к переходу в устойчивую тригональную  $\alpha = \text{Al}_2\text{O}_3$  (корунд) приводит к возникновению внутренних напряжений в булях, поэтому булы синтетической шпинели всегда имеют аномальное двупреломление, хорошо видное при исследовании их между скрещенными поляроидами.

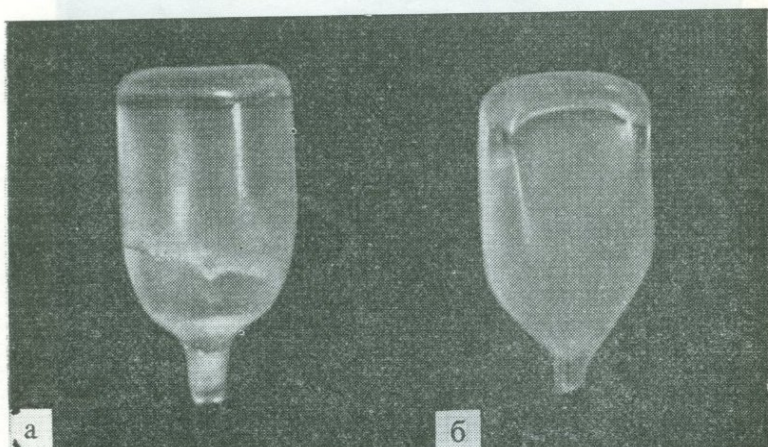


РИС. 7.3. Булы корунда (а) и шпинели (б).

Типичные образцы булы корунда и шпинели приведены на рис. 7.3. Булы корунда обычно не обладают кристаллической формой, шпинелевые булы характеризуются несколько уплощенными гранями кубического кристалла. Верхняя площадка как тех, так и других булей имеет матовую поверхность, сложенную мелкими кристаллами, образующимися в результате ее быстрого охлаждения при выключении горелки. Структуры этой поверхности у булей двух типов легко различаются под лупой. Поверхность корундовой булы состоит из мелких перекрывающихся ромбоэдрических чешуек, напоминающих черепицу на крыше, тогда как у шпинелевой булы видны цепочки соединенных октаэдров, пересекающихся под углом  $90^\circ$ .

Изогнутые линии роста, которые обычно заметны только в окрашенном синтетическом корунде, обусловлены периодическим падением капель на верхнюю площадку булы и большей по сравнению с окисью алюминия летучестью некоторых окрашивающих окислов. Это и приводит к различиям в окраске и показателе преломления соседних слоев. Газовые пузырьки, встречающиеся в большинстве синтетических корундов, состоят почти всегда из во-

дорода, присутствующего в печи в избыточном количестве; газ захватывается падающими частичками шихты и попадает в булю. В синтетических синих сапфирах изогнутые окрашенные полосы, как правило, достаточно широки, их можно наблюдать невооруженным глазом, особенно когда камни погружены в соответствующую жидкость и наблюдаются на белом фоне. В синтетическом рубине и других окрашенных синтетических корундах линии ро-

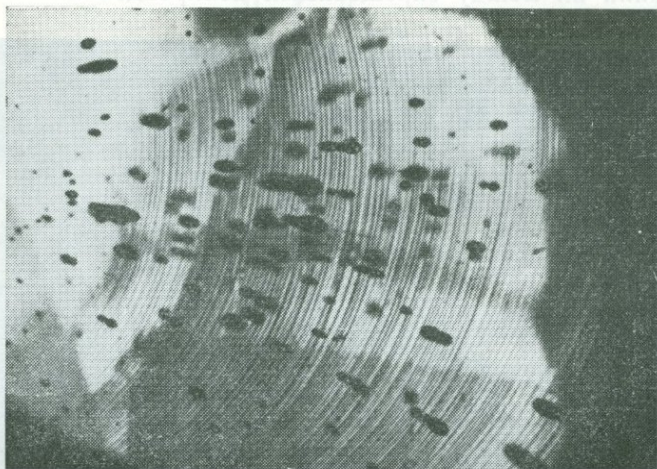


РИС. 7.4. Изогнутые линии и пузырьки в синтетическом рубине.

ста гораздо тоньше. При увеличении они выглядят как линии на грамофонной пластинке. Следует отметить, что и в синем сапфире, в котором обычно видны широкие окрашенные полосы, фактические *линии роста* такие же тонкие. Автор обнаружил это при исследовании, проведенном по описанной ниже методике. При обычном же осмотре видны лишь широкие контрастные цветные полосы. Линии роста во всех случаях заметны только тогда, когда камень правильно ориентирован, т. е. когда наблюдение ведется в направлении, перпендикулярном оси исходной були, и камень исследуется с помощью лупы при подходящем освещении на фоне белой бумаги. Поэтому понятно, что при исследовании закрепленных в оправе камней эти важные для определения камня особенности можно упустить. Характер линий роста в синтетическом рубине и синтетическом сапфире представлен на рис. 7.4 и 7.5 соответственно.

Эксперименты, выполненные в лаборатории автора, показали, что на фотографиях синтетических корундов, выполненных методом иммерсионного контраста, изогнутые линии часто хорошо заметны даже тогда, когда их не удается обнаружить при том же

самом положении камня с помощью лупы или под микроскопом. Этот факт в некоторых случаях может иметь большую практическую ценность. Общие принципы метода уже были описаны в гл. 2 применительно к определению показателя преломления. Важно, чтобы пучок света, проходящий через образец и попадающий на пленку, был бы узким и более или менее параллельным.

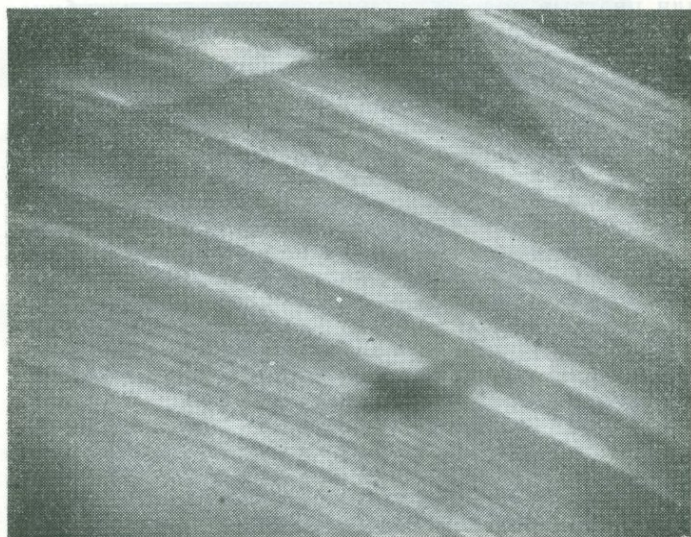


РИС. 7.5. Изогнутые разноокрашенные полосы в синтетическом сапфире.

В качестве иммерсионной жидкости очень хорош иодистый метилен, поскольку его показатель преломления для синего и фиолетового света, к которому чувствительна эмульсия применяемой фотопленки, почти такой же, как у корунда. Успешную съемку объекта можно проводить через фотоувеличитель (при диафрагме  $f/22$ ). При этом удастся наблюдать изогнутые линии роста даже в бесцветном синтетическом корунде. Вместе с изогнутыми линиями видны прямые линии, образующие с первыми острый угол; причина появления таких линий до сих пор не выяснена. Описываемый метод позволяет выявить изогнутые линии роста только тогда, когда ориентировка образца не очень сильно отличается от оптимальной. Крупные синтетические камни обычно гранят так, чтобы площадка была параллельна длине исходной булы. Поэтому линии роста должны наблюдаться в направлении, перпендикулярном площадке, — момент, очень важный в случае использования описанной методики. У желтых синтетических сапфиров таких линий не видно.

Американский геммолог Уильям Дж. Дженкинс, совершенствуя указанную методику выявления линий роста, достиг удивительных результатов, когда стал использовать узкий пучок света от небольшого, но яркого фонарика, расположенного над образцом на расстоянии около метра. Образец при этом укладывали на фотопленку без иммерсионной жидкости.

В отличие от изогнутых линий роста синтетических корундов линии или цветные полосы, видимые в природных рубинах и сап-

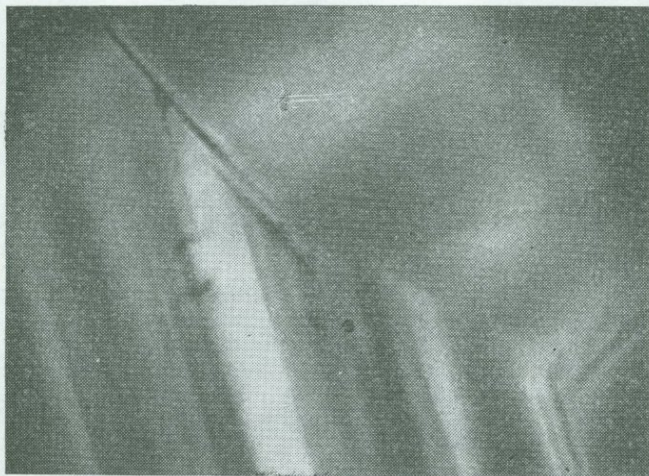


РИС. 7.6. Зональные разноокрашенные полосы в природном сапфире.

фирах, строго прямолинейны, поскольку они повторяют очертания исходного кристалла, всегда имеющего грани (рис. 7.5 и 7.6). Более того, такие линии или полосы в природных камнях часто пересекаются под углом  $120^\circ$ , так как они параллельны очертаниям гексагонального кристалла. Газовые пузыри, характерные для синтетических корундов, никогда не встречаются в природных камнях. В то же время в природных корундах с помощью лупы или микроскопа можно обнаружить небольшие кристаллические включения минералов, сосуществующих в природе с корундом, — циркона, рутила, шпинели, слюды — или даже кристаллы самого корунда. Для природных камней характерны также небольшие плоские полости, содержащие жидкость. Обычно они группируются в одной плоскости, часто слегка изогнутой, образуя так называемые «перья». Рубины и сапфиры из различных месторождений имеют свои специфические включения. Например, только в бирманских рубинах (рис. 7.7) встречаются участки с бесчисленными тонкими короткими рутиловыми иглами, пересекающимися под

углом  $120^\circ$ ; такие участки называются «шелком» благодаря их внешнему виду в отраженном свете. Лишь в корундах с острова Шри Ланка можно увидеть кристаллы циркона, окруженные гало, похожими на трещины. Эти и другие признаки природных рубинов и сапфиров более подробно будут описаны в соответствующих главах.

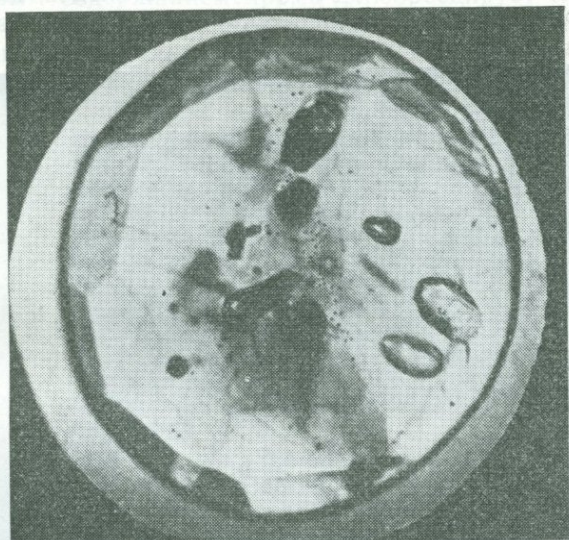


РИС. 7.7. Включения в бирманском рубине.

У ребер ограненных синтетических корундов часто наблюдаются небольшие, более или менее параллельные, похожие на трещины штрихи (рис. 7.8). Огранщики называют их «огневыми метками» из-за того, что они образуются как результат местного перегрева при полировке. Они характерны только для синтетических камней, огранка которых всегда ведется менее тщательно, чем огранка природных корундов. Другой особенностью синтетических корундов, которая помогает при их идентификации, является сильный дихроизм, заметный при наблюдении ограненного рубина через дихроскоп в направлении, перпендикулярном площадке камня. При огранке природных рубинов камень обычно ориентируют таким образом, чтобы площадка располагалась перпендикулярно оптической оси кристалла, что улучшает цвет камня. В этом случае при исследовании камня с помощью дихроскопа через площадку дихроизм не наблюдается. Наличие сильного дихроизма в этом направлении заставляет настораживаться, поскольку такой дихроизм характерен лишь для синтетического рубина, при огранке которого определенной ориентировки не придерживаются.

При наличии специального лабораторного оборудования можно провести дополнительные испытания для выяснения происхождения рубина. Прежде всего, как это было установлено автором и другими специалистами, синтетические рубины значительно прозрачнее для коротковолнового ультрафиолетового излучения, чем природные. Основным фактором, обуславливающим это различие, является, по-видимому, присутствие следов железа в последних. Прозрачность камней легко определяется без использо-



РИС. 7.8. Пузырьки и поверхностные трещины в синтетическом рубине.

вания сложного оборудования методом иммерсионной фотографии, впервые предложенным Норманом Деєм.

Камни кладут площадкой вниз на лист фотобумаги, которую опускают на дно плоской ванночки. Затем в нее наливают воду, так чтобы полностью закрыть камни. Вся процедура, конечно, должна выполняться либо в темноте, либо при красном свете. Затем камни освещают в течение нескольких секунд светом ультрафиолетовой лампы (длина волны  $2537 \text{ \AA}$ ), закрепленной на расстоянии около 45 см от ванночки. Если экспозиция выбрана правильно, то после проявления изображения природных рубинов будут иметь вид белых пятен (что свидетельствует об их непрозрачности для ультрафиолетовых лучей). Изображения синтетических камней выглядят темными, за исключением светлого ободка по периметру. Результат такого испытания показан на рис. 7.9. Бумага «велокс» фирмы «Кодак» дает лучшие результаты, чем

более чувствительные бромосеребряные бумаги или фотопленки. При освещении коротковолновым ультрафиолетовым светом, например с помощью лампы «Минералайт», синтетические рубины обычно флюоресцируют значительно ярче, чем природные камни. Это позволяет быстро отобрать сомнительные камни из большой партии корундов для микроскопических исследований. Синтетика с повышенным содержанием хрома флюоресцирует слабее, поэтому на такое испытание не стоит полагаться слишком сильно.

Коротковолновое ультрафиолетовое излучение может оказать большую помощь в распознавании синтетических и природных

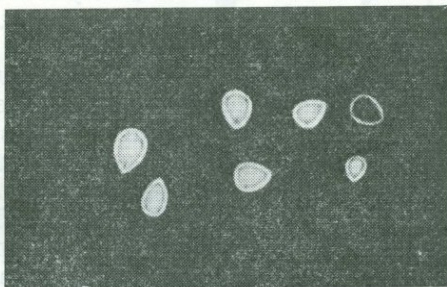


РИС. 7.9. Фотография границ одного синтетического и шести природных рубинов, погруженных в воду. Видна хорошая прозрачность синтетического рубина для коротковолнового ультрафиолетового света.

сапфиров. Синтетические сапфиры дают в таких случаях голубовато-белое или зеленоватое свечение, что может быть обусловлено титаном. Природные сапфиры флюоресцируют очень редко, поскольку в них содержится довольно много железа, которое гасит флюоресценцию. Если свечение выявлено, то следует провести дополнительные исследования с помощью лупы или микроскопа, чтобы увидеть изогнутые линии роста.

Если микроскоп не дает точных результатов, для проверки можно использовать рентгеновскую установку. Как синтетические, так и природные рубины в рентгеновских лучах дают ярко-красную флюоресценцию, однако после прекращения облучения заметную фосфоресценцию можно наблюдать только у синтетических камней; у природных рубинов она отсутствует. Этот эффект лучше заметен в темной комнате, когда глаза привыкнут к темноте и станут более чувствительными к восприятию довольно слабой фосфоресценции. Короткая, но отчетливая фосфоресценция наблюдается у некоторых природных рубинов. Следует отметить, что у сиамских рубинов, а также у восточноафриканских рубинов, содержащих относительно много железа, флюоресценция в рентгеновских лучах практически полностью подавлена. Эти сведения

полезны для геммолога, поскольку сиамские рубины иногда лишены включений, что затрудняет их определение. Информация может также заинтересовать тех, кто из коммерческих соображений любит классифицировать рубины по названию месторождения вместо того, чтобы установить их стоимость в зависимости от цвета, качества и размера. Лучшие сорта рубинов, недавно найденных в Кении, по цвету близки к бирманским и характеризуются таким же неравномерным распределением окраски и ярко-красной флюоресценцией в ультрафиолетовых лучах.

Спектроскоп может оказать большую помощь в распознавании природных и синтетических камней и в случае корундов других цветов. Природные зеленые сапфиры, например, дают в синей области спектра группу из трех переходящих одна в другую полос поглощения, что на первый взгляд создает впечатление одной широкой полосы. В спектре синтетического зеленого корунда ни одной подобной полосы не наблюдается. Гораздо важнее для практики является тот факт, что у большинства природных синих сапфиров почти всегда может наблюдаться наиболее интенсивная линия из трех упомянутых полос (длина волны 4500 Å). В синтетических сапфирах она отсутствует, и это дает критерий для выявления природных камней. Сказанное справедливо и для желтых сапфиров из Таиланда (сиамские сапфиры), Австралии и США (шт. Монтана). Желтые цейлонские сапфиры могут содержать так мало железа, что не дают характерных полос в спектре, однако они всегда дадут отчетливую зеленовато-желтую флюоресценцию в длинноволновых ультрафиолетовых лучах. Желтые сапфиры, которые в спектре не имеют полос и не флюоресцируют, почти наверняка являются синтетическими. Синтетические сапфиры теплого желтого или оранжевого оттенка характеризуются красной флюоресценцией в рентгеновских лучах и отчетливым послесвечением. Такая фосфоресценция дает четкий критерий для их отличия от природных желтых камней. И наконец, в синтетических корундах, окрашенных ванадием и имитирующих александрит, можно наблюдать очень четкую узкую линию в синей области спектра при 4750 Å, тогда как природный александрит имеет совсем другой спектр (см. гл. 8).

Решее встречаются синтетические «фантазийные» сапфиры, имитирующие аметист; такие камни довольно трудно определяются, поскольку обычно в них не видно ни изогнутых линий роста, ни пузырей. Роберт Вебстер нашел, что в этом случае полезно использовать длинноволновое и коротковолновое ультрафиолетовое излучения, поскольку первое дает красную, а второе — голубовато-белую флюоресценцию. Двойной эффект уникален и довольно надежен.

Несколько слов следует сказать о газовых пузырях, о которых ранее было просто упомянуто в связи с обсуждением типичных особенностей камней, полученных методом Вернейля (главным

образом корундов). Такие пузыри в синтетических камнях и стекле стоит изучать, поскольку их форма сильно зависит от материала (рис. 7.10). Кроме того, важно научиться отличать небольшие

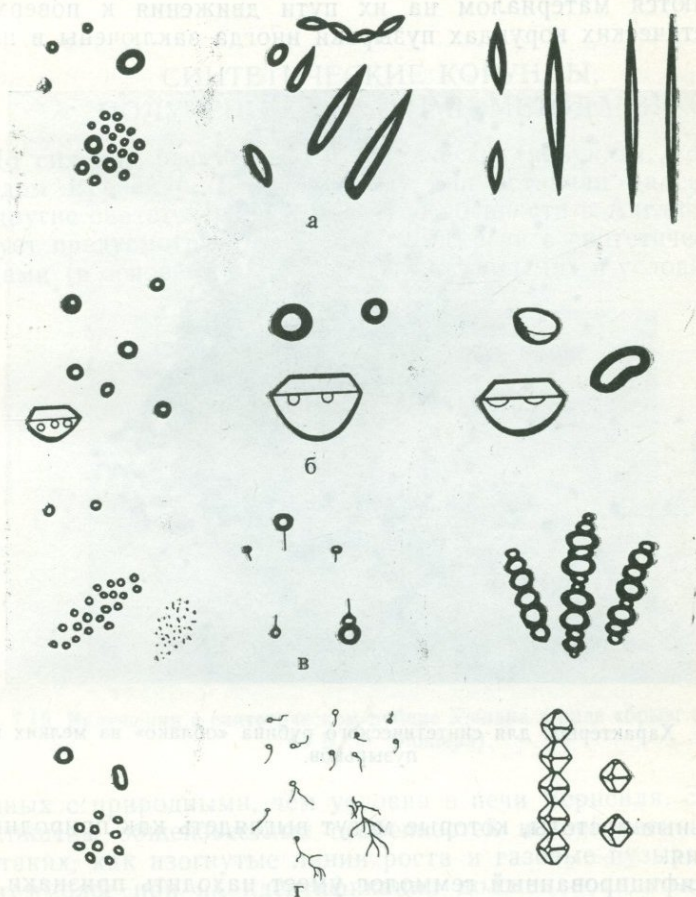


РИС. 7.10. Типичные формы пузырьков в стекле (а), дублетах (б), синтетическом корунде (в), синтетической шпинели (г) (по Д. Левелю).

округлые кристаллические частицы, встречающиеся во многих природных камнях, от довольно похожих на них пузырей синтетических камней. Для синтетических корундов обычны мелкие сферические изолированные пузырьки, образующие небольшие скопления, или «облака» (рис. 7.11). Некоторые из них искажены. Иногда скопления имеют удивительно «природный» вид. Пузырьки могут быть сильно вытянутыми, что нередко приводит в сму-

щение новичков. Более крупные пузыри, характерные только для основания булы, часто имеют форму бутылки или бомбы, причем линия «падения» этих бомб располагается под прямым углом к изогнутым линиям роста. Это объясняется тем, что пузырьки захватываются материалом на их пути движения к поверхности. В синтетических корундах пузырьки иногда заключены в плоские

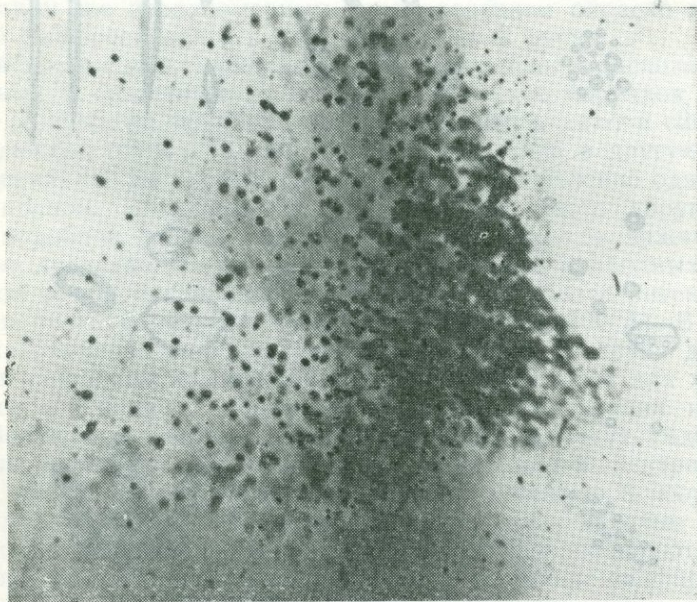


РИС. 7.11. Характерное для синтетического рубина «облако» из мелких газовых пузырьков.

треугольные пустоты, которые могут выглядеть как природные образования.

Квалифицированный геммолог умеет находить признаки, которые предупреждают его о том, что камень является вернейлевской синтетикой. Цвет синтетических камней кажется как бы «застывшим», потому что, кроме основного хромофора, в них нет примесей других окрашивающих элементов. Форма огранки диктуется требованиями массового производства камней с тенденцией применять довольно необычные типы огранки, которые никогда не используются при обработке ценных природных камней. Рундист у них, как правило, весьма широкий, а диаметр (для круглых камней) или ширина и длина (для камней ступенчатой огранки) изготовлены с точностью до миллиметра; на основании этих размеров камень оценивается при оптовой продаже. В ограненных

«синтетических корундах, как уже было отмечено, часто наблюдаются «огневые метки». Окраска синтетических шпинелей, как будет описано ниже, не соответствует цветам, наблюдаемым у природных шпинелей.

### СИНТЕТИЧЕСКИЕ КОРУНДЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДРУГИМИ МЕТОДАМИ

До сих пор речь шла о синтетических корундах, полученных методом Вернейля. По количеству они оставили далеко позади все другие синтетические камни (в особенности в Англии), однако следует предусмотреть возможность встречи с синтетическими корундами (в основном рубинами), «рожденными» в условиях, более

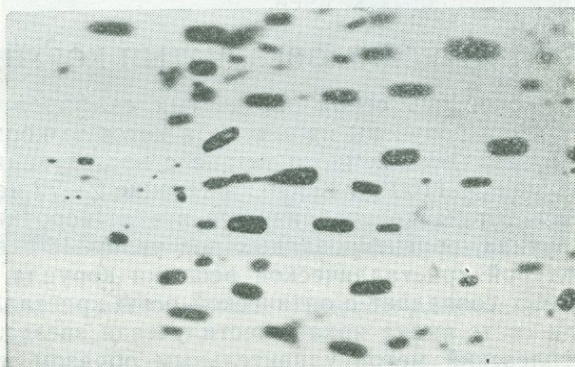


РИС. 7.12. Включения в синтетическом рубине Кэшана в виде «брызг краски» (фото В. Ф. Эпплера).

сходных с природными, чем условия в печи Вернейля. Эти корунды лишены общеизвестных особенностей вернейлевской синтетики, таких, как изогнутые линии роста и газовые пузырьки, поэтому геммолог при их идентификации должен полагаться на другие признаки.

В США успешно получают корунд методом выращивания из раствора в расплаве в лабораториях Кэшана и Чэтема. К. Чэтем в основном получает друзы, хотя иногда образуются и отдельные кристаллы, из которых можно гранить камни весом 1—2 карата. Кэшан специализируется на получении отдельных кристаллов темно-красного рубина, дающих материал для огранки камней весом до 10 каратов и более.

Некоторые включения в таких синтетических камнях располагаются таким образом, что напоминают занавеси — особенность, знакомая геммологам по многим синтетическим изумрудам. Это

характерный признак синтетических камней, полученных методом выращивания из раствора в расплаве. В камнях Чэтема иногда можно заметить затравку из природного кристалла. Для камней Кэшана характерны группы сильно вытянутых параллельных уплощенных пустот, похожих на удлиненные следы мокасин (рис. 7.12). Однако, по мнению некоторых авторов, они больше похожи на брызги краски. Поскольку по характеру флюоресценции и другим свойствам камни Кэшана очень сходны с природными рубинами, на эти признаки полагаться нельзя. Правда, флюоресценция камней Кэшана сильнее, чем свечение рубинов из Таиланда, от которых они отличаются и распределением окраски. Кроме того, в них нет «шелка». Прозрачность для коротковолновых ультрафиолетовых лучей немного выше, чем у природных рубинов, но все опыты необходимо проводить в тщательно контролируемых условиях с использованием эталонных камней.

### СИНТЕТИЧЕСКИЙ ЗВЕЗДЧАТЫЙ КОРУНД

В 1947 г. появилась серия звездчатых сапфиров и рубинов, булы для них были получены из шихты, в которую кроме обычных хромофоров добавлялось немного титана с последующим отжигом при температурах от 1100 до 1500 °С в течение 2—72 часов. В этих условиях окись титана кристаллизуется в виде коротких и тонких кристаллов рутила, ориентированных под углом 120° в соответствии со структурой кристаллической решетки корунда. В кабошонах, ось которых совпадает с оптической осью кристалла корунда, в отраженном свете видна яркая шестилучевая звезда. Таким образом, вернейлевский метод удивительным образом вторгается в область, где, как полагали, природа всегда останется непревзойденной.

Синтетические звездчатые камни почти всегда можно определить с первого взгляда. Звезда обычно очень яркая, как бы нарисованная на поверхности камня. Цвет синтетических камней также ярче, чем природных звездчатых корундов, у которых хороший цвет редко сочетается с четко очерченной звездой. Кроме того, для синтетических камней характерна аккуратная нижняя поверхность кабошона. В них отсутствует зональность, почти всегда наблюдающаяся в природных звездчатых корундах. Как правило, имеется большое количество пузырей и отчетливо видны изогнутые линии роста. Камни варьируют от полупросвечивающих образцов до почти непрозрачных. В последних нужно искать пузыри непосредственно вблизи поверхности, освещая камень сверху.

### СИНТЕТИЧЕСКАЯ ШПИНЕЛЬ

Как уже было сказано раньше, синтетические шпинели также можно выращивать методом Вернейля. Первые камни были получены случайно в начале века, когда пытались окрасить кобальтом

синтетический корунд, используя в качестве флюса окись магния. Однако вплоть до середины 20-х годов синтетическая шпинель производилась в ограниченном масштабе. Цвет синтетической шпинели непохож на окраску природной шпинели. Обычно ей придают такие оттенки, которые имитируют голубой циркон, аквамарин, александрит, сапфир и даже алмаз. Свойства всех этих камней совершенно отличны от свойств шпинели, и несмотря на близкий облик имитации можно легко распознать с помощью простых методов, только в редких случаях прибегая к микроскопу.



РИС. 7.13. Изогнутые полосы и облака пузырьков в синтетической красной шпинели.

У синтетической шпинели (за исключением красной разновидности (рис. 7.13), которая была выпущена небольшой партией) изогнутые линии роста практически незаметны, и большинство камней не содержит пузырьков. Оба этих обстоятельства обусловлены сравнительно медленным ростом булей. Отсутствие линий роста и пузырьков наблюдается и в желтых синтетических корундах, которые (согласно данным профессора В. Ф. Эпплера) также обычно растут медленно. Если у синтетической шпинели пузыри все же есть, то они могут иметь очень причудливую форму, хотя иногда встречаются мелкие сферические пузырьки. Чаше, однако, в камне видны сильно вытянутые пузыри, нередко ориентированные в одном направлении, и крупные «профилированные» пузыри, похожие на большой закрытый зонтик или бутылку, сделанную неопытным стеклодувом. Как показал доктор Э. Гюбелин, крупные пузыри часто повторяют форму отрицательных кристаллов, более или менее гексагональных в поперечном сечении, причем пузыри могут быть сгруппированы в плоскостях, перпендикулярных тригональной оси решетки, в виде шестиугольника. В этом

случае они очень похожи на природные образования, за которые начинающие геммологи их и принимают.

А. Дж. Брибарт впервые наблюдал и описал двухфазные включения в синтетической шпинели. Они представляют собой небольшие плоские пустоты, заполненные жидкостью или газом, зачастую соединенные тонким каналом с аналогичной плоской



РИС. 7.14. Синтетическая шпинель между скрещенными поляроидами; видны «муар» и пузырьки.

полостью, параллельной первой и расположенной под ней. Кроме того, в синтетической шпинели иногда наблюдаются небольшие, похожие на запятую пузырьки. Все разнообразие форм пузырьков чрезвычайно интересно для геммолога, однако, к счастью, у синтетической шпинели имеется много других характерных признаков, позволяющих распознать ее без особого труда.

Как уже было отмечено, состав синтетической шпинели сильно отличается от состава природной значительным избытком окиси алюминия. Это сказывается на ее физических свойствах, в частности ее показатель преломления повышается до значения 1,727, которое обычно варьирует лишь на одну единицу в третьем знаке после запятой. Природные шпинели, если они не содержат цинка, имеют показатель преломления от 1,715 до 1,720. Удельный вес синтетических камней равен  $3,63 \div 3,64$ , природных  $3,58 \div 3,60$  (за

исключением цинксодержащей синей шпинели, у которой как плотность, так и показатель преломления могут быть значительно выше). Другой особенностью синтетической шпинели, обусловленной избытком окиси алюминия, имеющей тенденцию превращаться в условиях напряженного состояния в корунд, является очень характерное при работе со скрещенными поляроидами аномальное двупреломление. Автор назвал его муаровым погасанием (см. рис. 7.14). Это особенно следует помнить, когда определяются мелкие, ограненные багеткой, камни бесцветной синтетической шпинели, имитирующие алмазы в ювелирных изделиях.

Если у камня в изделии, целиком погруженном в иодистый метилен, нет рельефа, то можно быть уверенным в том, что это не алмаз, а муаровое погасание покажет, что это синтетическая шпинель, а не синтетический сапфир или свинцовое стекло.

Для идентификации синтетической шпинели, особенно ее очень популярных голубых разновидностей, имитирующих аквамарин, можно использовать фильтр Челси и спектроскоп. Почти всегда синяя окраска шпинели обусловлена кобальтом. Следствие этого — поглощение в желто-зеленой и полное пропускание в дальней красной области спектра, что в свою очередь приводит к тому, что под фильтром Челси камень выглядит ярко-красным. Природные голубые шпинели, если их рассматривать через фильтр, также могут иметь слегка красноватый оттенок, однако их едва ли можно принять за синтетические камни, поскольку свойственный им голубой цвет при дневном освещении сильно отличается от цвета синтетической шпинели.

С помощью спектроскопа можно увидеть в спектре синей синтетической шпинели три широкие полосы поглощения, обусловленные кобальтом. У бледно-голубых камней, имитирующих аквамарин, эти полосы едва заметны, но у синих, напоминающих сапфир камней они интенсивны и столь широки, что почти сливаются в одну полосу, простирающуюся от оранжевой до зеленой областей спектра. Темно-синие камни дают в отраженном свете красные рефлексы, позволяющие установить их природу невооруженным глазом. Обычно в эти камни для улучшения их цвета вводят небольшое количество хрома, который вызывает красную флюоресценцию в ультрафиолетовых лучах или между скрещенными фильтрами.

Реже в ювелирном деле применяется синтетическая шпинель других окрасок. Привлекательный розовый цвет, напоминающий цвет розового берилла (воробьевита), получается при добавке железа, бледный желтовато-зеленый — при добавке марганца. Присутствие в шпинели марганца приводит к появлению интенсивной зеленой флюоресценции в ультрафиолетовом свете и дает в спектре две полосы поглощения в фиолетовой области. Может быть получена синтетическая шпинель, напоминающая по цвету александрит и так же, как и он, изменяющая окраску при смене

освещения, однако такие камни встречаются редко. Естественно, у такой шпинели отсутствует дихроизм, что в сочетании с изотропностью и более низким показателем преломления позволяет сразу же отличить ее от настоящего александрита (хризоберилла). Во всяком случае, эта разновидность синтетической шпинели по внешнему виду гораздо больше похожа на александрит, чем широко распространенные синтетические корунды, окрашенные ванадием.

Бесцветная синтетическая шпинель очень чиста, прозрачна и совершенно лишена какого-либо оттенка. Несмотря на то что ее дисперсия (0,020) в интервале линий В и G солнечного спектра лишь немного выше дисперсии корунда (0,018), она дает значительно больше «огня», чем корунд, и часто применялась для имитации алмаза, особенно когда камни гранили в форме багетки. Это делает менее заметным недостаток игры и блеска у шпинели по сравнению с алмазом, чем в случае бриллиантовой огранки. Погружение в иодистый метилен и осмотр между скрещенными поляроидами — вот самые простые методы определения бесцветной синтетической шпинели. Еще один полезный диагностический признак — ее интенсивная голубовато-белая флюоресценция при облучении коротковолновым ультрафиолетовым светом.

Как-то на рынке появилась небольшая партия красной синтетической шпинели, полученной методом Вернейля, однако в настоящее время ее производство, по-видимому, прекращено. У этих камней соотношение между окисью магния и окисью алюминия было почти таким же, как и у природных шпинелей. Они содержат повышенное количество хрома, обуславливающего их насыщенный красный цвет, довольно высокие показатели преломления (1,725) и плотность (3,60). Под микроскопом легко различаются любопытные изогнутые цветные полосы, заметно отличающиеся от полос, наблюдаемых в вернейлевских рубинах, а также облака мелких пузырей. Камни, как и следует ожидать, дают красную флюоресценцию в скрещенных фильтрах или при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом, однако у них отсутствует группа флюоресцирующих линий, напоминающих трубы органа, столь характерная для спектра природной красной шпинели. Полоса испускания в основном располагается при 6850 Å.

Все это относится и к прекрасным кристаллам красной синтетической шпинели, полученным методом выращивания из раствора в расплаве. Этим методом выращивались не только красные, но также синие, зеленые, желтые и бесцветные кристаллы в виде небольших эффектных друз, предназначенных главным образом не для огранки, а для непосредственного использования в ювелирных украшениях, как того требует современная мода. Такие друзы можно сразу отличить от природных шпинелей по форме и по ярким кричащим цветам. Кроме того, как и все синтетические кристаллы, они весьма шероховаты на ощупь, как это заметила Д. Левель из Парижской геммологической лаборатории.

## СИНТЕТИЧЕСКИЙ РУТИЛ

Рутил, обладающий самой сильной игрой из всех синтетических камней, также может быть получен методом Вернейля. Его первое появление в 1949 г. произвело сенсацию, однако широкого признания в качестве ювелирного материала он так и не получил, и его значение в торговле значительно уступает значению синтетических корундов, шпинели и даже изумруда. Рутил знаком геммологам в форме иглообразных кристаллических включений в рубине и в кварце (волосатике; здесь иглы более крупные) — это так называемые «стрелы Амура» («волосы Венеры»). Они обычно имеют красновато-бурый цвет. Природные кристаллы рутила очень редко настолько прозрачны, чтобы быть пригодными для огранки.

Були синтетического рутила выращивают в печи Вернейля, оборудованной специальным патрубком для впуска кислорода. Это позволяет снизить потерю кислорода кристаллами, что неизбежно при высоких температурах. Такая потеря крайне нежелательна, так как буля при этом полностью темнеет. Були, выходящие из печи, как правило, темные и непрозрачные. Чтобы они стали пригодными для огранки, их необходимо отжечь в потоке кислорода при температуре около 1000 °С. В процессе обработки можно получить рутил самых разнообразных цветов. Основная цель изготовителей — получить совершенно бесцветный материал — до сих пор не достигнута. Всегда остается заметный желтоватый оттенок. Попытка добиться большей «близны» у рутила с помощью добавки окиси стронция принесла лишь частичный успех. Лучший вид имеют камни, покрытые пленкой корунда, которую наносят для повышения твердости поверхности. Варьируя режим термообработки булей, получают красные, оранжевые, голубые и коричневые разновидности рутила, дающие в ограненном виде удивительно красивые камни. По мнению автора, они выглядят значительно лучше бесцветных камней, которые только и встречаются в продаже — главным образом из-за тщетной попытки имитировать алмаз. Рутил имеет следующие свойства: твердость 6, плотность 4,25, показатели преломления 2,61 для обыкновенного луча и 2,90 для необыкновенного, двупреломление 0,287; он одноосный положительный. Дисперсия (т. е. разница показателей преломления для длин волн 6708 и 4358 Å) составляет 0,285 для обыкновенного луча, что соответствует приблизительно величине 0,300 для стандартной области между линиями В и G солнечного спектра. Таким образом, дисперсия у рутила в семь раз выше, чем у алмаза, даже для этого луча и должна быть еще выше для необыкновенного луча. Двупреломление рутила очень велико и превышает двупреломление циркона почти в пять раз. Оно много выше, чем у исландского шпата, который считается высокодвупреломляющим минералом (0,172).

Свойства синтетического рутила позволяют легко определить его визуально. Очень сильная «игра» буквально наполняет камень разноцветными рефлексами, делая его похожим на благородный опал. Высокий показатель преломления придает поверхности сильный, однако более «мягкий», чем у алмаза, блеск, а двупреломление вызывает очень сильное раздвоение ребер задних граней при наблюдении их через площадку. Опытные гранильщики научились так ориентировать камень, что оптическая ось (направление, в котором отсутствует двупреломление) располагается перпендикулярно площадке. Тем самым смягчается «несфокусированный» вид, обусловленный сильным двупреломлением при рассматривании камня сверху. Исследование слегка наклоненного камня с помощью лупы позволит заметить сильное раздвоение, значительно более сильное, чем, например в сфене: последний, пожалуй, является единственным из природных камней, за который может быть принят этот синтетический продукт.

В заключение можно упомянуть еще одну особенность синтетического рутила — в его спектре наблюдается сильное поглощение в фиолетовой области, начиная с 4250 Å. Наличие этой полосы, по-видимому, и является причиной желтоватого цвета камня и его высокой дисперсии, поскольку показатель преломления всегда резко возрастает, когда приближается к области интенсивного поглощения.

### ТИТАНАТ СТРОНЦИЯ

Титанат стронция, который, как минерал, в природе не найден, получают в усовершенствованной печи Вернейля. При этом в печь вводят дополнительное количество кислорода через кольцевую трубу, опоясывающую основную трубу, подводющую к горелке водород. Готовые булы титаната стронция, как и булы рутила, имеют черный цвет и для получения бесцветного материала их необходимо отжечь в кислороде.

Титанат стронция (известный в торговле под названием «фабулит») по своему внешнему виду и оптическим свойствам стоит к алмазу ближе, чем какой-либо другой минерал, природный или синтетический. Он практически бесцветен, относится к кубической сингонии и поэтому изотропен, его показатель преломления 2,41, т. е. практически такой же, как у алмаза. Дисперсия титаната стронция приблизительно в четыре раза выше дисперсии алмаза, и поэтому у него игра больше, чем у алмаза, однако не такая сильная, как у рутила. Удельный вес титаната стронция равен 5,13, а твердость около 5,5. Последняя особенность служит хорошим признаком для распознавания закрепленного камня. Стальная игла, которая является одним из наиболее легкодоступных «индикаторов твердости» и при этом не сильно повреждает камень, оставляет след на титанате стронция, тогда как на алмазе, есте-

ственно, никаких следов не остается. В лупу можно заметить, что ребра этого синтетического камня слегка закруглены в отличие от ребер алмаза.

В нескольких образцах титаната стронция автор обнаружил небольшие включения, похожие на сороконожку или лестницу с изогнутыми ступеньками, не имеющую перил. В спектре этого камня не наблюдается никаких полос поглощения, однако весь свет с длиной волны короче 4150 Å в фиолетовой области полностью поглощается.

С помощью соответствующего оборудования можно выявить у титаната стронция отсутствие флюоресценции в ультрафиолетовых или рентгеновских лучах и непрозрачность для рентгеновских лучей, что позволяет отличить его от алмаза. Ювелир, не имеющий такого оборудования, должен быть всегда начеку, когда видит «алмаз» с необычайно сильной игрой; он должен проверить его с помощью иглы, как это описано выше, или аккуратно провести ребром камня по полированной пластинке корунда, которую будет царапать только алмаз. Если камень не закреплен в оправе, то его высокая плотность может быть выявлена путем взвешивания на обычных весах и сравнения полученного веса с весом алмаза такого же размера.

Если доступна чистая плоская грань, образец титаната стронция можно уверенно отличить от алмаза с помощью одного из современных рефлектометров: из-за своей высокой дисперсии он дает значительно более низкое, чем алмаз, показание для инфракрасного луча, являющегося рабочим освещением в этих приборах.

### СИНТЕТИЧЕСКИЙ ИЗУМРУД

Читатель, по-видимому, уже заметил, что все описанные выше синтетические ювелирные материалы являются окислами. Вообще говоря, *силикаты* не могут быть синтезированы методом Вернейля, поскольку этот процесс основан на кристаллизации из расплава при быстром охлаждении, а большинство силикатов в таких условиях превращается в аморфное стекло.

Сообщалось, правда, о возможности получения изумруда модифицированным методом Вернейля, однако, поскольку все синтетические изумруды, используемые в ювелирном деле, получены различными способами, но всегда при медленной кристаллизации из расплава или раствора, при определении изумруда необходимо выбросить из головы все характерные особенности вернейлевских синтетических камней — изогнутые линии роста, пузыри и т. д.

Синтез кристаллов изумруда, пригодных по размерам для огранки, впервые осуществил в 30-х годах нашего столетия доктор Г. Эспиг с коллегами. Они работали в исследовательских лабораториях гигантского немецкого химического концерна «И. Г. Фарбениндустри».

Процесс, описанный доктором Эспигом, был в основных чертах похож на процесс, использованный в ранних экспериментах Отфеля и Перре в 1888 г. По способу Эспига окислы бериллия и алюминия растворяют в кислом молибдате лития в большом платиновом тигле. На поверхности расплава плавают куски кварцевого стекла, ниже которых расположена платиновая сетка с помещенными на нее небольшими затравочными кристаллами синтетического изумруда. Они служат зародышами, на которых в зоне взаимодействия окислов бериллия и алюминия с окисью кремния происходит кристаллизация монокристалла изумруда. В расплаве должны также присутствовать соединения хрома, чтобы придать камням желаемый изумрудно-зеленый цвет.

Оптимальная температура синтеза составляет 800 °С, причем такая температура тигля должна поддерживаться в течение нескольких месяцев, чтобы можно было получить кристаллы, пригодные по размерам для огранки. Через определенные интервалы расплав должен подпитываться окислами бериллия и алюминия. Это достигается с помощью платиновой трубки, соединенной с тиглем и доходящей почти до его дна.

«Игмеральды» — так назывались эти камни — производились уже в достаточном количестве, однако до рынка они так и не дошли: в связи с войной их производство было прекращено.

После войны наиболее значительным производителем синтетических изумрудов стал Кэрролл Чэтем — химик из Сан-Франциско. Его метод хранится в секрете, но, несомненно, он является усовершенствованным методом, который использовала фирма «И. Г. Фарбениндустри» и экономичность которого оставляла желать лучшего. Внутренние особенности, внешний вид и физические свойства «игмеральда» и изумруда Чэтема очень близки, что можно объяснить только большим сходством методов их синтеза.

В настоящее время в промышленных масштабах производится синтетический изумруд трех типов, которые будут описаны ниже.

Кристаллы изумруда, синтезируемые К. Чэтемом, обычно короткие и толстые, имеют форму простых призм с базальной плоскостью и очень похожи на природные кристаллы, хотя у них и наблюдается тенденция к параллельному срастанию отдельных кристаллов, нередко приводящая к образованию гексагональных пустот в направлении главной оптической оси. На рис. 7.15 показана структура базальной плоскости кристалла, где можно отчетливо видеть параллельный рост, идущий из нескольких различных центров. Самый крупный кристалл, полученный Чэтемом, весит 1275 каратов и хранится в музее Гарвардского университета. Как и другие крупные кристаллы, он не имеет ювелирного качества. Ограниченные камни весом более 6 каратов редки, однако образцы весом 1—3 карата продаются в настоящее время в больших количествах.

Синтетические изумруды имеют весьма характерный насыщен-

ный голубовато-зеленый цвет, который отчасти выдает их происхождение, хотя почти такой же оттенок имеют некоторые колумбийские изумруды. Через фильтр Челси они выглядят интенсивно-красными — гораздо более красными, чем большинство природных изумрудов. Точно так же вследствие флюоресценции они выглядят между скрещенными фильтрами.

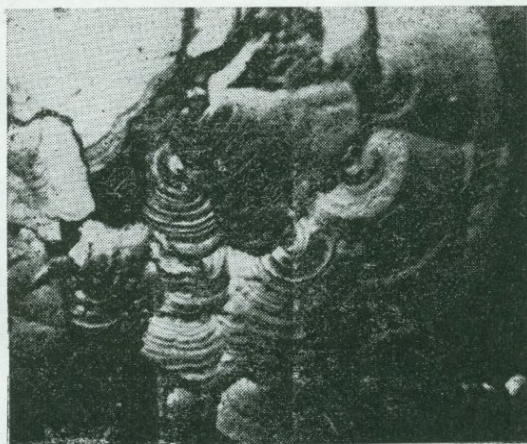


РИС. 7.15. Характер поверхности базальной плоскости кристалла синтетического изумруда Чэтема.

Плотность изумрудов Чэтема явно ниже плотности природных камней и практически постоянна, почти соответствуя плотности кварца (2,651), поэтому определить природу любого незакрепленного изумруда можно с помощью разбавленного бромформа, в котором кварц, как индикатор, находится во взвешенном состоянии. Лишь очень немногие природные изумруды имеют плотность ниже 2,70. Показатели преломления и двупреломление также низкие: для необыкновенного и обыкновенного лучей типичны значения 1,560 и 1,563, что дает величину двупреломления, равную лишь 0,003. Наименьший показатель преломления природных изумрудов 1,570 и выше при двупреломлении 0,005—0,006. Для точного измерения этих величин, что легко выполнить при обычном освещении, наиболее удобен шпинелевый рефрактометр Рейнера.

Указанные особенности полезно знать при определении камня, однако всегда существует возможность того, что изготовители, варьируя состав компонентов, могут увеличить как показатель преломления, так и плотность своих изумрудов. Труднее изменить или контролировать включения, которые поэтому служат более

надежным диагностическим признаком. Для синтетического изумруда характерны вуалеподобные трещины, обычно слегка изогнутые, которые совершенно отличны от дефектов, присущих природным изумрудам. Под микроскопом видно, что трещины выполнены уплощенными капельками жидкости, образующими сложный узор,

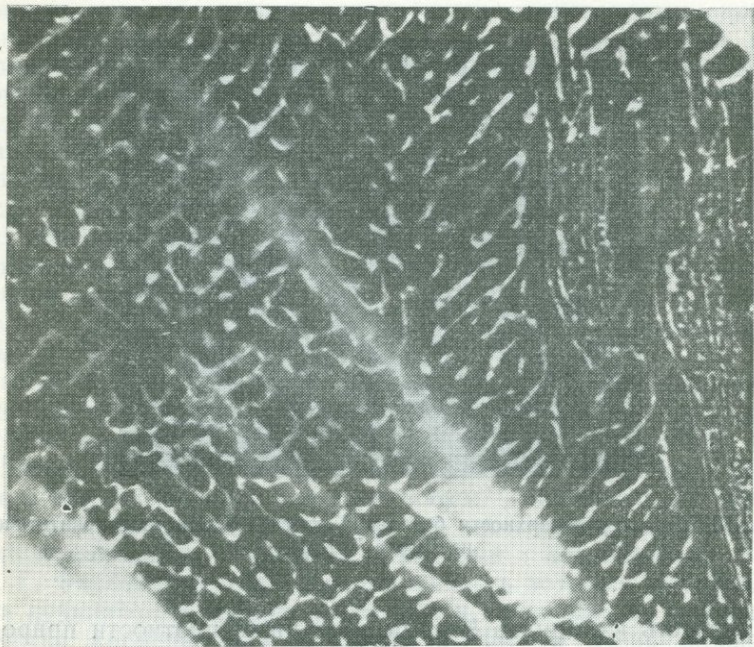


РИС. 7.16. Типичная картина «пучков» жидких включений в синтетическом изумруде Чэтема (фото Э. Гюбелина).

видный на микрофотографии, любезно предоставленной автору доктором Э. Гюбелином (рис. 7.16). В синтетических изумрудах часто заметны включения кристаллов фенакита (силиката бериллия), который в природных камнях встречается редко (рис. 7.17). Для тех, кто имеет дело с изумрудами, очень важно познакомиться с их внутренними особенностями и знать, что камням из любого общеизвестного месторождения присущи свои характерные включения (см. например, рис. 7.18). В главе, посвященной изумруду, многие включения будут показаны на рисунках.

Можно упомянуть еще об одном существенном различии между синтетическими и природными изумрудами, поскольку оно служит ценным лабораторным критерием для их распознавания. Автор в 1953 г. обнаружил, что синтетические изумруды Чэтема прозрачны для ультрафиолетовых лучей с длиной волны вплоть

до 2300 Å, в то время как изумруды из всех известных природных источников непрозрачны для ультрафиолетовых лучей с длиной волны менее 3000 Å. Эти результаты первоначально были получены с помощью небольшого кварцевого спектрографа, однако они могут быть подтверждены и более простым методом, пред-

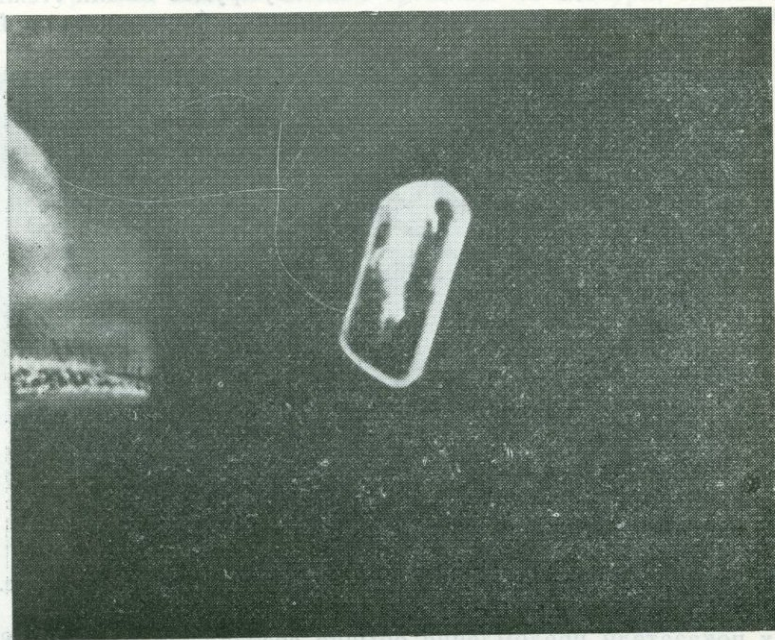


РИС. 7.17. Кристалл фенакита в синтетическом изумруде (фото Э. Гюбелина).

ложенным Н. Деем. Он уже был описан как способ отличия природных рубинов от их синтетических аналогов.

Тот факт, что синтетический изумруд дает красную флюоресценцию при длинноволновом и коротковолновом ультрафиолетовом облучении, некоторыми геммологами рассматривался как диагностический признак. Но, поскольку природные высококачественные изумруды могут вести себя точно так же, на это свойство полагаться нельзя.

*Бериллы с синтетическим изумрудным покрытием Лехлейтнера.* В начале 1960 г. появилось сообщение о синтетических изумрудах совершенно нового типа, для которых было предложено название «эмериты». Камни были получены в Инсбруке (Австрия) Иоганном Лехлейтнером по разработанному им способу. Он брал ограненные камни или кабошоны из природного берилла, слишком бледные по цвету, чтобы представлять какую-либо ценность, и по-

мещал их в гидротермальную ванну, содержащую соответствующие компоненты. В результате такой обработки затравки из берилла покрывались слоем синтетического изумруда, нарастающего на подложку. При получении матового покрытия на гранях последние легко могут быть отполированы.

В отличие от других синтетических изумрудов камни Лехлейтнера нельзя распознать только на основании физических свойств.

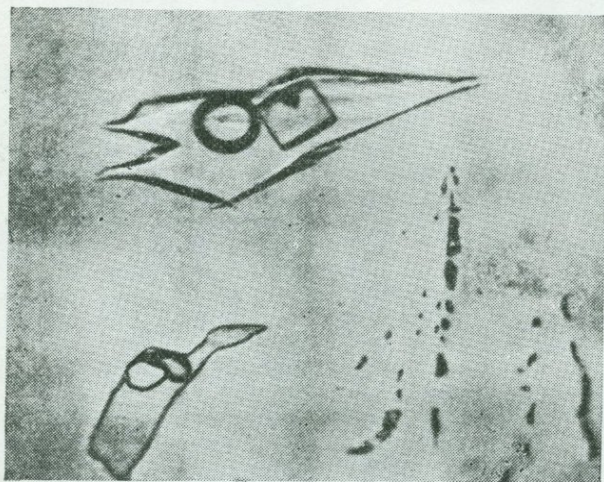


РИС. 7.18. Типичные трехфазные включения в колумбийском изумруде.

Их показатели преломления обычно составляют 1,575—1,582 и даже выше, двупреломление всегда равно 0,007. Эти данные, естественно, относятся к *покрытию*. Как сообщил профессор Г. Банк, некоторые камни Лехлейтнера имеют удивительно высокие показатели преломления — от 1,583 до 1,605 для обыкновенного луча. В некоторых случаях покрытие с площадки удаляли при полировке, и тогда измерения на рефрактометре давали значения, характерные для природного берилла.

Что же касается плотности камней, то она зависит почти полностью от типа берилла, выбранного для затравки. Если взять бледный аквамарин, то плотность, вероятно, составит 2,69 — ниже, чем у любого природного изумруда. При использовании бледных разновидностей морганита (розового берилла) плотность может быть значительно выше.

Диагностика таких «покрытых» бериллов трудностей не представляет. Сомнения в природном происхождении камня обычно возникают из-за несоответствия его включений (характерных для природных бериллов, но не типичных для изумруда) и внешнего вида.

Чтобы не ослабить цвет камня, часть граней павильона нередко оставляют неполированными, и внимательное изучение с помощью лупы или микроскопа поможет выявить характерный вид поверхности синтетического слоя. Однако наиболее общая и легко заметная особенность таких камней — наличие серии параллельных трещин, напоминающих трещины на глазури, ограниченных только гидротермальным покрытием. Иногда наблюдаются

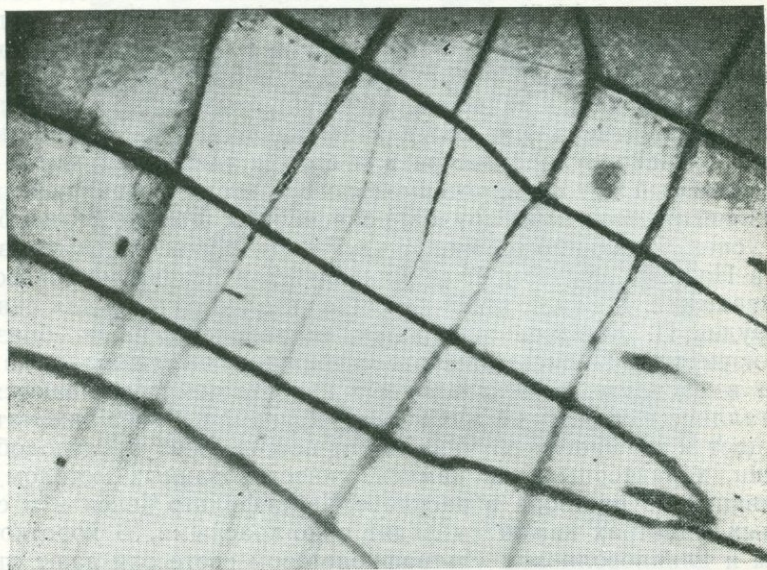


РИС. 7.19. Напоминающая сетку трещин структура поверхности синтетического изумруда, полученного методом Лехлейтнера на берилле.

две пересекающиеся системы трещин, образующие сетчатый узор (рис. 7.19). Под микроскопом видно, что трещины резко обрываются на поверхности затравки из берилла. Кроме того, при увеличении заметно, что трещины заполнены капельками жидкости, как в типичных залеченных трещинах.

Если остается какое-то сомнение и камень может быть вынут из оправы или если оправка позволяет наблюдать его сбоку, то следует погрузить камень в иммерсионную жидкость с близким показателем преломления, например в бромбензол или бензолбензоат, и исследовать его под микроскопом. На синтетических камнях Лехлейтнера заметен темный ободок покрытия на берилловой затравке.

Несколькими годами позже (1964 г.) изобретательный И. Лехлейтнер вырастил синтетический изумруд совершенно другого типа. Камни получали путем погружения в автоклав тонкой пла-

стинки из природного или синтетического берилла и «нанесения» на нее тонких слоев темно-зеленого синтетического изумруда. Затем камень переносили в другой автоклав и наращивали на него слои бесцветного берилла (которые растут значительно быстрее, чем слои зеленого изумруда). Из полученной заготовки изготовляли ограненные камни, которые, если смотреть на них через площадку, имеют вид нормального изумруда; только при погружении в иммерсионную жидкость и наблюдении сбоку под микроскопом становится отчетливо заметной их слоистая структура. Показатели преломления и плотность таких «сандвичей» практически такие же, как и у некоторых природных изумрудов, поэтому эти характеристики в данном случае непригодны для диагностики. Способ Лехлейтнера был передан американской фирме «Линде», которая, однако, вскоре прекратила выпуск таких изумрудов, разработав новый метод гидротермального синтеза, описанный ниже.

Из синтетических изумрудов, появившихся в продаже, наибольший успех, по-видимому, имеют изумруды Жильсона, изготавливаемые в Па-де-Кале фирмой, занимающейся в основном производством керамики. Говорят, что в качестве исходного сырья для синтеза изумрудов П. Жильсон использует низкокачественные бразильские изумруды. Процесс явно относится к типу выращивания из раствора в расплаве, причем крупные кристаллы выращиваются на кристаллических затравках. Ограненные камни имеют замечательный цвет и во многих случаях почти не содержат вуалеподобных трещин, характерных для камней, синтезированных методом выращивания из раствора в расплаве. Через фильтр Челси и в скрещенных фильтрах камни выглядят ярко-красными. В коротковолновом и длинноволновом ультрафиолетовом свете они дают отчетливую красную флюоресценцию. Их показатели преломления, как и у камней Чэтема, ниже, чем у природных изумрудов: типичные значения составляют 1,563—1,566. Плотность почти такая же, как плотность кварца. Недавно П. Жильсон заявил о намерении ввести в состав своих изумрудов некоторое количество железа, что должно повысить показатели преломления и плотности, а также подавить флюоресценцию. По своим свойствам изумруды Жильсона (тип N) напоминают синтетические изумруды нового типа.

Еще один синтетический изумруд, изготавливаемый явно методом выращивания из раствора в расплаве, — это изумруд Вальтера Церфасса из Идар-Оберштейна (ФРГ). Его особенности — грубо гексагональный, похожий на пчелиные соты рисунок распределения вуалеподобных трещин, наблюдаемый в направлении оптической оси, и наличие коротких конусообразных каналов, параллельных продольной оси кристалла и образующихся, по-видимому, на кристаллах фенакита. В направлении, перпендикулярном оптической оси, видна слоистая структура, свидетельствующая о прерывистом росте, с полосами зеленого цвета различных оттенков. Показатели преломления в среднем намного ниже, чем у дру-

гих камней, получаемых методом выращивания из раствора в расплаве. Плотность их, пожалуй, несколько выше, однако ниже плотности любых природных изумрудов.

Синтетический изумруд фирмы «Линде», впервые появившийся на рынке в 1966 г., заметно отличается от только что описанных. Кристаллы выращивают гидротермальным методом в автоклаве



РИС. 7.20. Перекрученные трещины в новом изумруде, полученном методом выращивания из раствора в расплаве (фото Р. Вебстера).

при небольших скоростях кристаллизации с использованием затравок. Раствор периодически обновляется. Получающиеся изумруды имеют цвет лучших природных камней и нередко почти лишены включений. Более того, их показатели преломления и плотность выше, чем у изумрудов, полученных методом выращивания из раствора в расплаве, и лишь немного ниже, чем у некоторых природных камней. Идентификация таких изумрудов не представляет трудностей, поскольку они дают интенсивную красную флюоресценцию и она заметна даже тогда, когда камни освещены сильным пучком белого света. Красное свечение, если его рассматривать через фильтр Челси, в скрещенных фильтрах, в коротковолновых и длинноволновых ультрафиолетовых лучах становится, конечно, более интенсивным. После облучения рентгеновскими лучами наблюдается продолжительная флюоресценция.

Нет никакого сомнения, что вскоре на рынке появятся другие синтетические изумруды и геммолог должен быть постоянно настороже и внимательно следить за новейшими данными, публикующимися в периодических изданиях. Наибольшее беспокойство вызывают камни, появляющиеся без рекламы. Так, недавно в

Лондонской лаборатории исследовали камень, который был продан в кольцо как природный изумруд. Цвет его был отличный, однако многочисленные изогнутые двухфазные «перья» свидетельствовали о методе выращивания из раствора в расплаве (рис. 7.20). По другим свойствам камень не походил ни на синтетический, ни на природный изумруд. У него не было флюоресценции, причем исследование с помощью спектроскопа позволило выяснить причину

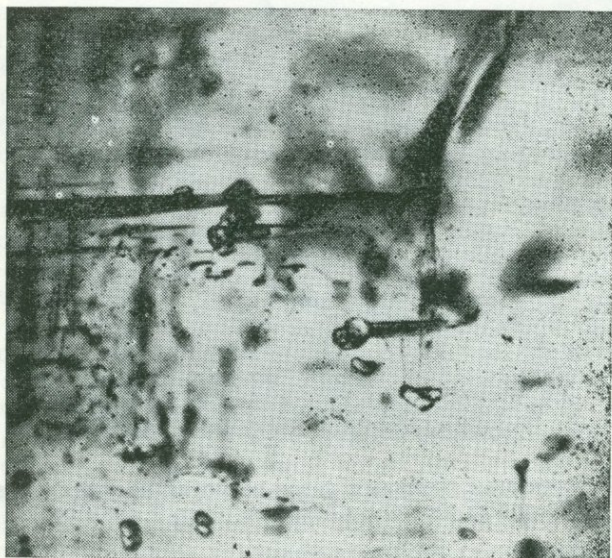


РИС. 7.21. Игольчатые включения с кристаллами фенакита на тупом конце в синтетическом изумруде фирмы «Линде».

этого эффекта. Кроме обычных линий хрома была видна полоса поглощения железа в фиолетовой области при  $4270 \text{ \AA}$ , которая, строго говоря, принадлежала не изумруду, а аквамарину. Более того, как плотность (2,70), так и показатели преломления (1,574—1,580) камня соответствовали значениям, характерным для природных камней. К счастью, подтверждение искусственного получения этого камня методом выращивания из раствора в расплаве было получено от Курта Нассау из лаборатории «Белл телефон» в Нью-Йорке, который методом инфракрасной спектроскопии доказал, что камень совершенно лишен воды, присутствующей во всех природных изумрудах и в гидротермально выращенных синтетических камнях.

Кроме этого камня в Лондонской лаборатории исследовали еще ряд аналогичных камней; о таких же камнях сообщили из США сотрудники Американского геммологического института.

Кроме того, в настоящее время, как уже отмечалось выше, производятся изумруды типа N Жильсона, содержащие железо, причем по своим свойствам они очень близки к только что описанным камням.

Интересный синтетический материал — зеленый берилл, окрашенный не хромом, как изумруд, а ванадием, — получил А. М. Тейлор, работающий в фирме «Кристалл-рисёрч» в Мельбурне (Австралия). С ванадием частично связан цвет природных изумрудов, хотя основное богатство и густота цвета, благодаря чему камень приобрел такую популярность, обусловлены хромом. Ванадиевые «изумруды» выращиваются в гидротермальных условиях и имеют показатели преломления в пределах  $1,571 \div 1,575$  для обыкновенного луча и  $1,566 \div 1,570$  для необыкновенного луча и двупреломление около 0,005. В иммерсионной жидкости заметна «слоистая структура», свидетельствующая о периодическом процессе. Конечно, в спектре нет никаких линий хрома и видна широкая полоса поглощения в оранжевой области около 6100 Å.

Доктор Тейлор проводил эксперименты по окрашиванию гидротермального берилла другими окислами, в том числе окисью кобальта, которая позволяет получить новый ювелирный материал. Эти камни имеют красноватый цвет, обусловленный светлокоричневым обыкновенным лучом и насыщенным пурпурным необыкновенным лучом. Спектр поглощения пурпурного луча состоит из трех отчетливых полос: при 5860 Å в желтой и при 5670 и 5430 Å в зеленой областях спектра, причем наиболее широкой из трех является центральная полоса.

## СИНТЕТИЧЕСКИЙ КВАРЦ

Кварц из-за его пьезоэлектрических свойств широко используется в виде тщательно ориентированных пластинок в электронной промышленности для стабилизации длин волн передающих устройств или для обеспечения точной работы электронных часов.

Кварц — один из самых распространенных кристаллических минералов в природе, однако чистые, без двойников, кристаллы, пригодные для пьезоэлектрических устройств, встречаются сравнительно редко. Поэтому во многих странах кристаллы кварца вынуждены выращивать искусственно в контролируемых гидротермальных условиях. Метод заключается в том, что толстостенный стальной автоклав заполняют щелочным водным раствором, насыщенным окисью кремния. В нижнюю часть контейнера загружают куски кварца, а в верхней устанавливают решетку, к которой подвешены пластинки несдвоенного кварца, служащие затравками для роста кристаллов. Затравки тщательно ориентируют таким образом, чтобы обеспечить оптимальный рост в требуемых направлениях. Основание автоклава с помощью электронагревателя доводится до температуры 400 °С, температура

его верхней части на  $40^{\circ}\text{C}$  ниже. Насыщенный раствор медленно поднимается со дна, становится пересыщенным в более холодной части, и избыточный материал кристаллизуется на затравках.

Бесцветный кварц имеет небольшое значение как драгоценный камень, и природный материал дешевле, чем синтетический. В последние годы, однако, в СССР и США были получены цветные разновидности синтетического кварца. Сначала появились зеленые и синие разновидности, не известные в природе. Последние были окрашены кобальтом и давали обычный спектр кобальта из трех широких полос поглощения в оранжевой, желтой и зеленой частях спектра, очень похожих на полосы, наблюдаемые в синем кобальтовом стекле. Всегда необходимо помнить, что ни в одном природном минерале, используемом как драгоценный камень, спектр кобальта никогда не наблюдается, поэтому его наличие свидетельствует о подделке. Затем появился синтетический цитрин и даже аметист. Иногда в синтетическом кварце видны мелкие частицы, похожие на хлебные крошки, а также параллельные полосы около плоской затравки, на которой происходит кристаллизация кварца. Но наибольшее подозрение должно вызывать отсутствие в синтетических камнях природных включений.

### СИНТЕТИЧЕСКИЙ АЛМАЗ

На протяжении более ста лет ученые пытались любыми методами, порой достаточно остроумными, получить алмазы из других форм углерода, пока в феврале 1955 г. не появилось достоверное сообщение о первом успехе американских исследователей из фирмы «Дженерал электрик». Группа работников в лаборатории в Шенектеди в небольшой пиррофиллитовой камере подвергла углеродосодержащий материал давлениям порядка  $100\,000$  атм и температурам свыше  $2760^{\circ}\text{C}$ . В таких жестких условиях очень быстро образовались мелкие кристаллы алмаза. Было найдено, что переходу графита в алмаз способствует присутствие никеля и других металлических катализаторов, и в первых образцах алмазного порошка, полученного фирмой «Дженерал электрик», было обнаружено до  $0,2\%$  никеля, что делало частицы алмазного порошка магнитными.

Годы, затраченные на исследования в области физики высоких давлений и разработку методов получения таких давлений, а также успехи, достигнутые в этом направлении, в особенности П. У. Бриджменом (США), проложили дорогу для синтеза алмазов. Как это часто случается, однажды продемонстрированная реальность почти нереального подвига (подъем на Эверест, перелет через Атлантику и т. п.) влечет за собой быстрое повторение первого успеха многими другими, вследствие чего рискованное предприятие начинает казаться уже почти обычным делом. Поэтому, пожалуй, не удивительно, что после первого успеха фирмы

«Дженерал электрик» аналогичные результаты были достигнуты многими другими исследователями. При этом, хотя общие принципы методов были аналогичными, детали процессов сильно различались. В настоящее время синтетические алмазы производятся не только фирмой «Дженерал электрик» и некоторыми другими крупными исследовательскими центрами США, но также крупным электрическим концерном ASEA в Швеции, фирмой «Филипс» в



РИС. 7.22. Микроскопические кристаллы синтетического алмаза (Шэннон).

Эйндрховене, Лабораторией по исследованию алмазов концерна «Де Бирс» в Йоганнесбурге, фирмой «Сибатура электрик» в Токио, Академией наук СССР и Национальной физической лабораторией в Лондоне. Микроскопические кристаллы синтетического алмаза показаны на рис. 7.22.

В результате исследований получено большое количество сведений об условиях, при которых графит превращается в алмаз, причем форма и даже цвет получаемых крошечных кристалликов алмаза могут до некоторой степени контролироваться. На первых порах синтетические алмазы имели неправильную форму и содержали много скелетных кристаллов, однако сейчас получают хорошо образованные октаэдры, кубы и додекаэдры. Тем не менее, как и раньше, процессы образования алмазов в природе до сих пор окончательно не расшифрованы.

Синтетические алмазы в настоящее время производятся в промышленных масштабах для технических целей и в какой-то степе-

ни могут изготавливаться специально для той или другой цели. В начале 1970 г. фирма «Дженерал электрик» объявила о получении кристаллов алмаза ювелирного качества различной окраски весом до 1 карата. Стоимость их производства гораздо выше стоимости природных камней, причем такое соотношение сохранится в ближайшие годы. Было найдено, что эти кристаллы обладают характерными свойствами в отношении электропроводности и флюоресценции.

### СИНТЕТИЧЕСКИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ «ГРАНАТЫ»

В течение нескольких последних лет был налажен синтез (методом вытягивания из расплава (по Чохральскому) и методом выращивания из раствора в расплаве) целой серии соединений, содержащих различные редкоземельные металлы. Эти соединения в основном предназначены для использования в лазерной и других областях техники, и производство их сравнительно дорого, однако поскольку полученные кристаллы обладают твердостью, прозрачностью и блеском, часть их применяется в качестве драгоценных камней. Поэтому геммолог должен быть знаком с их свойствами.

Из этой группы соединений наиболее широко известны два: иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ) и иттрий-железистый гранат (ИЖГ), причем первый является единственным из синтетических гранатов, который до сих пор широко используется в качестве имитации драгоценных камней и продается под звучным названием «даймонэр». В чистом виде ИАГ бесцветен и имеет следующие свойства: плотность 4,54, твердость 8, показатель преломления 1,834, дисперсия 0,028; таким образом, по своим свойствам он вполне подходит для имитации алмаза. По составу это алюминат иттрия ( $Y_3Al_5O_{12}$ ). Материал может быть окрашен в зеленый цвет хромом. В этом случае хорошо ограненные камни настолько похожи на первоклассный демантоид, что без всяких подозрений продаются и покупаются экспертами как демантоиды, пока кто-нибудь из них не исследует их спектр поглощения. В связи с тем, что ИАГ помимо хрома содержит неодим, в спектре присутствует много линий, сразу же свидетельствующих о том, что материал имеет искусственное происхождение. Марганец придает красную окраску, кобальт — синюю, титан — желтую.

Другой представитель синтетического семейства так называемых «гранатов», который имел некоторый успех в качестве имитации алмаза — гадолиний-галлиевый гранат (ГГГ). Это прозрачный материал со слабым коричневым оттенком, очень сильным блеском и следующими свойствами: показатель преломления 2,03, дисперсия 0,038 (такая же, как и у бесцветного циркона), плотность 7,05, т. е. очень высокая и почти такая же, как у касситерита. Твердость ГГГ (6,5 по шкале Мооса) слишком низкая, чтобы камень выдерживал ежедневную носку в кольце.

Таблица 7.1

СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ГРАНАТОВ, ИМЕЮЩИХ ОБЩУЮ ФОРМУЛУ  $Y_3Al_5O_{12}$ 

Элемент	Цвет	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления
Иттрий	Бесцветный	4,57	1,832
Иттрий (присадка)	Зеленый	4,60	1,834
Тербий	Бледно-желтый	6,06	1,873
Диспрозий	Желто-зеленый	6,20	1,85
Гольмий	Золотисто-желтый	6,30	1,863
Эрбий	Желто-розовый	6,43	1,853
Тулий	Бледно-зеленый	6,48	1,854
Иттербий	Бледно-желтый	6,62	1,848
Лютеций	Бледно-желтый	6,69	1,842

## КУБИЧЕСКАЯ ОКИСЬ ЦИРКОНИЯ

В то время когда настоящая книга готовилась к изданию (1979 г.), наиболее популярным из всех синтетических материалов, имитирующих алмаз, была кубическая окись циркония. Эта форма окиси циркония неустойчива при комнатной температуре, если не стабилизирована некоторыми другими окислами, такими, как окись кальция или окись иттрия. В природе окись циркония встречается в виде моноклинного минерала бадделита в аллювиальных месторождениях драгоценных камней на острове Шри Ланка (Цейлон). Свойства стабилизированной окиси циркония, естественно, несколько меняются в зависимости от используемого стабилизатора, однако это не имеет существенного значения для диагностики. В том случае, когда стабилизатором является окись кальция, показатель преломления равен 2,17, дисперсия 0,060, твердость по Моосу 8,5. В сочетании с прозрачностью и бесцветностью эти свойства ставят кубическую окись циркония на первое место в ряду имитаций алмаза. Плотность ее составляет 5,65 и даже больше (около 6), если она стабилизирована окисью иттрия. Некоторые образцы недостаточно прозрачны и бесцветны, однако один из поставщиков и из этого сумел извлечь выгоду, продавая камни по пониженной цене и сортируя материал точно таким же образом, как сортируют алмазы.

В настоящее время кубическая окись циркония производится по крайней мере в трех странах — СССР, Швейцарии и США, причем наибольшее ее количество выпускает знаменитая швейцарская фирма «Джевахирджан», известная с начала столетия как крупнейший производитель синтетического рубина методом Вернейля. Для нового синтетического материала фирма предложила название «джевалит», добавив таким образом еще одно торговое название к списку, который несчастные геммолог и ювелир долж-

ны помнить для того, чтобы установить истинную природу и соответствующие свойства камня.

Специальная технология, разработанная советскими учеными, дает возможность осуществлять плавление этого тугоплавкого материала и последующую его кристаллизацию путем медленного контролируемого охлаждения.

Для удобства читателей в гл. 10, посвященной определению алмаза, приведена таблица (табл. 10.1), в которой перечислены свойства синтетических материалов, используемых в качестве имитаций алмаза. Как правило, ювелир должен лишь с уверенностью ответить на вопрос: является ли (или нет) данный камень алмазом? Геммолог же, если он по крайней мере работает в геммологической лаборатории, должен определить и название камня.

### СИНТЕТИЧЕСКИЙ ШЕЕЛИТ

Шеелит ювелирного качества настолько редок, что ограненные камни этого минерала (вольфрамат кальция) рассматриваются скорее как коллекционная редкость, чем как серьезный материал для использования в ювелирном деле. Однако синтетический шеелит, получаемый методом Чохральского, производится в большом количестве в виде крупных прозрачных кусков, причем его нередко выдают на рынке за природный материал и запрашивают большую цену. Таким образом, геммологу приходится сталкиваться с необходимостью различать синтетический и природный шеелит, что, откровенно говоря, не очень легкая задача.

Чистый шеелит имеет следующие свойства: плотность 6,1, показатели преломления 1,918 для обыкновенного и 1,934 для необыкновенного лучей, двупреломление 0,016 (заметно с помощью лупы). Твердость по Моосу около 5, однако при хорошей огранке благодаря высокой дисперсии (0,026) получаются очень эффектные камни. Цвет шеелита от бледно-желтого до оранжевого или коричневого.

Наиболее характерное свойство шеелита, благодаря которому он хорошо известен, — его сильная флюоресценция при коротковолновом ультрафиолетовом облучении. Обычно она голубоватобелая, но, когда в шеелите присутствует молибден, как это нередко бывает в природе, она имеет зеленый цвет.

В спектре природного шеелита почти всегда заметна группа слабых линий (из-за примеси неодима и празеодима) в желтой области около 5850 Å. В синтетическом шеелите она или отсутствует совсем, или наблюдается вместе со многими другими линиями, обусловленными неодимом, который специально вводится при синтезе. Другим признаком синтеза может служить наличие изогнутых линий, очень похожих на линии, наблюдаемые в вернейлевской синтетике, а также «облака» очень мелких пузырьков. С другой стороны, природные шеелиты содержат характерные признаки природного происхождения — жидкие и кристаллические включения.

## НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ВИДЫ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАМНЕЙ

За годы, прошедшие с момента публикации восьмого издания этой книги, в области получения синтетических камней были достигнуты поразительные успехи, что добавило новые проблемы для геммологов, требующие разрешения. Автор надеется, что приведенное ниже описание поможет правильной идентификации таких материалов.



РИС. 7.23. Типичная картина перистых, заполненных жидкостью «залеченных» трещин в александрите, полученном методом выращивания из раствора в расплаве (фото В. Ф. Эплера).

**Синтетический александрит.** Тот, кто хочет синтезировать драгоценные камни и получить пользующийся спросом материал, должен обладать большим опытом, аккуратностью и терпением. Из наиболее редких и наиболее популярных камней, встречающихся в природе, несомненно, на первом месте стоит александрит главным образом, по мнению автора, из-за чрезвычайной редкости этой особой разновидности хризоберилла, чем из-за присущей ему красоты. Фирма «Криэтив кристалс» в Калифорнии в 1970 г. добилась успеха в получении кристаллов этой хромсодержащей разновидности хризоберилла методом выращивания из раствора в расплаве. При электрическом освещении камни выглядят более красными и более интенсивно флюоресцируют, чем цейлонские александриты. В них наблюдаются типичные для этого метода синтеза включения, аналогичные включениям в синтетическом

изумруде Чэтема и Жильсона, — вуалеподобные узоры из взаимосвязанных каналов (рис. 7.23). Сравнительно недавно александрит получен методом Чохрального. Такой материал имеет изогнутые контрастные полосы и изредка газовые пузыри. Для тех, кто знаком с природными александритами, синтетические камни покажутся непривычно красными при вечернем освещении, слишком богатыми хромом и с необычно интенсивной флюоресценцией. Р. Т. Лиддикот сообщил о случайном наблюдении небольших плоских гексагональных металлических включений в этих камнях.

**Синтетическая бирюза.** Существует много разновидностей так называемой синтетической бирюзы, появившейся около 30 лет назад. Некоторые из них имели химический состав настоящей бирюзы, тогда как другие были похожи на нее лишь по цвету. В 1972 г. Пьер Жильсон добился успеха в производстве действительно синтетической бирюзы, имеющей, как показал рентгеноструктурный анализ, не только состав, но и кристаллическую структуру природного материала. Новый материал имеет несколько более бледный оттенок, а плотность его немного ниже плотности высококачественной иранской или египетской бирюзы (около 2,7 вместо 2,8). Наиболее характерным признаком камней Жильсона, по которому можно установить их происхождение, является структура поверхности. При увеличении 50X видно, что она сложена угловатыми голубыми частицами, распределенными в беловатой основной массе. Полоса поглощения при 4320 Å в фиолетовой области спектра, наблюдаемая обычно в отраженном свете у голубой природной бирюзы, в бирюзе Жильсона отсутствует.

**Синтетический опал.** Наиболее блестящим триумфом Пьера Жильсона можно считать, по-видимому, создание синтетического опала выдающейся красоты. В 1964 г. методом электронной микроскопии была изучена структура благородного опала, который, как оказалось, представляет собой плотноупакованные сферы аморфной окиси кремния, создающие трехмерную дифракционную решетку. Сферы определенных размеров дают эффект ирризации, благодаря которому опал и получил такую огромную популярность. Начиная с 1964 г. предпринимались многочисленные попытки получить выделения окиси кремния такой формы. Некоторый успех был достигнут, однако проблема стабилизации структуры и создания камня, пригодного для обработки и использования в ювелирном деле, была решена лишь гением Жильсона, и начиная с 1974 г. его опалы, как белые, так и черные, впервые появились в продаже. Всякий раз, когда новый синтетический драгоценный камень появляется на рынке, геммологические журналы публикуют множество статей, описывающих свойства этого нового материала и сравнивающих его с природным минералом. Геммологи должны читать такие статьи, поскольку в них сообщаются исключительно важные сведения за год, а то и более до того момента, когда они появятся в специальных руководствах. Более того, чес-

толюбивые производители синтетических камней редко описывают все детали процесса, принесшего им первый успех. Обычно они продолжают эксперименты в надежде получить еще более качественный материал, по крайней мере с той точки зрения, чтобы еще больше затруднить определение его истинной природы. Поэтому геммологу необходимо все время быть начеку.

Синтетические опалы, исследованные до настоящего времени, имеют несколько меньшую, чем у аналогичных по виду природ-

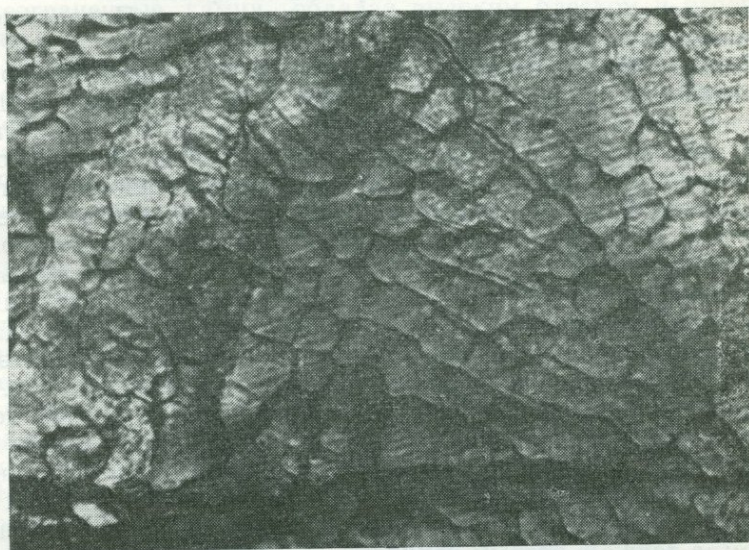


РИС. 7.24. Эффект «кожи ящерицы» в синтетическом белом опале Жильсона (фото В. Ф. Эплера).

ных опалов, плотность (около 2,05 по сравнению с 2,10); их твердость также немного ниже (4,5 по сравнению с 5,5 по шкале Мооса). Такие небольшие различия не имеют существенного практического значения. Фосфоресценция, возникающая после облучения камня длинноволновым ультрафиолетовым светом, у синтетического опала значительно короче по продолжительности, чем у природных камней. Однако самым важным испытанием для распознавания природы камня является изучение структуры ирризирующих пятен с помощью лупы или микроскопа. У природного опала от цветных пятен исходит шелковистое сияние, и в них нередко видны параллельные полосы. В большинстве опалов Жильсона цветные пятна окружены морщинистым швом, напоминающим, по выражению К. Скарратта, кожу вокруг шрама. Поверхность других опалов вблизи цветных пятен похожа на кожу яще-

рицы (так называемый эффект «кожи ящерицы») (рис. 7.24). Такая типичная структура показана на цветной вклейке. Некоторые черные опалы Жильсона имеют узкие цветные полосы, отличающиеся от полос, характерных для природных опалов, однако общее распределение в них цветов (обычно довольно много красного цвета) такое же, как в самых лучших черных опалах. Первые черные опалы Жильсона просвечивали значительно сильнее, чем природные камни, но последние образцы менее прозрачны. Многие жильсоновские опалы слегка пористы и прилипают к кончику языка, когда им касаются поверхности камня. Природные же ювелирные опалы пор не имеют.

**«Синтетический» лазурит.** Жильсоновский вариант декоративного камня лазурита с точки зрения воспроизведения природы оказался менее удачным, чем в случае опала. Он имеет почти такой же состав, как и природный лазурит, и такую же микроструктуру, однако у него более низкая твердость, меньшая плотность (2,38 по сравнению со средним для лазурита значением около 2,8) и, кроме того, он обладает заметной пористостью. Испытания последних образцов синтетического лазурита Жильсона, проведенные А. Е. Фарном, обнаружили, что этот материал интенсивно взаимодействует с соляной кислотой (что сопровождается шипением и выделением сероводорода, имеющего сильный запах тухлых яиц). Природный лазурит инертен к соляной кислоте. Для придания материалу большей «правдоподобности» в него добавляют частицы пирита, однако они, как правило, не имеют кристаллических очертаний, характерных для природного камня, и легко извлекаются кончиком иглы. Наиболее простое испытание, которое можно провести с закрепленным или незакрепленным камнем, а также с резным изделием, не рискуя повредить образец, заключается в точном взвешивании камня с последующим его погружением в воду на 15 мин. Если после тщательного удаления влаги с поверхности и повторного взвешивания будет обнаружено заметное увеличение веса, то это служит указанием на то, что камень представляет собой искусственный лазурит. Следующим моментом, заслуживающим упоминания, является полная непрозрачность имитации Жильсона, тогда как настоящий лазурит слегка просвечивает.

## НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Следует сказать несколько слов о свойствах других синтетических материалов, которые используются или, как мы полагаем, будут использоваться в ближайшем будущем в производстве ювелирных изделий. Эти данные могут оказаться полезными, если читатель встретится с такими материалами и будет испытывать затруднения в их определении.

**Ниобат лития** — один из таких синтетических материалов. Он изготавливается как в Европе, так и в США, где имеет коммерче-

ское название «линобат». Бесцветный в чистом виде, линобат может быть интенсивно окрашен в зеленый (хромом), желтый (никелем), синий (кобальтом) и красный (двухвалентным железом) цвета при введении в него микродобавок указанных элементов. Получают его методом Чохральского, вытягивая кристаллы из расплава ниобата в платиновом тигле. Температура плавления линобата  $1250^{\circ}\text{C}$ , плотность 4,64, твердость 5,5. Показатели преломления высокие: 2,30 для обыкновенного и 2,21 для необыкновенного лучей с соответствующей дисперсией 0,120 для области В—G. Свежеограненные камни, обладая высоким блеском и игрой, выглядят очень привлекательно. Вследствие высокого двупреломления (0,09) ниобат лития может быть принят за циркон (двупреломление которого равно 0,059), однако по этому же параметру его легко отличить от алмаза или демантоида.

**Карбид кремния**, широко известный в торговле под названием **карборунда**, относится к числу старейших синтетических материалов и производится в больших количествах путем сплавления песка и кокса в электрических печах для использования в качестве абразива. На поверхности образующейся застывшей массы появляются блестящие пластинчатые гексагональные кристаллы голубовато-зеленого цвета, которые иногда гранят. По внешнему виду такие камни могут напоминать зеленые облученные алмазы. Высокие показатели преломления (2,65 и 2,69) придают им почти металлический блеск. Плотность карбида кремния равна 3,17. Вследствие очень высокой твердости (9,5) он является вторым после алмаза абразивным материалом.

**Периклаз** — кристаллическая разновидность окиси магния — как минерал встречается в природе редко, но уже в течение многих лет производится искусственным путем в виде крупных, прозрачных и бесцветных кусков. Он кристаллизуется в кубической сингонии и имеет совершенную спайность по кубу. Показатель преломления периклаза 1,734, плотность 3,58, твердость 5,5. Материал не имеет никаких особых достоинств, чтобы рассматривать его здесь более подробно. Стоит лишь отметить, что его свойства (за исключением твердости) очень близки к свойствам шпинели.

**Бромеллит** (окись бериллия) — другой редкий минерал, который в ограниченном количестве производится искусственным путем. Он образует бесцветные прозрачные гексагональные кристаллы с показателями преломления 1,719 и 1,733, сравнительно низкой плотностью (3,02) и исключительно высокой твердостью (9 по шкале Мооса).

## ИМИТАЦИИ ИЗ СТЕКЛА

Несмотря на то что синтетические корунды и шпинели, производимые в огромных количествах методом Вернейля, имеют твердость, далеко оставляющую позади твердость всех стеклянных

имитаций, стекло до сих пор продолжает широко использоваться в качестве ювелирного материала и его не всегда легко узнать визуально. По цвету стекло может очень точно имитировать большинство драгоценных камней, тем более что камни с низким показателем преломления обычно имеют стеклянный блеск, хотя их большая твердость позволяет получать более качественную полировку по сравнению со стеклом.

Ювелиры издавна считали эффективным способом распознавания настоящих камней и стеклянных имитаций определение твердости с помощью напильника и полностью полагались на этот метод. Напильником, однако, можно нанести повреждение даже настоящим камням, если проводить испытание без должной аккуратности.

Существуют более надежные и безопасные методы определения имитаций из стекла, и некоторые из них описаны ниже.

1. *Тепло при прикосновении.* Стекло проводит тепло значительно хуже, чем большинство кристаллов, и поэтому кажется на ощупь более теплым. Наиболее чувствительным индикатором этого свойства является язык, который имеет тонкий поверхностный слой и практически постоянную температуру. Образец перед испытанием должен быть очищен. Держать его следует пинцетом (если только он не в оправе), чтобы предотвратить нагревание от рук, что может исказить результаты. Диагностику облегчает прямое сопоставление с эффектом, наблюдаемым в случае заведомо известного кристаллического материала. Выполненная надлежащим образом такая проба очень полезна.

2. *Раковистый излом.* Стекло представляет собой хрупкий материал, и при разрушении или сколе на его поверхности возникает характерный раковистый излом. Сколы с раковистым изломом можно обнаружить при осмотре образца с помощью лупы, особенно в тех местах, где клапаны оправы (если они вообще имеются) прижимаются к нему. Следует, однако, отметить, что многие драгоценные камни также имеют раковистый излом, хотя он образуется не столь легко и не так часто, как в стекле.

3. *Пузыри.* Обычно в стеклянных имитациях присутствует один или несколько сравнительно крупных пузырей, поэтому, обнаружив их, можно не сомневаться в искусственном происхождении материала.

Опытные эксперты могут отличить пузыри, присутствующие в стекле, от пузырей синтетических материалов, полученных методом Вернейля. Имеется, конечно, и много других характерных признаков, позволяющих отличать стекла от синтетических камней, однако необходимо научиться извлекать максимальную информацию, наблюдая даже такие простые вещи, как пузыри. В стеклах пузыри, как правило, имеют сферическую форму и не объединяются в группы. Часто встречаются пузыри эллипсоидной формы, что вообще, по-видимому, является характерной осо-

бенностью стекла (рис. 7.25). Иногда в стекле присутствуют цепочки или пачки пузырей, которые в имитациях изумруда невооруженному глазу кажутся природными включениями (рис. 7.26).

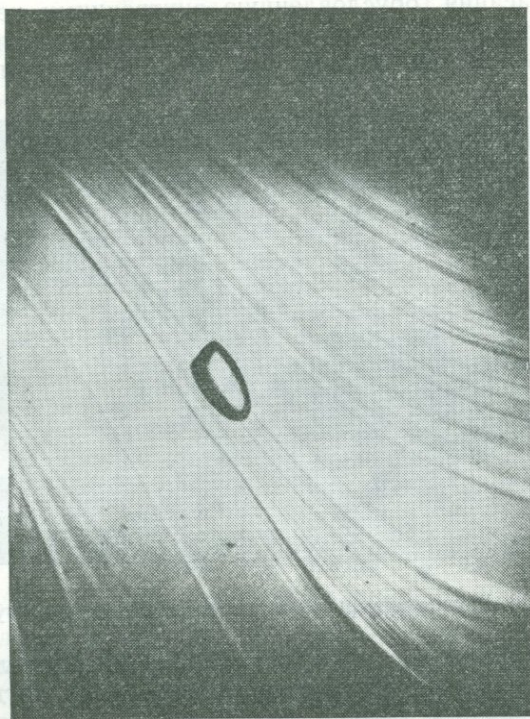


РИС. 7.25. Пузырек и свили в пасте.

Даже в просвечивающих и полупрозрачных стеклах, применяемых для имитации нефрита, янтаря или бирюзы, часто можно заметить пузыри, лежащие непосредственно под поверхностью, или же круглые ямки на поверхности — следы частично сошлифованных пузырей.

4. *Свилы*. Стекло часто содержит свили, образовавшиеся в результате недостаточного перемешивания компонентов. По виду они несколько напоминают изогнутые линии роста в синтетических корундах, отличаясь от них меньшей упорядоченностью. Очень похожую картину можно наблюдать, когда сахарный сироп вливают в воду. В обоих случаях эффект обусловлен одной и той же причиной — соприкосновением потоков или слоев, имеющих различные показатели преломления.

5. *Изотропность.* Стекло, как аморфный, т. е. некристаллический, материал, всегда изотропно. Поэтому на шкале рефрактометра оно дает одну границу затененной области. Однако между скрещенными поляроидами стекло может давать картину аномального погасания, обусловленную внутренними напряжениями. В редких случаях наблюдается положение погасания через более или менее равные интервалы, как и в случае кристаллических

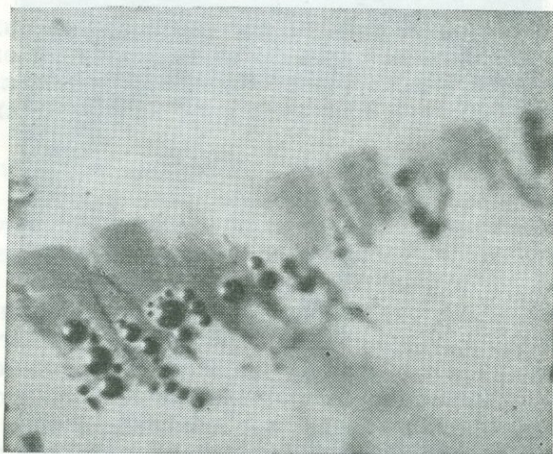


РИС. 7.26. Группа пузырьков в стекле, имитирующем изумруд.

драгоценных камней, что может привести в замешательство новичка. Стекло никогда не обнаруживает дихроизма, тогда как большинство окрашенных камней дихроичны, и это различие часто служит простым средством их распознавания.

6. *Показатели преломления и плотность.* Эти константы у стекол редко соответствуют константам имитируемых камней. Типичные константы некоторых стекол-имитаций приведены в табл. 7.2.

7. *Интерференционная фигура.* Многие стекла между скрещенными поляроидами в сходящемся пучке света дают некое подобие одноосной интерференционной фигуры, напоминающей букву *x* с изогнутыми и несколько отстоящими друг от друга левой и правой частями. Наличие такой картины указывает на то, что исследуемый материал представляет собой стекло. По-видимому, этот эффект обусловлен определенной ориентировкой молекул стекла под действием давления, применяющегося при прессовании заготовок или готовых вставок в виде уже ограненных камней.

Как можно видеть из табл. 7.2, свойства стекла варьируют в широких пределах в зависимости от его состава. Из различных типов стекол, применяющихся для имитации драгоценных камней, наиболее распространены кальциевое стекло, или «крон» (состоит

Таблица 7.2

## ТИПИЧНЫЕ КОНСТАНТЫ НЕКОТОРЫХ СТЕКОЛ

Цвет	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Показатель преломления	Тип стекла
Бесцветное	2,30	1,47	Боросиликатный крон
Бледно-голубое	2,35	1,50	
Бледно-голубое	2,37	1,51	
Желтое	2,43	1,498	
Бледно-голубое	2,46	1,51	
Голубое	2,44	1,515	
Изумрудно-зеленое	2,49	1,516	Плавленный берилл
Бледно-голубое	2,70	1,59	Кальциево-железистое
Бесцветное	2,87	1,54	Легкий флинт (свинцовое)
Бледно-голубое	3,19	1,575	Флинт (свинцовое)
Желтое	3,627	1,633	
Рубиново-красное	3,69	1,63	
Зеленое (под нефрит)	3,73	—	
Бесцветное	3,74	1,635	
Бледно-голубое	3,84	1,642	
Оранжево-коричневое	4,12	1,68	
Красное	4,16	1,683	
Изумрудно-зеленое	4,25	1,70	
Желтое	4,98	1,77	
Желтое	5,12	1,775	Сверхтяжелый флинт
Рефрактометр	6,33	1,962	Сверхтяжелый флинт

из окиси кремния, поташа или соды и извести), и свинцовое стекло, или «флинт», в котором большая или меньшая часть извести замещена окисью свинца. Чем больше в стекле свинца, тем выше его показатели преломления, дисперсия и плотность, но в то же время у него резко снижается твердость. В боросиликатных кронах окись кремния частично замещена окисью бора. Боросиликатные стекла могут быть очень твердыми (их твердость около 7 по сравнению с 5,5 у крона), и именно они применялись для имитации аквамарина (вторая и третья строки табл. 7.2). Наименьшие значения плотности и показателей преломления характерны для опаловых стекол, содержащих фтор и некоторые другие добавки в дополнение к нормальному составу крона. Их плотность может падать до 2,07, а показатель преломления до 1,44. Вместе с тем показатель преломления 1,69 может рассматриваться практически как максимальный для имитации из стекла. Единственным исключением из этого правила, с которым столкнулся автор, были замечательные стекла, указанные в табл. 7.2. Эти тяжелые стекла имеют чрезвычайно низкую твердость и тускнеют с течением времени. Последним в табл. 7.2 стоит наиболее тяжелое из свинцовых стекол. Оно используется в некоторых рефрактометрах и совершенно непригодно для других целей. В таблицу это стекло попало просто как любопытный материал.

Если принимать во внимание лишь плотность и показатель преломления, то единственными видами стекол, которые похожи на настоящие камни, окажутся кальций- и железосодержащие стекла, соответствующие константы которых мало отличаются от констант берилла, и свинцовые стекла, близкие по этим свойствам к топазу. Вследствие более высокой дисперсии (почти совпадающей с дисперсией стекла, из которого изготовлена призма рефрактометра) свинцовые стекла с показателем преломления выше 1,60 при измерении в белом свете на обычном рефрактометре дают более резкую границу затененной области, чем любой другой драгоценный камень с аналогичными показателями преломления. В случае применения шпинелевого рефрактометра будет наблюдаться обратная картина: четкая граница затененной области для камней и цветная каемка на границе затенения для имитаций из свинцового стекла. Это является хорошим диагностическим признаком.

Берилловые стекла, указанные в табл. 7.2, имеют такой же состав, как и берилл, из которого они получены, однако их аморфность обуславливает более низкие константы, чем у исходного минерала. Другим примером более низких констант стекла по сравнению с константами кристаллического материала того же состава может служить плавный кварц, плотность которого равна 2,21, а показатель преломления 1,46 против 2,65 и 1,54 против 1,55 соответственно для кристаллического кварца. Берилловые стекла очень твердые (около 7) и им можно придать синюю (кобальтом) и зеленую (хромом) окраску. Как правило, эти стекла содержат в большом количестве крупные пузырьки.

Стекло, окрашенное кобальтом, имеет характерный спектр поглощения: три широкие темные полосы при 6550 Å в красной, при 5800 Å в желтой и при 5350 Å в зеленой областях. При наблюдении через фильтр Челси они выглядят ярко-красными. Ряд синих стекол не имеет характерного спектра поглощения, и через фильтр такие стекла выглядят грязно-зелеными. Красные стекла, окрашенные селеном, дают одну широкую полосу в зеленой части спектра поглощения, не похожую на линию, наблюдаемую в спектре красного турмалина. Иногда встречаются розовые или красные стекла, содержащие редкие земли. Они имеют интенсивный спектр поглощения дидима.

Стекланные имитации нередко отливают в формах или гранят очень плохо; образующиеся при этом грубые царапины или следы литья могут служить хорошим диагностическим признаком, свидетельствующим об искусственной природе материала. Если площадка образца недостаточно ровная, то при работе с рефрактометром трудно получить четкие показания.

**Камни Слокума.** Это — название необычного стекла, изготовленного Джоном Слокумом в США для имитации наиболее ценных разновидностей природного опала. Эти «камни» явились результатом многолетних сложных и дорогостоящих экспериментов

с силикатными материалами. Первоначальной целью экспериментов было создание синтетического опала, позднее все усилия были направлены на получение практически безводного силикатного стекла, которое бы не только полностью воспроизводило ирризацию опала, но и было бы лишено свойственных ему недостатков. Результаты процесса Слокума, по существу, непредсказуемы. У одних партий материала цветные пятна имеют размер булавочной головки, у других наблюдаются огненные «вспышки» на темном фоне, третьи получаются прозрачными или молочными, усыпанными ирризирующими блестками. Некоторые из имитаций трудно отличить от природного опала невооруженным глазом, однако исследование под микроскопом показывает, что структура ирризирующих пятен в камнях Слокума совершенно иная, чем в природных опалах. Либо она напоминает россыпь цветных блесток, либо это ирризирующие пятна треугольной формы, но ни в одном из случаев (из ограниченного числа исследованных образцов) не наблюдались совершенно плоские цветные пятна с шелковистым блеском, которые обуславливают красоту настоящих благородных опалов. Свойства этих замечательных имитаций довольно сильно отличаются от свойств опала, что дает возможность различать их с помощью рефрактометра или путем измерения плотности. Следует, однако, иметь в виду, что плотность кабошона, закрепленного в изделии, определить невозможно, и поэтому необходимо практиковаться в проведении измерений на рефрактометре методом дистанционного наблюдения, чтобы научиться распознавать незначительные различия в показателях преломления. Плотность стекла Слокума обычно колеблется от 2,40 до 2,50, показатель преломления — от 1,49 до 1,52. Твердость его около 6 по шкале Мооса. По составу стекло, по-видимому, является силикатом с повышенным содержанием натрия. В нем присутствует также некоторое количество кальция и магния. В одном из последних рекламных проспектов материал Слокума получил крайне неудачное коммерческое название «опал эссенс».

Недавно проведенные Р. Дж. Дуррагом и Дж. В. Сандерсом исследования поверхности камней Слокума методом электронной микроскопии выявили причину их ирризации. При увеличении  $18\,000\times$  видны зоны параллельных, чрезвычайно тонких слоев, проходящих в аморфной стеклянной основе через определенные интервалы. Слои имеют одинаковую толщину и размеры, необходимые для образования дифракционной решетки и разложения отраженного света на спектральные цвета.

## ПРИРОДНЫЕ СТЕКЛА

Помимо искусственных стекол имеется несколько видов природных стекол, о которых стоит здесь сказать несколько слов.

**Кварцевое стекло**<sup>1</sup>, состоящее почти из чистой окиси кремния (плотность 2,21, показатель преломления 1,46), было найдено в Ливийской пустыне на поверхности песка, из которого оно, по-видимому, образовалось. Это стекло имеет бледный желтовато-зеленый цвет и слегка опалесцирует. Стекло, образовавшееся в результате плавления песка при испытании первой атомной бомбы в пустыне шт. Нью-Мексико, до сих пор сильно радиоактивно.

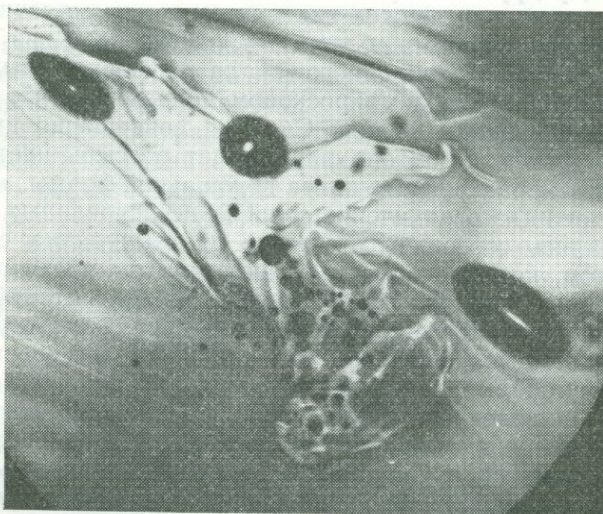


РИС. 7.27. Пузырьки и свили в молдавите.

**Обсидиан** — вулканическое стекло, образовавшееся в результате быстрого охлаждения расплавленной лавы, которая в случае медленного охлаждения превратилась бы в гранит. Обычно обсидиан имеет черный или темно-коричневый цвет, но встречаются ирризирующие и пятнистые разновидности, из которых делают весьма красивые бусы. Плотность обсидиана около 2,4, показатель преломления 1,50, твердость по Моосу около 5. На морских курортах нередко под видом обсидиана продается прозрачное зеленое бутылочное стекло, окатанное прибоем. Под микроскопом в обсидиане видны следы зарождающейся кристаллизации, не встречающиеся в искусственных стеклах.

**Молдавит** — название прозрачных зеленых или коричневатозеленых разновидностей небольших стеклянных тел, известных как тектиты, которые встречаются в различных частях земного

<sup>1</sup> Кварцевое стекло — лешательерит — образовалось при ударе молнии в песок. Импаکتитовое стекло также образуется в результате удара метеоритов в кварцевые породы. — *Прим. ред.*

шара. Предполагают, что они имеют метеоритное происхождение, однако это не доказано. Свойства молдавита практически такие же, как у обсидиана, но особенности внутренней структуры совершенно другие. Молдавит содержит крупные и многочисленные пузыри и свиля (рис. 7.27) и в нем не наблюдается следов начинающейся кристаллизации.

### СОСТАВНЫЕ КАМНИ

Ювелиры и геммологи должны быть все время начеку не только из-за все увеличивающегося разнообразия синтетических драгоценных камней, но также в связи с появлением на мировом рынке большого количества составных камней, изготовление которых стало своего рода искусством.

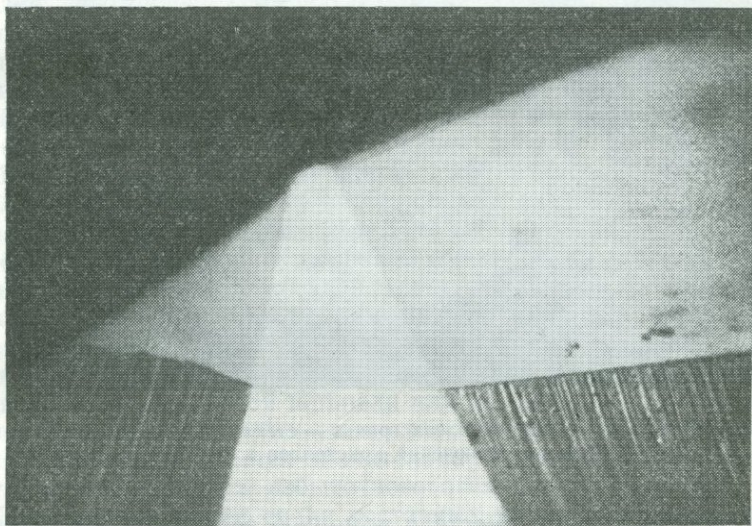


РИС. 7.28. Микрофотография дублета с площадкой из граната; видно изменение блеска на границе граната и стеклянной основы (фото Р. Вебстера).

В начале нынешнего века наиболее распространенный тип дублета состоял из стеклянной подложки и гранатового верха; тонкая пластинка альмандина сплавлялась с основой из цветного стекла, и после огранки такой дублет имитировал рубин или сапфир. Плоскость сочленения граната со стеклом обычно располагалась выше рундиста и могла быть выявлена с помощью лупы главным образом по резкому изменению блеска на любой из сторон от линии соединения (рис. 7.28). Когда-то на рынок поступило много миллионов таких дублетов, и до сих пор они довольно

часто встречаются в старых ювелирных изделиях. Альмандиновый верх нередко содержит иглы рутила, а в плоскости сочленения граната со стеклом через площадку можно видеть типичные газовые пузыри (рис. 7.29). Реже встречаются так называемые изумрудные дублеты, в которых два кусочка бледного берилла или горного

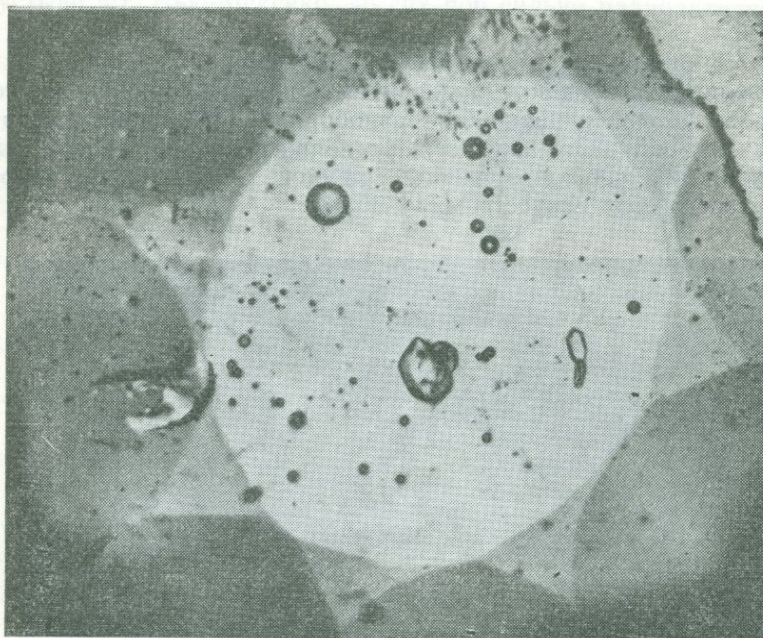


РИС. 7.29. Микрофотография дублета гранат — стекло; видны пузырьки в месте склейки и включения кристаллов в гранате.

хрустали соединяются вместе с помощью зеленого клея, придающего им цвет изумруда, причем соединение производится по плоскости рундиста готового камня и поэтому надежно маскируется оправой. Другим классическим примером дублета может служить опал на опаловой породе; опал на ониксе; алмазный дублет, в котором коронка выполнена из алмаза, а основание, как правило, сделано из бесцветного сапфира или другого подходящего материала. Более подробно они описаны ниже.

Если возникло подозрение, определение таких подделок обычно не составляет труда, в особенности когда камень может быть исследован без оправы: закрепленные камни определить гораздо труднее.

В последние годы изготовление дублетов стало прямо модой, причем задача соединения таких камней облегчается благодаря

появлению эпоксидных смол, таких, как «Аралдит», дающих прочный и едва видимый соединительный слой между отдельными частями дублета.

В некоторых из наиболее эффектных подделок коронка дублета изготовлена из низкосортного австралийского сапфира, а основание выполнено из синего синтетического сапфира или синтетического рубина. При этом плоскость соединения совмещают с плоскостью рундиста. Нередко это делают так квалифицированно, что партия таких камней без всякого подозрения сменила нескольких перекупщиков, погнавшихся за дешевой ценой — 60 фунтов за карат. Шелк, зональность и другие признаки природного камня, видимые в коронке, дают полное впечатление даже при увеличении, что камни настоящие, причем рефрактометр и спектроскоп подтверждают это. Камни с подложкой из синтетического рубина были объектом нескольких дерзких сделок по продаже ювелирных изделий, изготовленных с целью обмана, за многие тысячи фунтов стерлингов, прежде чем в Лондонской диагностической лаборатории подделки не были разоблачены. В этом случае «рубины» были вставлены в кольцо и предложены одной из лондонских фирм красивой молодой женщиной за дешевую цену — 10 000 фунтов стерлингов.

Многие из последних дублетов, имитирующих алмаз, удачно используют свойства новых синтетических материалов и одновременно маскируют их недостатки. Титанат стронция — одна из наиболее удачных имитаций алмаза — имеет слишком низкую твердость для повседневной носки в изделиях; кроме того, его дисперсия более чем в 5 раз выше, чем дисперсия алмаза, что сразу замечает опытный глаз. Эти недостатки преодолены, по крайней мере частично, конструкцией дублетов, коронка которых изготовлена из бесцветной синтетической шпинели или бесцветного синтетического корунда, а павильон — из титаната стронция. Плоскость соединения часто располагается значительно ниже рундиста, благодаря чему удается избежать избыточного огня в готовом камне.

К особой категории среди составных камней относятся опаловые дублеты, красота которых обусловлена самим опалом; последний, однако, образует очень тонкий слой, который нельзя обрабатывать самостоятельно и использовать как драгоценный камень. Поэтому его приклеивают к подходящему основанию либо из черного оникса, либо из темного опала плохого качества. Если не скрывают, что это дублеты, то их продажа с коммерческой точки зрения вполне законна, поскольку они являются чрезвычайно эффектным ювелирным материалом, пользующимся большим спросом у любителей опалов, которые не в состоянии платить очень высокую цену за сплошной черный опал высокого качества. Часто, однако, эти дублеты закрепляют в оправе таким образом, чтобы замаскировать место соединения слоя опала с основанием. Если на задней поверхности украшения виден черный оникс, то камень,

без сомнения, представляет собой дублет. В том случае, когда в качестве подложки используется опалсодержащая порода, следует приложить некоторые усилия, чтобы прийти к правильному заключению. Тщательное исследование камня по периметру часто дает возможность увидеть место склейки, а при наблюдении через почти прозрачный верх камня при хорошем освещении нередко видны уплощенные пузыри в плоскости соединения. Более детально этот вопрос обсуждается в главе об опале.

Следует упомянуть и о красивых опаловых триплетах, в которых плоская поверхность, присущая тонкому верхнему слою опалового дублета, маскируется приклеенным к ирризирующему слою кабошоном из прозрачного кварца. Такие триплеты не обманут внимательного наблюдателя, поскольку наружная поверхность камня лишена какой-либо ирризации, а при измерении показателя преломления кабошона методом дистанционного наблюдения может быть получено значение, характерное для кварца.

Современные изготовители дублетов проявляют большую изобретательность при изготовлении опаловых дублетов, и геммолог должен проявлять исключительную осторожность, если он хочет подтвердить, что камень является полностью природным. Так, при внимательном исследовании оказалось, что абсолютно природный на вид образец опала на породе состоит из пластинки опала с неровным основанием с месторождения Кубер-Педи, приклеенной к смеси измельченного опала, лимонита и эпоксидной смолы.

Во всех случаях, когда существует возможность появления составных камней, лучшим оружием геммолога является готовность встречи с ними и квалифицированное применение десятикратной лупы. Когда камень не закреплен или может быть вынут из оправы, обычный прием заключается в погружении камня в иммерсионную жидкость и наблюдении его сбоку. Это почти всегда позволяет обнаружить различие в цвете или блеске отдельных частей. Обычно вполне достаточно фарфоровой чашки, наполненной водой, однако в случае таких дублетов, как дублеты, состоящие из природного и синтетического сапфира, возможно, потребуется погружение камня в иодистый метилен и исследование его под микроскопом. Часто могут оказать помощь ультрафиолетовые лампы, поскольку различные части составного камня, как правило, различно флюоресцируют. Например, в коротковолновых ультрафиолетовых лучах может быть выявлена типичная беловатая флюоресценция синтетического сапфира. Более подробные сведения о дублетах приводятся в главах, касающихся отдельных камней.

## КАМНИ С ПОКРЫТИЕМ

Несколько слов следует сказать о применяемом в последнее время процессе для нанесения на верхнюю поверхность камней пленки вещества с низким показателем преломления с целью

улучшения их блеска и окраски. Такое покрытие аналогично просветляющим покрытиям на линзах объективов фотоаппаратов и биноклей; оно снижает поверхностное отражение и позволяет большому количеству света проходить в камень. При этом, конечно, снижается блеск поверхности. В отношении камней подобная обработка рассматривается геммологами как один из видов обмана.

Камни с таким покрытием можно узнать по небольшой ирризации поверхности. Рефрактометр может не дать никаких показаний, пока покрытие не будет удалено с помощью крокуса или аналогичного полирующего агента.

Нередко встречаются так называемые изумруды (в особенности в виде резных изделий), которые изготовлены из бледно-зеленого природного изумруда или другого берилла, покрытых слоем зеленого желатина. Исследование с помощью лупы обычно позволяет обнаружить места отслаивания такого покрытия; кроме того, такие камни на ощупь кажутся липкими. В этих случаях спектроскоп покажет широкую полосу поглощения в красной области, обусловленную красителем, вместо узких линий хрома, наблюдаемых в изумруде.

## ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОСКОПА

Спектроскоп — один из трех китов, на которых покоится современная диагностическая геммология. Два других — рефрактометр и микроскоп.

Рефрактометр позволяет определить большинство ограненных камней, в то время как микроскоп говорит нам об их происхождении. Но рефрактометр неприменим в случае необработанных камней, а также камней, имеющих высокие показатели преломления. Не в каждом камне можно увидеть под микроскопом его характерные особенности. Да и спектроскоп, разумеется, имеет свои ограничения. Однако именно его следует применять в тех случаях, когда два других прибора оказываются бесполезными; именно он позволяет очень быстро и точно определить ряд драгоценных камней. Спектроскоп может применяться с одинаковым успехом как в случае необработанных, так и в случае полированных камней с высоким показателем преломления и камней, показатели преломления которых лежат в пределах шкалы рефрактометра. Нередко с помощью спектроскопа удается определить, является камень природным или синтетическим, выявить случаи искусственной окраски (например, у жадеита) или облучения (например, у алмаза) и т. д.

И все это выполняется очень просто — лишь путем анализа света, прошедшего через камень или отраженного от его поверхности. Мы уже упоминали в гл. 4, что белый свет представляет собой результат смещения лучей всех цветов радуги: красного, оранжевого, желтого, зеленого, синего и фиолетового. Красный имеет наибольшую длину волны, а фиолетовый — наименьшую. Для измерения длины волны света удобнее всего пользоваться единицей, называемой ангстремом ( $\text{\AA}$ ). Она представляет собой одну миллионную долю миллиметра. Область видимого света лежит приблизительно в пределах от 7000 до 4000  $\text{\AA}$ . За красным краем спектра находятся невидимые так называемые инфракрасные лучи, которые переходят в тепловые волны еще большей длины; фиолетовый край спектра продолжается в область невидимых ультрафиолетовых лучей (от 4000 до 2000  $\text{\AA}$ ). Рентгеновские лучи имеют такую же волновую природу, как и световые, и отличаются от последних лишь малой длиной волны — порядка 1  $\text{\AA}$ .

С точки зрения недавних нововведений необходимо сделать следующее замечание об использовании ангстрема как единицы длины волны. В 1973 г. Международным комитетом была предло-

жена новая система единиц, которую Лондонское Королевское общество рекомендовало принять и английским ученым.

В системе СИ (сокращенно от *Système International*) нет места для ангстрема: он должен быть заменен нанометром (от греческого *nanos* — карлик). Для спектроскопистов это будет, по-видимому, не шагом вперед, а шагом назад, поскольку уже в течение века ангстрем принят как более удобная единица длины волны видимого света по сравнению с миллимикрон (применим название теперешнего нанометра). Все таблицы длин волн и справочные данные в литературе даны в ангстремах, и здесь мы продолжим эту традицию. К счастью, перевод одной единицы в другую осуществляется просто — делением или умножением на десять. Так, например, среднее значение длины волны натриевого желтого дублета 5983 Å соответствует 598,3 нм.

Было также решено заменить микрон, широко используемый для обозначения размера частиц алмазного порошка и равный одной тысячной миллиметра, на микрометр. И к метрическому карату отнеслись неодобительно — ему не нашлось места в этой системе. Совершенно очевидно, что это нововведение вызовет недовольство геммологов, воспитанных на старых традициях, которые вполне их устраивают.

Принцип, на котором основана способность спектроскопа анализировать свет, раскладывая его на составные части, очень прост: лучи различных цветов (длин волн) при прохождении через призму из стекла или другого прозрачного материала преломляются неодинаково. Так, узкий параллельный пучок белого света, пройдя через призму, превращается в полосу радужных цветов — видимый спектр. Последний можно получить и другим путем — пропуская свет через решетку из параллельных линий, расположенных очень близко друг от друга и через равные интервалы. Такая решетка, называемая дифракционной решеткой, используется во многих спектроскопах. Оба типа спектроскопа — как с призмой, так и с решеткой — имеют свои преимущества и недостатки. Призменные спектроскопы дают более яркий спектр, но ширина его цветных зон увеличивается по мере приближения к фиолетовому краю в соответствии с возрастающей дисперсией стекла или другого материала, из которого сделана призма. Прибор с дифракционной решеткой дает равномерное распределение цветных областей, однако из-за образования ряда спектров глаза достигает значительно меньше света от одного наблюдаемого спектра. Поскольку яркость наблюдаемого спектра очень важна, автор для быстрой диагностики драгоценных камней по их спектру поглощения рекомендует применять призмный спектроскоп. Такой спектроскоп состоит из металлической трубки с регулируемой щелью на одном конце, через которую пропускается анализируемый свет. За щелью расположена линза, которая превращает проходящий через нее пучок света в параллельный. Затем этот

пучок проходит через три или пять стеклянных призм, склеенных таким образом, что их вершины поочередно направлены в противоположные стороны. Для изготовления чередующихся призм обычно применяют стекла с различной степенью дисперсии, благодаря чему лучи средней части спектра достигают окуляра спектроскопа, практически не отклоняясь. Так устроен спектроскоп «прямого наблюдения». В идеале суммарная дисперсия должна достигать примерно  $10^\circ$ , тогда можно будет наблюдать всю видимую часть спектра. Линии в различных частях спектра могут быть наведены на фокус путем выдвигания внутренней трубки. Резкость на красном крае спектра достигается выдвижением трубки на расстояние около 6 мм, на синем и фиолетовом — полным возвратом трубки в исходное положение.

Если малый карманный спектроскоп направить щелью на электрическую лампу, то в окуляре будет видна прямоугольная полоска спектральных цветов. Солнце или яркое небо будут давать такую же непрерывную полосу цветов; кроме того, если сделать щель достаточно узкой и правильно отрегулировать выдвижную трубку прибора на фокус, то на фоне яркой цветной полоски можно будет увидеть ряд тонких темных линий. Это линии всегда перпендикулярны длине спектра. Темные линии, параллельные длине спектра, возникают в результате загрязнения щели и обычно исчезают после ее чистки. Темные линии, пересекающие спектр, называются фраунгоферовыми линиями солнечного спектра по имени немецкого физика Фраунгофера, который впервые описал их и определил положение в спектре.

Наиболее интенсивные линии Фраунгофер обозначил буквами А, В, С и т. д., начиная с красного конца. Теперь мы знаем, что это линии *поглощения*, точно соответствующие по положению (т. е. по длине волны) ярким линиям, испускаемым светящимися парами металлов. Например, две линии в желтой части спектра — так близко расположенные друг к другу, что в карманном спектроскопе они выглядят как одна, — точно соответствуют желтым линиям, испускаемым светящимися парами натрия. Эти линии очень ярки, когда спектроскоп направлен на применяемую для уличного освещения желтую натриевую лампу. Они же видны в любом пламени, настолько вездесущ элемент натрий и насколько чувствителен этот способ его обнаружения.

*Спектр поглощения* Солнца возникает вследствие того, что из яркого непрерывного спектра, испускаемого светящимися твердыми глубинными частями Солнца, атомы металлов, находящиеся в более холодной газообразной атмосфере, окружающей Солнце, поглощают соответствующие им полосы. Каждый вид атомов в газообразном состоянии поглощает волны света той же длины, какой он испускает в нагретом состоянии. В твердых телах способность атомов к поглощению света заметно падает и полосы поглощения становятся более широкими и размытыми, а их расположение пе-

рестает быть столь определенным по сравнению с линиями Фраунгофера. Однако именно тот факт, что полосы поглощения занимают различные положения в спектрах разных минералов, содержащих обуславливающий окраску элемент, очень важен для геммолога, поскольку позволяет во многих случаях идентифицировать минерал.

Существует небольшая группа металлов, присутствие которых в растворе или твердом материале (стекле или минерале) приводит к поглощению из белого света определенных длин волн и, как следствие, к окрашиванию содержащих их веществ. С этой точки зрения для драгоценных камней наиболее важен хром, который окрашивает в замечательный красный цвет рубин, шпинель и пироп. Ему же обязаны своими насыщенными и яркими зелеными тонами изумруд и жадеит. Железо — самый распространенный природный краситель — дает менее яркие зеленые оттенки, а также красный, желтый и изредка синий цвета. Зеленый сапфир, хризолит, алмадин и синяя шпинель окрашены железом. Медь создает окраску бирюзы, а также поделочных камней — малахита и азурита. Марганец обуславливает особый розовый или оранжевый цвет спессартина и просвечивающих родохрозита и родонита. Никель окрашивает настоящий хризопраз. Общеизвестный в быту синий цвет, который дает кобальт, в природных минералах не обнаружен, но он широко распространен в синем стекле и синих синтетических шпинелях.

Синий цвет синтетического сапфира связан, несомненно, с титаном. В природном сапфире на цвет влияет также железо. Роль ванадия, восьмого и последнего из этих переходных элементов-хромофоров, многообразна и не совсем понятна. В берилле он создает очень приятный зеленый цвет, а в большинстве изумрудов ванадий содержится наряду с хромом, который и один может дать такой богатый и насыщенный зеленый цвет, который считается настоящим «изумрудно-зеленым». Замечательный фиолетовый цвет ювелирного цоизита, найденного недавно (1967 г.) в Танзании, также, как полагают, обусловлен присутствием 0,02% ванадия. Наконец, несомненна роль ванадия в александритовом эффекте синтетического сапфира, имитирующего александрит.

Однако вернемся к предмету данной главы и объясним, каким образом спектроскоп позволяет анализировать цвет драгоценного камня и с помощью этого признака во многих случаях определять его природу. Наиболее удобным объектом для демонстрации полос поглощения в спектре является кусок синего кобальтового стекла, которое легко достать. Если щель спектроскопа направить на яркий источник света, например на лампу накаливания или на солнце, и поместить перед нею кобальтовое стекло, то вместо полного набора спектральных цветов наблюдатель увидит практически только два цвета — синий, что вполне закономерно, и темно-красный, что может вызвать некоторое удивление. Остальная часть

спектра закрыта тремя широкими темными полосами, центрированными в оранжевой, желтой и зеленой частях спектра. Это типичный спектр поглощения кобальта, который, как было отмечено выше, наблюдается не только в кобальтовом стекле, но и в синтетической синей шпинели, хотя в последнее положение двух полос слегка изменено.

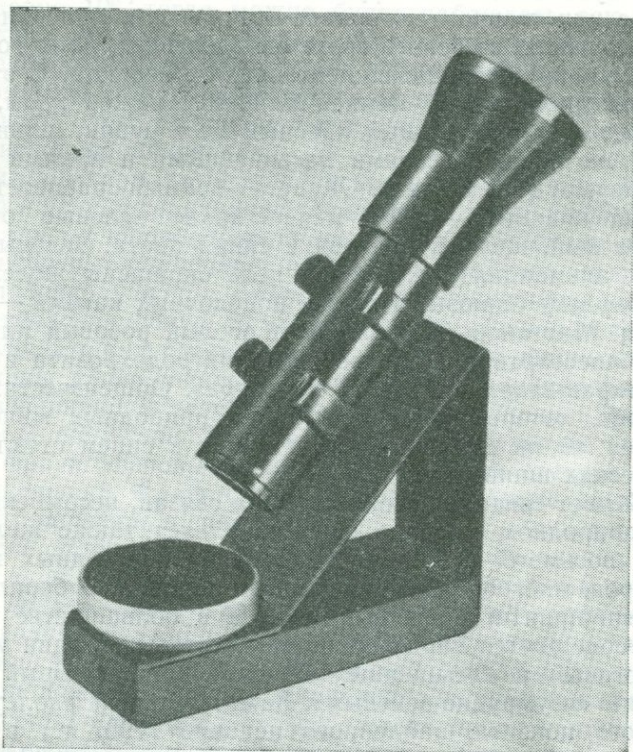


Рис. 8.1. Спектроскоп фирмы «Рейнер» на подставке Митчелла.

В том случае, когда определяемый образец представляет собой не плоское стекло, а огранный и зачастую закрепленный в оправе камень, пропустить через него свет на щель спектроскопа не так легко. Поэтому, прежде чем описать наиболее важные спектры драгоценных камней, целесообразно дать некоторые советы о приемах работы, проверенные на практике, и рассмотреть наиболее подходящие для наших целей спектроскопы и источники света.

Рекомендовавшийся нами ранее призмный спектроскоп фирмы «Бек» больше не производится. Но к счастью, прибор, дающий почти такие же результаты, изготавливает фирма «Рейнер».

В ее последней модели при желании можно применять фиксированные щели различной ширины (рис. 8.1). Имеющийся в продаже недорогой призмный спектроскоп японского производства обладает несколько более высокой дисперсией, что является преимуществом для сжатого красного конца спектра. Этот спектроскоп имеет узкую фиксированную щель, защищенную от пыли предохранительным стеклом, и дает удивительно чистый спектр. Однако он более пригоден для наблюдения узких ярких линий спектра испускания, чем полос поглощения драгоценных камней, наблюдение которых часто требует усиленного освещения, чего можно достичь только путем расширения щели.

Важным фактором для получения хороших результатов является ширина щели спектроскопа; этот вопрос будет обсужден ниже.

Для тех, кто желает точно измерять положение отдельных линий, выпускается спектроскоп, практически ничем не отличающийся от описанных выше (за исключением дополнительной трубки), со шкалой длин волн в ангстремах, которая при соответствующем освещении видна в окуляре как бы наложенной на спектр. Подобные спектроскопы выпускаются фирмами «Бек», «Цейс», «Крюсс» и др. Э. Гюбелин сконструировал настольный прибор, в который входят спектроскоп со встроенным освещением и освещаемой шкалой (яркость их регулируется), держатель для камня, диафрагма, фильтры и другие приспособления, облегчающие проведение наблюдений.

Хотя эти шкалы упрощают для новичка определение полос или линий, уже описанных и внесенных в справочники, они не позволяют достаточно точно измерить новую или неизвестную линию или полосу, особенно в сжатой красной части спектра. Для такой специальной работы необходим прибор типа обратного спектроскопа Хартриджа, выпускаемого фирмой «Бек». В этом приборе полосы поглощения, видимые в соприкасающихся обратных изображениях спектра, совмещают путем вращения градуированного барабана.

Автор, однако, убежден, что необходимость в измерении длин волн полос поглощения для целей диагностики возникает очень редко. Приобретя небольшой опыт и ознакомившись с полосами поглощения, характерными для основных видов драгоценных камней, можно научиться хорошо определять эти камни, просто наблюдая их спектр с помощью малого призмного спектроскопа. В конце концов, мы способны узнать приятеля, встретив его на улице, независимо от того, знаем ли мы точно длину его носа или расстояние между глазами. Спектр, который не узнается с первого взгляда, не очень ценен даже для опытного наблюдателя и тогда, когда известны длины волн полос поглощения.

Источник света должен быть как можно более интенсивным. Вполне пригодна матовая лампа от микроскопа или настольная лампа мощностью 60—100 Вт, но лучше применять свет от низко-

вольной осветительной лампы. Автор предпочитает пользоваться проекционной лампой мощностью 250—500 Вт, вмонтированной в корпус, облицованный асбестом, что исключает попадание в глаз постороннего света, кроме того, который прошел через камень.

Удобнее всего концентрировать свет на образце и обеспечить равномерное освещение щели спектроскопа прошедшим через камень светом с помощью микроскопа. Идеальным для этой цели является простой микроскоп с конденсором. Исследуемый камень помещают на предметное стекло на столике микроскопа и вынимают окуляр. Объектив берут небольшого увеличения, например с фокусным расстоянием 1 или 1,5 дюйма (25 или 37 мм). Регули-

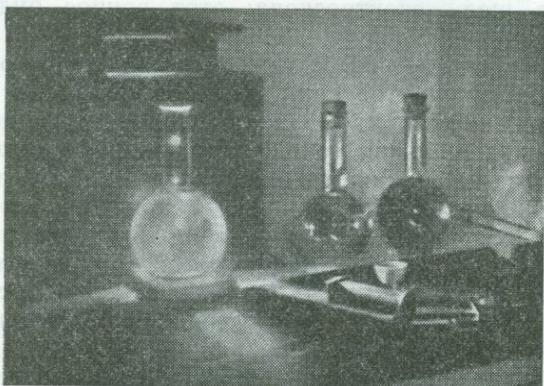


РИС. 8.2. Система освещения для изучения спектров поглощения. Свет от 500-ваттной проекционной лампы конденсируется и охлаждается при прохождении через колбу с водой.

руют положение зеркала и конденсора, и камень устанавливают таким образом, чтобы направить максимально возможное количество прошедшего через него света в центр поля. Затем немного поднимают фокус микроскопа, чтобы поле зрения равномерно наполнилось светом, прошедшим через камень. На место окуляра устанавливают спектроскоп и, если регулировка была сделана правильно, наблюдают равномерно освещенный спектр, свободный от горизонтальных полос. При этом в том или ином месте спектра будут видны вертикальные полосы, характерные для исследуемого камня.

Свет от проекционной лампы содержит много тепловых лучей и, концентрируемый линзой, как это было описано выше, может вызвать чрезмерный нагрев образца. Хотя в большинстве случаев это не опасно, тем не менее при использовании такой мощной лампы рекомендуется отсечь тепловые лучи с помощью

колбы с водой, помещенной перед лампой (рис. 8.2). Хорошо установленная колба с водой может служить конденсирующей линзой и задерживать тепловые лучи, пропуская почти весь видимый свет. Идеальной для этой цели является круглая плоскодонная колба емкостью 600—750 мл. Кроме колбы с чистой водой стоит иметь под руками аналогичную колбу, наполненную концентрированным раствором медного купороса. Если раствор готовится на водопроводной воде, его необходимо тщательно профильтровать и, если нужно, добавить немного разбавленной серной кислоты, чтобы получить идеально прозрачный раствор. При использовании раствора медного купороса в качестве конденсора и фильтра красный и оранжевый участки спектра полностью им поглощаются. Это позволяет очень четко наблюдать на темном фоне линии флюоресценции в красной части спектра (например, испускаемые рубином или красной шпинелью, описанными ниже). Полосы поглощения в синей и фиолетовой частях спектра в этом случае также становятся более отчетливыми. Естественно, что применение колбы с синим раствором ограничено только специальными целями, поскольку для наблюдения полного спектра камня необходим белый свет.

В процессе настройки освещения и регулировки положения образца рекомендуется верхнюю часть тубуса микроскопа накрывать матовым стеклом, чтобы не мешал яркий свет. При этом на нем будет видно слегка увеличенное изображение освещенного камня, которое можно навести на фокус.

Маленький камень, не закрывающий все поле зрения микроскопа, следует класть на металлическую диафрагму несколько меньшего диаметра, чем камень, для того чтобы защитить щель прибора от света, не прошедшего через камень. Если этого не сделать, будет очень трудно наблюдать полосы поглощения. Все вышесказанное относится к незакрепленным камням, однако при небольшом навыке можно проводить подобные определения камней в кольцах с одним или несколькими (до пяти) камнями, исследуя каждый камень в отдельности.

Некоторые специалисты предпочитают обходиться без микроскопа и концентрируют свет от источника с помощью конденсора. Колба с водой и здесь может сослужить хорошую службу; кроме того, она гораздо дешевле конденсора. Для более сильного освещения может дополнительно применяться линза. Образец помещают площадкой вниз на полоску черного бархата и свет, отраженный от внутренней части образца, исследуют с помощью спектроскопа, располагая его так, чтобы щель оказалась в нескольких сантиметрах от камня (рис. 8.3). При этом методе слабые полосы поглощения в бледноокрашенных образцах выглядят резче, а яркие линии флюоресценции (в рубине и шпинели) делаются еще более заметными. Для густо окрашенных камней или для наблюдения полос в синей и фиолетовой частях спектра этот

метод менее эффективен, чем изучение света, прямо пропущенного через камень. Применяя призмный спектроскоп со шкалой, можно добиться ее хорошей освещенности, помещая исследуемый камень на стеклянную пластинку.

Рекомендуемые проекционные лампы мощностью 250—500 Вт (которые и по сей день успешно применяются в Лондонской диагностической лаборатории) можно заменить небольшими галогеновыми лампами, дающими интенсивный и концентрированный пучок света. Но они требуют охлаждения с помощью вентилятора во

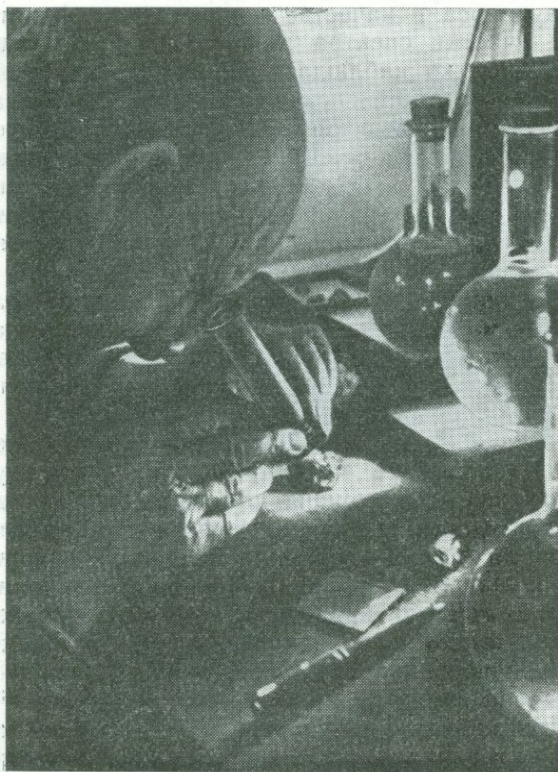


РИС. 8.3. Изучение спектров поглощения кристаллов в отраженном свете.

избежание перегрева. Эти лампы идеальны для спектроскопии, особенно в сочетании с гибкими световодами.

В настоящее время источники света такого типа с регулируемой интенсивностью освещения имеются в продаже и, несмотря на их дороговизну, при серьезной геммологической работе их стоит приобрести. Световод обеспечивает интенсивное освещение образца, будь то ограненный камень или резное изделие из жадеита;

при этом, хотя источник света сильно нагревается, на камень это не распространяется.

Спектроскопическая установка «Калтлихт» фирмы «Эйкхорст» в Гамбурге снабжена двумя световодами; один из них располагается ниже, а другой выше исследуемого образца, который помещается на вращающуюся подставку. Призмный спектроскоп можно передвигать по дуге, в центре которой находится образец, и спектр камня может наблюдаться либо в проходящем, либо в отраженном свете. Спектроскоп фирмы «Цейс» представляет собой призмный инструмент высокого качества. Он имеет освещаемую шкалу длин волн, причем красный край спектра располагается слева от наблюдателя. Недостатком его является то, что яркое изображение шкалы накладывается на спектр и мешает наблюдению слабых линий поглощения.

В установке, изобретенной и успешно применяемой в США, используется спектроскоп фирмы «Бек», в котором шкала длин волн начинается с красного края спектра, расположенного в данном случае справа от наблюдателя. Поэтому в книге Р. Т. Лиддикота «Идентификация драгоценных камней» замечательные рисунки спектров поглощения, выполненные Р. Кроунингшилом, показаны именно в таком положении. Когда привыкаешь видеть спектр в одном положении, с удивлением обнаруживаешь, как трудно узнать картину расположения полос в зеркальном его изображении. Поэтому для удобства приводимые ниже рисунки спектров даны в обоих положениях (рис. 8.5—8.8). Автор всегда считал, что для диагностики камня по спектру в большинстве случаев шкала длин волн не нужна, поскольку распределение, ширина, относительная интенсивность и общий характер полос столь специфичны для каждого вида камня, что большинство спектров поглощения можно узнать с первого взгляда. Кроме того, спектроскопы без шкалы гораздо дешевле. В том случае, когда возникает необходимость в проверке положения какой-либо полосы и не очень отчетливых полос, а такие наблюдаются в спектре пироба и красной шпинели, можно с успехом применить некоторые приемы, например ввести в световой пучок разбавленный раствор перманганата калия, о чем более подробно будет сказано в главе, посвященной гранату. Этот раствор дает в спектре равномерно распределенные полосы поглощения при 5700, 5450, 5240 и 4870 Å, которые могут служить своего рода «встроенной» шкалой длин волн. Другой путь — использование спектра ламп дневного света, применяемых в учреждениях и на заводах. В этом случае ориентирами будут служить яркие линии испускания ртути в желтой части при 5790 и 5769 Å (дублет), в зеленой части при 5460 Å и одна в фиолетовой части спектра при 4358 Å, которые с помощью соответствующим образом установленного зеркала могут быть наложены на спектр исследуемого камня. Для этой цели может быть использован также солнечный свет с его большим набором хорошо извест-

ных фраунгоферовых линий. На практике, однако, нужда во всех этих ухищрениях возникает сравнительно редко.

Все это, конечно, не означает, что не нужно проводить точных измерений длин волн всех полос поглощения и полученные результаты вносить в справочники; автор и его коллега К. Д. Ж. Пейн в первые годы своих исследований спектров поглощения кропотливо занимались этим делом. Можно с уверенностью сказать, что данные, опубликованные во всех геммологических справочниках мира, основаны на подобных наблюдениях.

Измерения были в основном выполнены с помощью отличных спектроскопов фирмы «Бек». Один из них, называвшийся «Вейвленф», имел дифракционную решетку и подвижную, видимую в окуляр вертикальную метку, которая совмещалась с исследуемой линией или полосой спектра с помощью калиброванного барабана. Точность этого великолепного прибора при измерении линий или полос составляла  $\pm 10 \text{ \AA}$ . Спектроскоп «Хартридж» отличался тем, что давал два изображения спектра, расположенные один над другим в противоположных направлениях. С помощью проградуированного в длинах волн барабана один спектр перемещался относительно другого до совмещения линий в обоих спектрах. В этом положении по делению на барабане определялось значение длины волны измеряемой линии. Точность измерения данного прибора также достигала  $\pm 10 \text{ \AA}$ . В обоих случаях труднее всего было измерить положение линии тогда, когда полоса была широкой и имела разную плотность по ширине.

Если в спектре видны четкие узкие линии, такие, например, как линии хрома в рубине, изумруде или александрите или в некоторых образцах циркона и алмаза, можно получить точные величины, сравнивая эти линии с помощью настольного спектрометра со спектром испускания элементов, введенных в пламя дуги.

Самые лучшие результаты при изучении спектров драгоценных камней (при хорошем освещении) с помощью обычного небольшого призмленного спектроскопа можно получить, правильно регулируя ширину щели и тщательно наведя на фокус исследуемую часть спектра.

Многие неопытные наблюдатели не могут добиться хороших результатов при работе со спектроскопом из-за того, что они применяют либо слишком широкую, либо слишком узкую щель. Последняя всегда должна быть максимально узкой, однако она должна пропускать достаточно света для того, чтобы различить все полосы на фоне непрерывного спектра. Когда щель почти закрыта, вдоль всей длины спектра появляются темные горизонтальные линии. Это следы частичек пыли, перекрывающих щель в некоторых местах. Освободиться от нее можно, тщательно очистив щель мягкой кистью из верблюжьего волоса или заостренной на конце спичкой. В некоторых приборах щель прикрыта стеклами и пыль в нее не попадает. В последней модели призмленного спектро-

скопа «Рейнер» (рис. 8.1) предусмотрены фиксированные щели различной ширины, используемые по мере надобности. Считается, что изготовление щели со строго параллельными краями — одна из наиболее трудных инженерных задач при производстве спектро-скопов.

Фокусировка спектра осуществляется осторожным перемещением выдвигной трубки. Если выдвинуть трубку до конца, то сфокусированным окажется красный край спектра, если не выдвигать трубку, фокусируется синий. Рекомендуется поупражняться в фокусировке спектра паров ртути от флуоресцентных ламп или фраунгоферовых линий в спектре Солнца. В обоих случаях линии

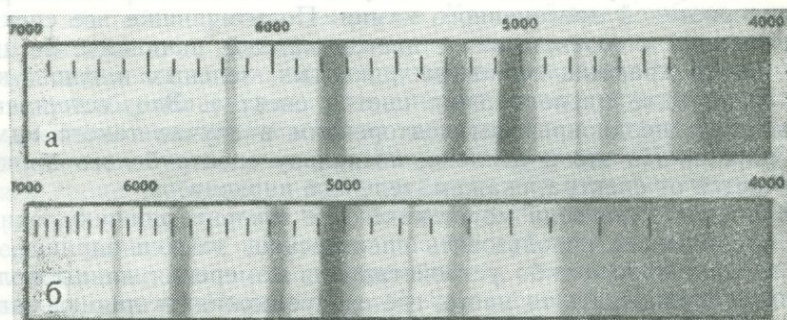


РИС. 8.4. Положение полос поглощения в спектре альмандина. Наблюдение через спектроскоп с дифракционной решеткой (а) и призмный спектроскоп (б). Ср. с рис. 8.5 (5).

спектра чрезвычайно узкие и поэтому при точной фокусировке очень четкие. При изучении спектра поглощения драгоценных камней, когда рассматриваются различные части одного и того же спектра, необходима регулировка и ширины щели и фокуса.

Все изложенные выше наставления заняли много места, однако соблюдение этих инструкций облегчит определение драгоценных камней даже тем, кому такие исследования кажутся необычайно трудными.

Наиболее характерные спектры, с которых рекомендуется начинать изучение, наблюдаются у коричневых или зеленоватых цейлонских цирконов и альмандина (рис. 8.4). Они считаются «классическими» примерами: ведь именно у этих камней Черч в 1866 г. впервые наблюдал полосы поглощения. Очень удобен также синтетический рубин с его ярко выраженным спектром. Ниже подробно описаны особенности этих спектров.

Совсем непростое решить, в каком порядке следует описывать спектры поглощения отдельных драгоценных камней. Несомненно, с научной точки зрения и точки зрения систематики целесообразно

нее всего группировать спектры по принципу обуславливающих их элементов — хрома, железа, марганца и т. д., и именно такой принцип был использован в предыдущих изданиях этой книги. Однако такой порядок заранее предполагал довольно высокий уровень подготовки читателя. Поэтому сейчас для большего удобства за основу описания взят цвет камней.

Это вызвано практическими задачами. Прежде всего с цветом связано светопоглощение, и полосы поглощения, наблюдаемые, например, в рубине, совершенно отличны от полос поглощения в спектре сапфира, хотя оба камня относятся к одному и тому же виду. Более того, описательная часть данной книги в целом основана на факторе цвета, поскольку цвет является наиболее яркой характеристикой драгоценного камня. Поэтому ниже все спектры описываются в соответствии с цветом камней, начиная с бесцветных, затем красных, оранжевых, желтых, зеленых и синих камней, в порядке расположения цветов спектра. Это, естественно, приводит к неоднократным повторениям в случае такого камня, как циркон. Но это и неплохо, поскольку спектр белого циркона отличается от спектра, скажем, зеленого циркона.

Значения длин волн могут ничего не говорить новичку, однако тот, кто намерен использовать спектроскоп, должен заранее, без применения какого-либо устройства для измерения длины волны, научиться угадывать то место, где следует ожидать линию, например, с длиной волны 5200 Å, а не 5600 Å (хотя обе описываются как зеленые).

## СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ОКРАШИВАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Совершенно прозрачные камни, конечно, никаких полос поглощения не дают. Однако узкие полосы очень слабо влияют на видимый свет, особенно если имеется несколько узких полос, равномерно распределенных по длине спектра, как у циркона. В эту первую группу включены также практически бесцветные камни. Но прежде чем приступить к описанию индивидуальных спектров, дадим общую характеристику типов спектров и их связи с ионами металлов, ответственными за цвет минералов. Все эти металлы относятся к так называемым переходным элементам и занимают последовательные места в периодической таблице элементов: за титаном (атомный номер 22) идут ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель и медь. В некоторых случаях уран и некоторые редкоземельные элементы могут увеличить число полос поглощения, но на цвет практически не влияют. Цвет алмаза обусловлен дефектами в кристаллической структуре камня, в частности нередко внедрением атомов азота в решетку углерода.

Минералы на основании различных механизмов окраски могут быть разделены на идиохроматические (самоокрашенные), цвет которых обусловлен элементом, составляющим существенную

часть камня, например железом в алмандине или хризолите, медью в малахите, и аллохроматические, в которых окрашивающий элемент присутствует в очень небольшом количестве как «случайная» микропримесь. Большинство драгоценных камней являются аллохроматическими минералами, бесцветными в чистом виде и окрашенными в случае присутствия следов различных окрашивающих элементов. К этой категории относятся кварц, берилл, корунд, турмалин, топаз, шпинель, циркон и многие другие.

Возвращаясь к типу спектра, обусловленному основными переходными элементами, мы начнем с хрома, как элемента, играющего большую роль в окраске драгоценных камней. Именно хром (или окись хрома) дает самые лучшие красные и самые лучшие зеленые цвета в царстве минералов. Красный цвет рубина и шпинели, зеленый цвет изумруда, жадеита и демантоида обусловлены присутствием в них *хрома*, тогда как в александрите (разновидность хризоберилла) хром дает смешанное окрашивание, зеленое при дневном свете и красное при искусственном освещении. Линии поглощения, обусловленные хромом, очень характерны и имеют одни и те же особенности как у красных, так и у зеленых камней. В красной части спектра наблюдаются узкие линии с двумя наиболее интенсивными, которые образуют дублет (две очень близко расположенные линии) в дальнем конце, и двумя или более линиями на оранжевой стороне этой части спектра. Имеется также широкая полоса поглощения в центральной части спектра, т. е. в желто-зеленой области; ее ширина и интенсивность определяют, по существу, оттенок камня. Наблюдается также сильное поглощение в фиолетовой части спектра и нередко узкие линии в синей.

Хром обычно входит в решетку кристалла, замещая небольшое количество алюминия, являющегося основным компонентом камня. В качестве примеров можно привести рубин, изумруд и александрит. Замещаемым элементом может быть также магний, например в энстатите и гавайском хризолите. Цвета, связанные с хромом, богаты и чисты, поскольку полосы и линии поглощения четко очерчены и непоглощенные цвета проходят через камни с максимальной интенсивностью. Цвета, обусловленные железом, хотя и весьма красивы, но не столь насыщены, потому что, помимо поглощения в основных полосах, здесь имеет место и общее поглощение почти во всех частях спектра. Прибегая к грубой аналогии, можно сказать, что полосы хрома подобны городам, которые окружены стенами, не имеют никаких пригородов и окрестности которых чисты и не распаханы, тогда как полосы железа похожи на города, переходящие в пригороды с разбросанными в беспорядке домами, так портящими пейзаж.

*Железо* имеет два типа спектров: один определяется закисным двухвалентным железом, а другой — окисным трехвалентным. Железо в основном дает красный и зеленый цвета, однако чернильный цвет синей шпинели также обусловлен им. Полосы желе-

за только изредка очень резкие, расположены главным образом в зеленой и синей частях спектра.

Минералы, окрашенные *марганцем*, имеют типичный розовый (цвет рододендрона) или оранжевый оттенок. Полосы этого элемента лежат в синей части спектра, но самые интенсивные и часто очень интенсивные располагаются в фиолетовой, продолжаясь иногда и в невидимой ультрафиолетовой области.

Природные *кобальтовые* минералы имеют розовый цвет, но ни один из них непригоден для ювелирных украшений. В стекле и синей синтетической шпинели, которые используются для имитации сапфира, а также в синем синтетическом кварце окраска обусловлена кобальтом, причем его спектры поглощения в этих материалах очень характерны: три интенсивные широкие полосы в желтой, зеленой и сине-зеленой частях спектра.

Другие переходные элементы лишены таких характерных полос поглощения, за исключением *меди* в бирюзе, которая дает две узкие полосы поглощения в фиолетовой части (обычно видна лишь одна), и *ванадия*, который дает единственную линию в синей части спектра и используется для окрашивания синтетического корунда под александрит.

Полосы, обусловленные *ураном*, наблюдаются только у циркона; уран создает очень характерный спектр с многочисленными четкими линиями. Линии урана очень узкие и равномерно распределены по спектру, поэтому он оказывает минимальное влияние на цвет. Наконец, можно упомянуть об узких линиях, обусловленных присутствием двух *редкоземельных элементов* — неодима и празеодима, известных под общим названием *дидима*, поскольку в природе они всегда встречаются вместе, хотя в лаборатории в результате трудоемкой работы могут быть получены по отдельности. Присадка дидима к стеклу приводит к сильному поглощению в желтой части спектра и вызывает характерное розовое окрашивание. В природных минералах этих элементов очень мало, и их полосы или линии поглощения настолько слабы, что на цвете не сказываются. Электроны примесных редкоземельных элементов, участвующих в процессе поглощения, расположены не на наружной оболочке и поэтому подвержены меньшему влиянию окружающего электрического поля в основном кристалле по сравнению с большинством хромофорных элементов. Следовательно, при описании их спектра более справедливо использовать термин «линия», чем термин «полоса». Следы дидима чаще всего встречаются в минералах кальция и определяют появление характерной группы тонких линий в желтой и, пожалуй, в зеленой частях спектра. Желтый, а иногда и зеленый апатит — единственные природные драгоценные камни, в которых все линии дидима весьма интенсивны, хотя отдельные линии большей интенсивности были определены в данбурите, сфене, везувиане, флюорите, шеелите, кальците. Интенсивные линии дидима, а также линии от других редкозе-

мельных элементов могут служить прямым доказательством синтетической природы кристалла или признаком стекла. Более подробно такие спектры будут описаны в конце этой главы.

## БЕСЦВЕТНЫЕ КАМНИ

Вполне естественно, что большинство бесцветных или почти бесцветных камней не имеет в спектрах полос поглощения, поскольку в них отсутствуют «окрашивающие» окислы. Правда, некоторые линии характерны для бесцветного циркона, но они слишком слабые и узкие, чтобы оказывать какое-либо влияние на цвет. Полосы поглощения в фиолетовой части спектра могут быть видны также у слабо окрашенного алмаза и у синтетического рутила.

**Белый циркон (уран).** В спектре белого циркона неизменно присутствует узкая линия в красной части при  $6535 \text{ \AA}$  и почти прилегающая к ней еще более слабая линия при  $6590 \text{ \AA}$ . Нередко заметны и другие характерные для циркона линии, особенно ярко проявляющиеся у окрашенных разновидностей ( $5895$ ,  $5625 \text{ \AA}$  и т. д.). Спектр наиболее четкий в отраженном свете, усиливающим интенсивность слабых полос.

**Алмаз (структура).** У большинства алмазов видна узкая полоса поглощения при  $4155 \text{ \AA}$  в дальней фиолетовой области спектра, причем она, если ее удастся увидеть, полностью определяет алмаз. В капских алмазах эта полоса отличается большой интенсивностью и может сопровождаться пятью более слабыми полосами при  $4780$ ,  $4650$ ,  $4510$ ,  $4350$  и  $4230 \text{ \AA}$  в синей и фиолетовой частях спектра. Наиболее заметна полоса при  $4780 \text{ \AA}$ . У бурых алмазов присутствуют тонкие линии в сине-зеленой части спектра при  $5040 \text{ \AA}$  и более слабые линии при  $5370$  и  $4980 \text{ \AA}$ , однако увидеть их очень трудно. Камни со спектром капских алмазов, как правило, дают в ультрафиолетовом свете голубую флюоресценцию, тогда как алмазы коричневых тонов — зеленую. Синий фильтр (раствор медного купороса) облегчает наблюдение линий в дальней фиолетовой части спектра. Следует отметить, что свет наиболее легко проходит через алмаз в направлении рундиста. Поэтому камень необходимо исследовать именно в таком положении, удерживая его с помощью пинцета или помещая на стеклянную пластинку с маленьким шариком пластилина. Изменения в спектре поглощения алмаза, обусловленные его облучением тяжелыми частицами, описаны в главе об алмазе.

**Синтетический рутил.** Сделать этот сверкающий синтетический камень совершенно бесцветным пока не удалось. Его желтоватый оттенок, вероятно, обусловлен присутствием интенсивной полосы поглощения (около  $4250 \text{ \AA}$ ) в конце фиолетовой части видимого спектра.

## КРАСНЫЕ КАМНИ

**Рубин** (хром), рис. 8.5 (1). Природные и синтетические камни имеют одинаковый спектр, но синтетика содержит больше хрома при равной глубине цвета, поэтому линии в ее спектре выглядят более интенсивными.

Спектр рубина разнообразен и сложен, но вместе с тем достаточно характерен. Его особенности: интенсивный дублет в дальней красной области (6942 и 6928 Å) — в нормальных условиях он выглядит как одна яркая линия флюоресценции; две более слабые линии на оранжевой стороне красной части спектра (6680 и 6595 Å), которые также могут выглядеть как линии флюоресценции; широкая полоса поглощения, центрированная около 5500 Å, перекрывающая желтую и зеленую области спектра, и три узкие полосы в синей области — две, расположенные близко друг от друга, и одна на некотором отдалении (4765, 4750 и 4685 Å). Кроме того, наблюдается сильное общее поглощение в фиолетовой части. Флюоресцирующий дублет может служить чувствительным индикатором следов хрома в корунде. Присутствие в решетке корунда даже одной части  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на 10 000 частей  $\text{Al}_2\text{O}_3$  уже вызывает красную флюоресценцию камня в интенсивном белом свете, в ультрафиолетовом свете или в рентгеновских лучах. Эту яркую линию можно видеть в спектре многих практически бесцветных, а также в синих цейлонских сапфирах, содержащих следы хрома и небольшое количество железа. Последнего, однако, недостаточно, чтобы погасить флюоресценцию. У рубинов, богатых хромом, и у синтетических рубинов дублет виден как линия поглощения в прямом проходящем свете. У сиамских рубинов, содержащих железо в количестве, подавляющем флюоресценцию, яркость флюоресцирующих линий снижена, но эти различия не всегда могут служить надежным критерием для распознавания камней из этих двух основных месторождений рубина. Увидеть линии флюоресценции легче, если пользоваться фильтром из раствора медного купороса, поскольку в этом случае они видны на темном фоне, а линии в синей части спектра становятся более заметными.

Рубин обладает сильным дихроизмом, и поэтому его спектр поглощения несколько меняется в зависимости от направления света, проходящего через камень.

Основное различие наблюдается в широкой центральной полосе поглощения. Для обыкновенного луча она значительно шире и интенсивнее, чем для необыкновенного. Поэтому в обыкновенных лучах рубин имеет чистый красный цвет без желтоватого оттенка, характерного для рубина, наблюдаемого в необыкновенных лучах.

Единственный красный камень, который можно спутать с рубином, — шпинель. Она также имеет красную флюоресценцию, по цвету не отличимую от флюоресценции рубина, но спектроскоп раскладывает ее на серию ярких линий (так называемый эффект

«органной трубы»), тогда как у рубина видна только одна яркая линия в сопровождении двух значительно более слабых линий. Другой характерной особенностью спектра шпинели является отсутствие линий в синей части.

Спектр хрома в рубине описан так подробно вследствие того, что он очень важен и представляет большой интерес. Многочисленные дополнительные линии, иногда наблюдающиеся в спектре рубина, здесь не рассматриваются. Итак, можно сделать вывод, что любой красный камень, который под действием света дает яркую флюоресцирующую линию в красной части спектра и узкие линии поглощения в синей, несомненно, является рубином — природным или синтетическим.

Характер и положение полос поглощения в спектре рубина и других камней, описанных ниже, хорошо видны на рисунках, специально выполненных для данной книги Т. Г. Смитом (рис. 8.5—8.8). В отличие от большинства рисунков, обычно приводимых в книгах, они дают картину, наблюдаемую через призменный спектроскоп, поскольку автор убежден, что именно этот тип спектроскопа является наиболее подходящим при определении камней. Шкала длин волн, показанная вверху, дает представление о том, насколько в этом случае сжат красный край спектра и растянут синий.

Для наглядности графического изображения дублет в красной части показан как дублет *поглощения*. Он будет виден лишь тогда, когда ярко-красный природный или синтетический рубин рассматривают в прямом проходящем свете. На практике эти линии обычно выглядят как *яркая* светящаяся линия, расположенная точно на том же месте. Меняя в процессе работы направление проходящего через камень света, часто можно наблюдать обратимость спектра, т. е. превращение линии из темной в светлую.

**Красная шпинель (хром)**, рис. 8.5 (2). Кроме широкой полосы в зеленой части спектра, центрированной при 5400 Å, другие полосы и линии поглощения у шпинели заметны редко, и только у богатой хромом бирманской шпинели можно наблюдать ряд тонких линий в красной части спектра. Тем не менее красные и розовые шпинели обычно хорошо определяются по очень характерным флюоресцирующим линиям в далекой красной части спектра. В отличие от полос поглощения у рубина они образуют группу из пяти или более линий, как бы серию органичных труб. Две центральные линии — наиболее яркие, причем самая яркая имеет длину волны 6860 Å и отделяется темной полосой от другой интенсивной линии при 6750 Å. Для выявления серии этих линий необходимо применять очень мощный источник света. Полезен также фильтр из медного купороса, поскольку он позволяет вести наблюдение на темном фоне. Интересно отметить, что у редко встречающейся красной шпинели, получаемой методом Вернейля или каким-либо другим методом кристаллизации, этой группы линий

нет, и ее спектр ограничен единственной флуоресцирующей линией при 6860 Å. Он напоминает спектр рубина, однако отсутствие полос поглощения в синей части спектра служит доказательством того, что камни не являются рубинами.

**Альмандин** (железо), рис. 8.5 (5). Альмандин дает спектр, который очень легко наблюдается и узнается. Как и циркон, альмандин был одним из камней, спектры которых были описаны первыми. Это произошло в 1866 г., когда сэр Артур Черч опубликовал в журнале «Интеллектьюэл обсервер» сообщение об открытии новых спектральных полос.

Основная особенность спектра альмандина — наличие трех полос: интенсивной полосы в желтой (5760 Å), зеленой (5270 Å) и сине-зеленой (5050 Å) частях спектра. Имеется также ряд более слабых полос, из которых наиболее заметны полосы в оранжевой (6170 Å) и синей (4620 Å) частях спектра. Из трех основных полос наиболее устойчива полоса при 5050 Å. Она слабо видна почти у

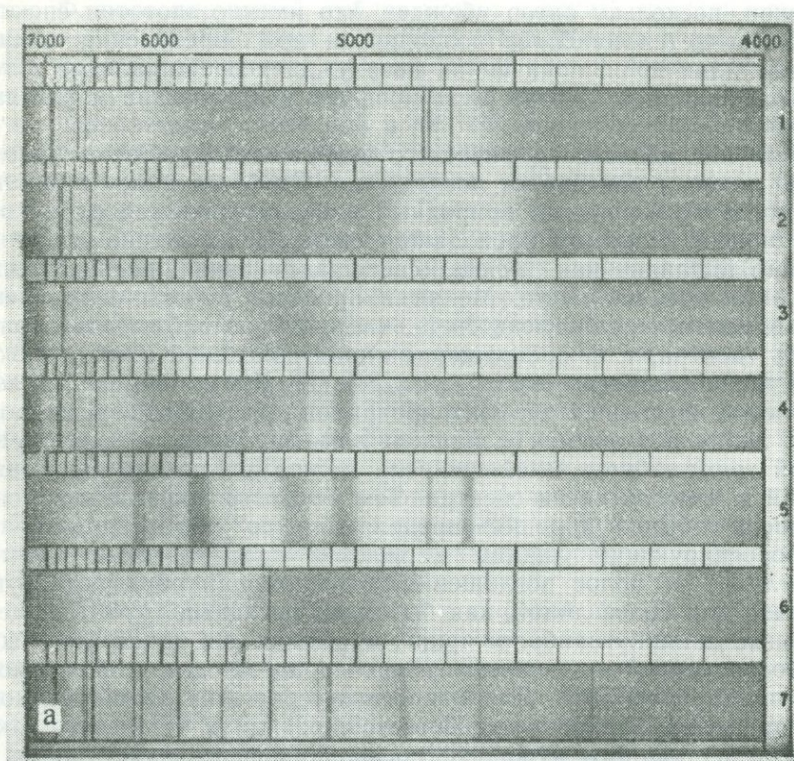
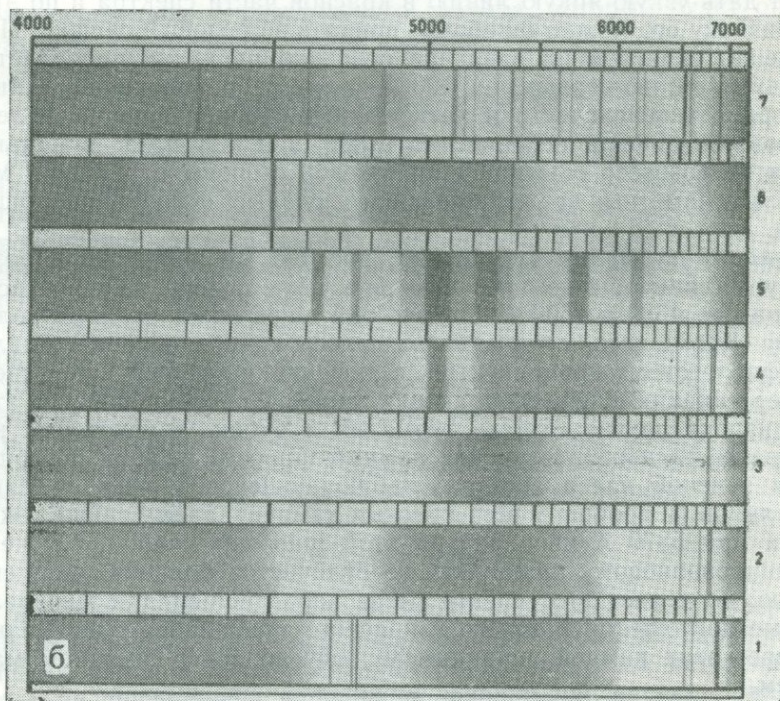


РИС. 8.5. а — спектры поглощения красных камней в призмном спектрокопе: и циркона (7); б — обратное изображение рис. 8.5, а: рубин (1), шпинель (2), то-

всех пиропов, а также у многих спессартинов, особенно у цейлонских. Флюоресценции у альмандина нет.

**Пироп** (хром и железо), рис. 8.5 (4). Чистый магний-алюминиевый гранат теоретически должен быть бесцветным, однако такой минерал в природе не найден. Все красные гранаты представляют собой, как правило, смеси альмандиновых и пироповых молекул. Для удобства мы используем термин «пироп» для обозначения гранатов с пониженными показателями преломления и низкой плотностью, а термин «альмандин» — для обозначения гранатов, более богатых железом и имеющих более высокие показатели преломления и плотность. Однако у пиропов, наиболее широко используемых в ювелирном деле (из Кимберли, Чехословакии или Аризоны), густой красный цвет обусловлен в большей степени хромом, чем железом. Это приводит к появлению в спектре широкой полосы в желтой части при 5750 Å. Она перекрывает две из трех основных полос альмандина, которые в другом случае были бы видны. Третья альмандиновая полоса при 5050 Å проявляется довольно слабо на границе зеленой и синей частей спектра. Как и в случае шпинели, узкие линии хрома в красной части



рубина (1), шпинели (2), топаза (3), пироба (4), альмандина (5), турмалина (6) паз (3), пироп (4), альмандин (5), турмалин (6) и циркон (7).

спектра заметны редко. Отличить пироп от шпинели нетрудно. За редким исключением, пироп не флюоресцирует даже в скрещенных фильтрах. Более того, его широкая центральная полоса поглощения лежит у желтого края зеленой части спектра, тогда как у шпинели она сдвинута на  $350 \text{ \AA}$  по направлению к синему краю. Следует отметить, что некоторые красные гранаты, которые считают пиропами на основании низкой плотности и невысокого показателя преломления, содержат очень мало хрома, и поэтому у них виден только слабый алмандиновый спектр.

**Розовый топаз** (хром), рис. 8.5 (3). Розовый топаз или желто-коричневый топаз из Оуро-Прето (Бразилия), который розовеет после нагревания, содержит достаточно хрома для возбуждения красной флюоресценции между скрещенными фильтрами. Для его спектра характерна слабая флюоресцирующая линия (по-видимому, дублет) при  $6820 \text{ \AA}$ . В крупных густо окрашенных камнях она может наблюдаться в виде линии поглощения, как правило довольно слабой. При диагностике на спектр топаза нельзя особенно полагаться, однако для геммолога, пользующегося спектроскопом, весьма важно знать, что розовый топаз при сильном освещении может дать узкую яркую линию в красной части спектра и по этому признаку его можно ошибочно принять за розовый сапфир. При сравнении спектров их различие особенно наглядно проявляется в следующем: во-первых, на  $100 \text{ \AA}$  отличается положение линий; во-вторых, интенсивность и четкость флюоресцирующего дублета у розового сапфира несравненно выше, чем у топаза; в-третьих, в спектре розового сапфира с оранжевой стороны от дублета могут быть заметны две другие более слабые флюоресцирующие линии.

**Красный турмалин** (марганец), рис. 8.5 (6). Красный и розовый турмалины обычно дают довольно узкие полосы в синей части спектра при  $4580$  и  $4500 \text{ \AA}$ . Однако они шире очень сходных полос рубина. Кроме того, у турмалинов полосы сдвинуты гораздо дальше к фиолетовому краю спектра, и, конечно, в красной части спектра нет никаких флюоресцирующих линий. Следовательно, по этому признаку нельзя спутать турмалин и рубин. У некоторых коричневатокрасных турмалинов помимо широкой полосы поглощения в зеленой части спектра, наблюдающейся у всех красных турмалинов (и вообще у всех красных камней), видна также узкая полоса при  $5370 \text{ \AA}$  явно внутри этой широкой полосы, ближе к ее длинноволновому краю. Она не отличается большой интенсивностью, но делает этот спектр очень характерным для минерала. Кривые поглощения розового и красного турмалинов показывают, что цвет этих камней, по-видимому, обусловлен в основном марганцем.

**Красный циркон** (уран), рис. 8.5 (7). Некоторые цирконы дают характерную узкую полосу в красной части спектра при  $6535 \text{ \AA}$ , более слабую при  $6590 \text{ \AA}$ , и еще десять других узких полос, рас-

пределенных по всему спектру и обусловленных ураном. Однако существуют цирконы, в спектре которых вообще нет никаких полос. На рис. 8.5 (7) представлен полный спектр. Длины волн всех полос будут приведены при описании спектра желтого циркона, который наиболее постоянен и поэтому надежен с диагностической точки зрения.

Из других красных или розовых камней, используемых в ювелирном деле и имеющих полосы поглощения в спектрах, можно упомянуть *красные пасты*, окрашенные селеном, которые дают только широкую полосу в зеленой части спектра, несколько меняющую положение в зависимости от типа используемого стекла, и два просвечивающих поделочных камня — *родонит* и *родохрозит*. Оба они окрашены марганцем и имеют похожие спектры: широкая полоса в зеленой части, центрированная при 5500 Å. Очень редкие прозрачные образцы родохрозита имеют полосу в фиолетовой части при 4490 Å и интенсивную полосу при 4100 Å в дальней фиолетовой части спектра. Для прозрачного родонита характерна узкая полоса при 5030 Å, слабая полоса при 4550 Å и очень интенсивные узкие полосы при 4120 и 4080 Å. Все эти спектры имеют небольшое практическое значение, однако интерес к ним связан со спектром спессартина — марганцевого граната, который будет описан в разделе, посвященном желтым камням.

## ОРАНЖЕВЫЕ КАМНИ

Ярко-оранжевым драгоценным камнем является огненный опал. За опал можно принять только немногие камни. Сам он почти не имеет полос поглощения, кроме как в красной и оранжевой частях спектра, но он дает общее поглощение по всему спектру. Такой же спектр характерен для оранжевого стекла, но у него более резкий край.

Оранжевый синтетический сапфир, называемый иногда «пад-парадшах», всегда содержит следы хрома и поэтому дает флюоресцирующую линию, отмеченную для рубина. Своеобразный красновато-желтый цвет, который может быть назван оранжевым, характерен для спессартина, однако его спектр описан в разделе о желтых камнях. Оранжевый топаз может давать флюоресцирующую линию, указанную для розового топаза.

## ЖЕЛТЫЕ КАМНИ

**Желтый алмаз.** Желтый оттенок — наиболее распространенный недостаток ювелирных алмазов. Он особенно типичен для капских алмазов, спектр которых характеризуется интенсивными полосами поглощения в синей и фиолетовой частях. Наиболее интенсивная полоса, имеющая большое значение для определения минерала, расположена далеко в фиолетовой части при

4155 Å. Эта узкая и резко очерченная полоса появляется у большинства алмазов, когда интенсивный пучок света пропускается через камень или отражается от его внутренних поверхностей. Центр следующей по интенсивности и более легкой для наблюдения полосы расположен при 4780 Å. Более слабые полосы лежат при 4650, 4510 и 4230 Å. Чем интенсивнее эти полосы, тем глубже окраска камня. Эта закономерность положена в основу прибора для сортировки ювелирных алмазов по цвету, разработанному фирмой «Эйкхорст». Интенсивно окрашенные желтые камни легко принять за «фантазийные» алмазы, однако следует иметь в виду, что в настоящее время цвет часто усиливают путем облучения нейтронами с последующим нагреванием (исходный цвет облученных камней — зеленый). Такие облученные кам-

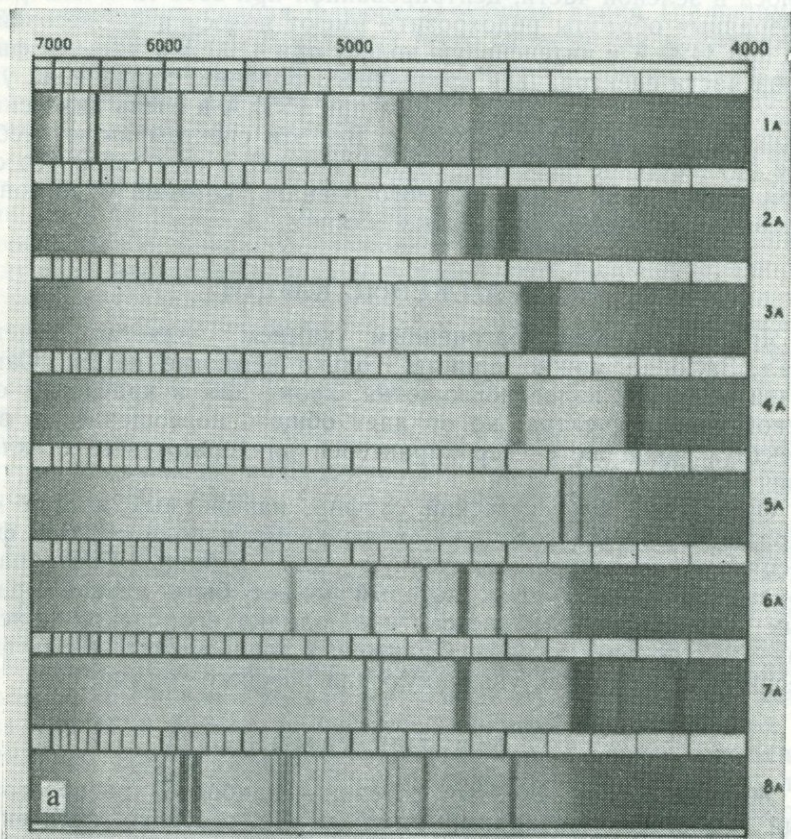
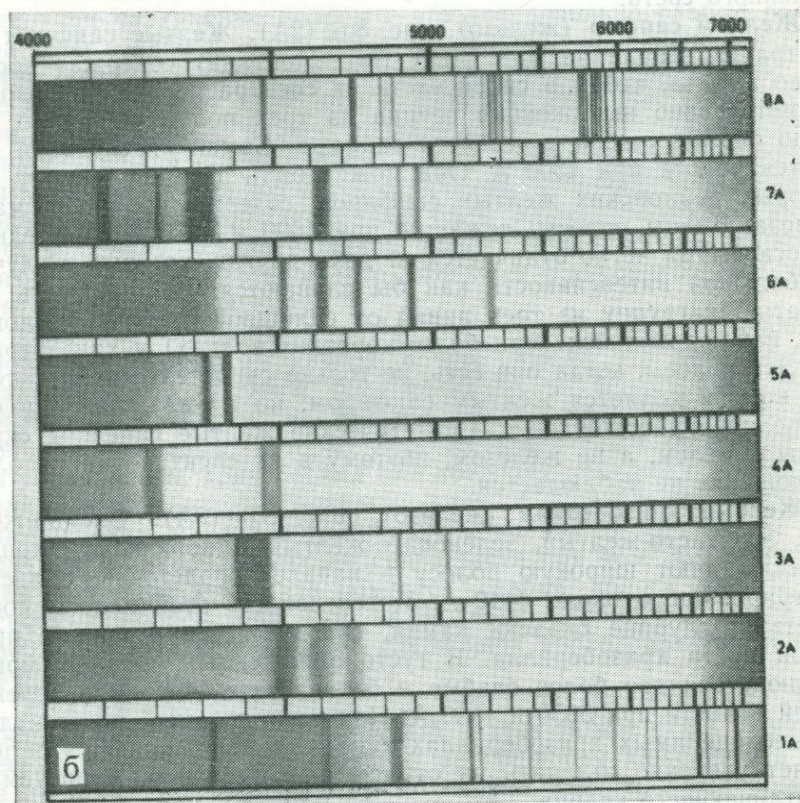


РИС. 8.6. *a* — спектры поглощения желтых камней: циркона (1А), сапфира (2А), на (7А) и апатита (8А); *б* — обратное изображение рис. 8.6, *а*: циркон (1А), сапфирин (7А) и апатит (8А).

ни устойчиво сохраняют свой цвет и широко продаются и используются. Однако владельцы желтых алмазов часто обращаются в лаборатории с просьбой установить, являются ли их камни природными «фантазийными» алмазами или же они окрашены в результате облучения, поскольку первые, как очень редкие, стоят значительно дороже. Подробнее этот вопрос обсуждается в гл. 10.

Существует класс крайне редких желтых алмазов, впервые описанных автором в 1943 г. и названных настоящими канареечными (ярко-желтыми) алмазами. Они отличаются тем, что не дают видимых полос поглощения и обладают желтой флуоресценцией (капские алмазы флуоресцируют голубым светом). Доктор Рааль предположил, что цвет этих камней может быть обусловлен вхождением отдельных атомов азота в решетку алмаза, тог-



хризоберилла (3А), ортоклаза (4А), сподумена (5А), сингалита (6А), спессартит (2А), хризоберилл (3А), ортоклаз (1А), сподумен (5А), сингалит (6А), спес-

да как у значительно более распространенных капских алмазов примесный азот группируется в агрегаты.

**Желтый циркон** (уран), рис. 8.6 (1А). Желтые, желто-коричневые и коричневые цирконы с острова Шри Ланка (Цейлон) дают интенсивный и очень характерный спектр, состоящий из узких полос, распределенных удивительно равномерно по длине спектра. Наиболее интенсивные полосы отмечаются при 6910, 6625, 6590, 6535, 5895, 5625, 5375, 5150, 4840 и 4325 Å. Эти и более слабые полосы показаны на рис. 8.6. Золотисто-желтые цирконы, полученные путем нагревания коричневых кристаллов из Индокитая, лишены такого интенсивного или полного спектра. Однако полоса при 6535 Å и более слабая полоса при 6590 Å видны всегда как узкие «карандашные» линии в красной части спектра. Следует помнить, что, если полосы очень слабо различимы в проходящем свете, необходимо использовать методику отраженного света.

**Желтый сапфир** (железо), рис. 8.6 (2А). Желтые сапфиры из Австралии, Таиланда или США (шт. Монтана) содержат достаточно железа, чтобы в синей части их спектра появилась довольно интенсивно выраженная группа из трех полос. Особенно хорошо она выражена у зеленого сапфира. Самой интенсивной является полоса при 4500 Å. Она может быть заметна даже у некоторых цейлонских желтых сапфиров, содержащих очень мало железа. Видны полосы, лежащие при 4600 и 4710 Å. Последняя полоса всегда четко отличается от двух других, которые в случае их большей интенсивности как бы сливаются. Важно уметь отличать эту группу из трех линий от сплошной полосы поглощения, наблюдающейся (при более коротких волнах) у хризоберилла. Эти полосы, когда они есть, не только свидетельствуют о том, что камень является желтым сапфиром, но и указывают на его природное происхождение. Синтетические желтые сапфиры окрашены никелем, а не железом, поэтому в их спектре таких полос поглощения не наблюдается.

**Желтый хризоберилл** (железо), рис. 8.6 (3А). Бледно-желтый, золотисто-желтый, зеленовато-желтый и коричневый хризобериллы дают широкую полосу в начале фиолетовой области, центрированную около 4440 Å. Интенсивность этой полосы соответствует глубине окраски камня. Она является основной причиной цвета хризоберилла. В густо окрашенных камнях могут наблюдаться две более слабые и более узкие полосы в зелено-синей области при 5050 и 4850 Å. Полоса при 4440 Å часто видна в высокоценных хризобериллах типа кошачьего глаза, что позволяет уверенно отличать их от дешевых имитаций, шлифуемых из отливающего кварца.

**Желтый ортоклаз** (железо), рис. 9.6 (4А). Желтый ортоклаз с Мадагаскара может иметь очень привлекательный вид. Цвет его обусловлен трехвалентным железом, замещающим алюми-

ний в полевом шпате, вследствие чего в синей и фиолетовой частях спектра наблюдаются две довольно слабые полосы при 4480 и 4200 Å, из которых последняя более интенсивна.

**Желтый сподумен** (железо), рис. 8.6 (5А). Цвет желтого сподумена также обусловлен трехвалентным железом. В его спектре видны две весьма узкие полосы в фиолетовой части при 4380 и 4325 Å, которые почти точно соответствуют полосам, наблюдаемым в очень близком по составу жадеите. Из двух указанных полос первая значительно более интенсивна.

**Спессартин** (марганец), рис. 8.6 (7А). Спессартин — редкий марганцевый гранат, далеко не всегда имеющий чистый желтый цвет. Чаще для него характерен оранжевый или даже чуть красноватый оттенок вследствие примеси других гранатовых молекул. В спектре спессартина нередко наблюдаются слабые полосы альмандина, в особенности устойчивая полоса при 5050 Å. Чисто спессартиновые полосы — это две довольно слабые полосы при 4950 и 4850 Å, одна более интенсивная при 4620 Å в синей части спектра и одна очень интенсивная полоса при 4320 Å. Ближе к фиолетовому краю можно заметить еще две узкие полосы при 4220 и 4120 Å, причем последняя отличается большой интенсивностью. Для новичка такой спектр может показаться загадочным, однако, когда исследуется камень, который, исходя из его показателя преломления, может быть альмандином, то именно спектр служит доказательством присутствия в камне значительного количества марганца, что позволяет с уверенностью отнести этот гранат к спессартину.

**Сингалит** (железо), рис. 8.6 (6А). Хотя сингалит является «новым» драгоценным камнем в том смысле, что лишь недавно установлен его состав и дано название, он весьма интенсивно гранился в прошлом. До сих пор среди старых камней обнаруживаются образцы, которые первоначально были ошибочно приняты за циркон, хризоберилл или хризолит. Лучшие образцы сингалита имеют золотисто-желтый цвет с зеленоватым оттенком. Спектр этого минерала очень похож на спектр хризолита, но в нем есть «лишняя» полоса в синей части при 4630 Å, отсутствующая в спектре хризолита. Имеется слабая полоса при 5270 Å, основные полосы при 4930, 4750, 4630 (упомянуты выше) и 4500 Å. Спектр кончается на следующей плохо различимой полосе при 4360 Å.

**Желтый апатит** (дидим), рис. 8.6 (8А). Несмотря на хрупкость и низкую твердость, желтый апатит может стать в огранке весьма красивым коллекционным драгоценным камнем. Это один из нескольких богатых кальцием желтых камней, в котором присутствуют следы неодима и празеодима, известных под общим названием «дидим». Они дают характерный спектр с многочисленными узкими линиями. Полосы дидима очень похожи по типу и положению независимо от того, в какой среде они оказы-

ваются; поэтому их диагностическая ценность невелика в отличие от полос, обусловленных присутствием переходных элементов. Однако спектр апатита значительно интенсивнее, чем спектр данбурита или сфена, что позволяет различать эти минералы. Наиболее интенсивная группа линий дидима расположена в желтой части спектра, причем линии при 5840 и 5780 Å являются в этой группе самыми четкими. Центр другой группы линий в зеленой части спектра расположен около 5380 Å. Рис. 8.6 дает хорошее представление об этом сложном и красивом спектре.

### ЗЕЛЕННЫЕ КАМНИ

**Изумруд** (хром), рис. 8.7 (1В). Спектр изумруда — типичный спектр поглощения хрома с интенсивным дублетом в дальней красной области при 6830 и 6800 Å. Две узкие линии, образующие этот дублет, отстоят одна от другой на расстояние, вдвое превышающее соответствующее расстояние в рубине, и поэтому могут разделяться в малом призматическом спектроскопе. Две более слабые и более размытые линии наблюдаются при 6620 и 6460 Å, причем около каждой из них имеются узкие области высокой прозрачности, что придает спектру интересный и характерный вид. Линия при 6370 Å является наиболее интенсивной в обыкновенном луче; она обладает почти такой же интенсивностью, как и дублет. Имеется также широкая, но довольно слабая полоса поглощения в желтой части спектра. Зеленая часть остается непоглощенной, что обуславливает цвет камня. В образцах с повышенным содержанием хрома в спектре обыкновенного луча появляется узкая линия при 4774 Å.

**Александрит** (хром), рис. 8.7 (2В). Александрит также дает типичный спектр хрома, причем линии более четко выражены, чем в изумруде и, пожалуй, даже чем в рубине. Центральная широкая полоса поглощения, определяющая различную окраску при разном освещении, расположена при 5800 Å. Отсюда равновесие цвета между зеленым (при дневном свете) и красным (при свете ламп накаливания). Интенсивный дублет в дальней красной области состоит из линий 6803 и 6785 Å. Как и у рубина, он «обратим», хотя и не наблюдается в виде флюоресцирующих линий при обычных условиях. Более слабые линии лежат при 6650, 6550 и 6450 Å. В синей области могут быть видны узкие линии при 4730 и 4680 Å. Сходство спектра александрита со спектром рубина довольно велико и может привести к ошибке при недостаточном внимательном изучении спектра камня и исследовании его только при искусственном освещении.

**Жадеит** (хром и железо), рис. 8.7 (3В). Окраска высококачественного зеленого жадеита обусловлена главным образом хромом, поэтому в красной части спектра видны типичные для этого элемента линии. Жадеит можно принять за просвечиваю-

щий изумруд, но линии в спектре жадеита заметно более размыты. Дублет (недостаточно разрешенный) центрирован при 6915 Å, а две более слабые линии расположены при 6550 и 6300 Å. На фиолетовом крае спектра жадеита видно сильное общее поглощение, однако, если приоткрыть щель спектроскопа, чтобы пропустить больше света, может появиться интенсивная полоса при 4370 Å, невидимая до этого на темном фоне. Она принадлежит железу и лучше всего видна у бледноокрашенных разновидностей жадеита (белой, сиреневой, бледно-зеленой). Эта узкая и четкая полоса может наблюдаться в отраженном от образца свете и очень удобна при определении жадеита в бусах и украшениях. Подобную, но значительно более слабую полосу можно увидеть при 4320 Å.

Если жадеит окрашен в зеленый цвет искусственно, то обман можно обнаружить по широкой полосе поглощения в красной области, вызванной красителем.

**Хризопраз (никель).** Хризопраз — наиболее редкая и наиболее дорогая разновидность халцедона. Его эффектная окраска от яблочно-зеленой до нефритово-зеленой обусловлена следами никеля, которому принадлежит слабая и размытая, с трудом различимая линия в красной части спектра при 6320 Å. Едва ли стоило упоминать о ней, если бы с ее помощью в спектроскопе нельзя было отличить настоящий хризопраз от других зеленых халцедонов, описанных ниже. Других простых методов для этого пока не существует.

**Хромовый халцедон (хром).** Недавно в Зимбабве был найден и стал добываться ярко-зеленый халцедон, цвет которого вызван хромом. В спектре поглощения этого природного зеленого халцедона в красной области имеется один довольно интенсивный и четкий дублет и другой менее интенсивный дублет, позволяющий отличить его от *окрашенного зеленого халцедона*, дающего размытый вариант хромового дублета и две более слабые полосы в оранжевой области, каждая из которых окружена прозрачными зонами.

**Зеленый гроссуляр.** Прозрачный зеленый гроссуляр был найден в Пакистане и Танзании. После огранки он становится довольно красивым, однако ни по цвету, ни по игре гроссуляр не приближается к своему родственнику — демантоиду. Спектр поглощения изученных образцов не отличался какими-либо особенностями. Массивный просвечивающий зеленый гроссуляр, найденный в Трансваале и недавно в Пакистане, более правильно называть *гидрогроссуляром*, поскольку некоторая часть окиси кремния замещена в нем молекулами воды. На него похож *калифорнит* — массивная зеленая разновидность везувиана, также содержащая гидроксил. Если гидрогроссуляр окрашен в зеленый цвет хромом, то в оранжевой части спектра видна широкая полоса с центром при 6300 Å, имеющая удивительно резко очерченный край на длин-

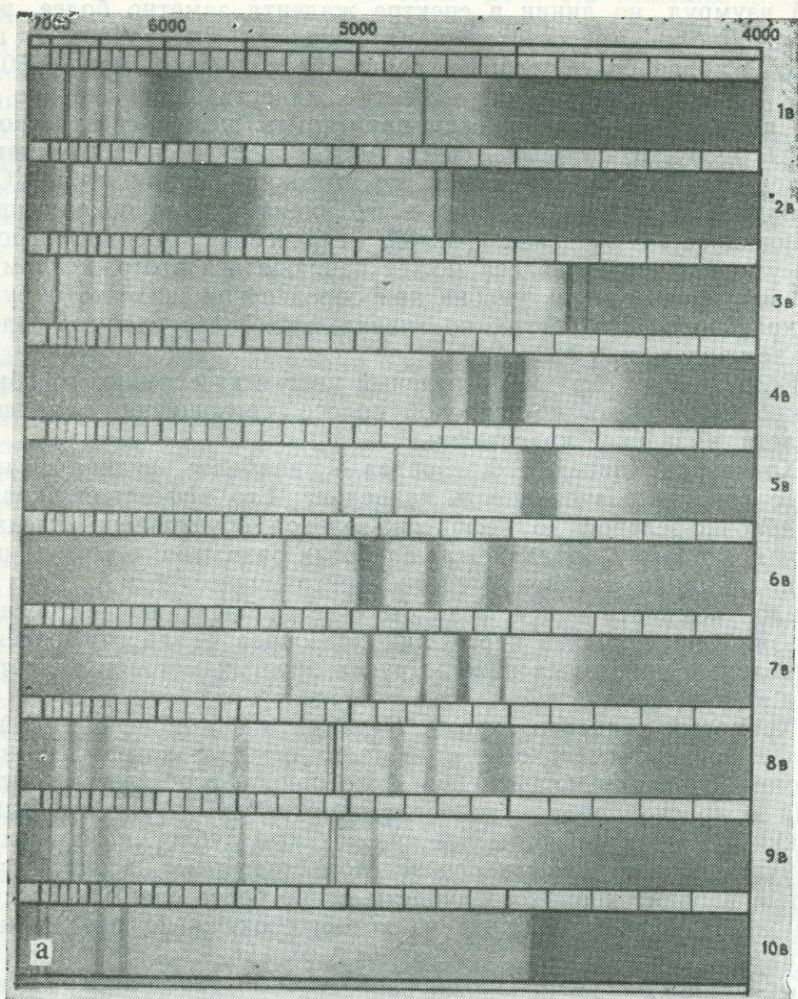
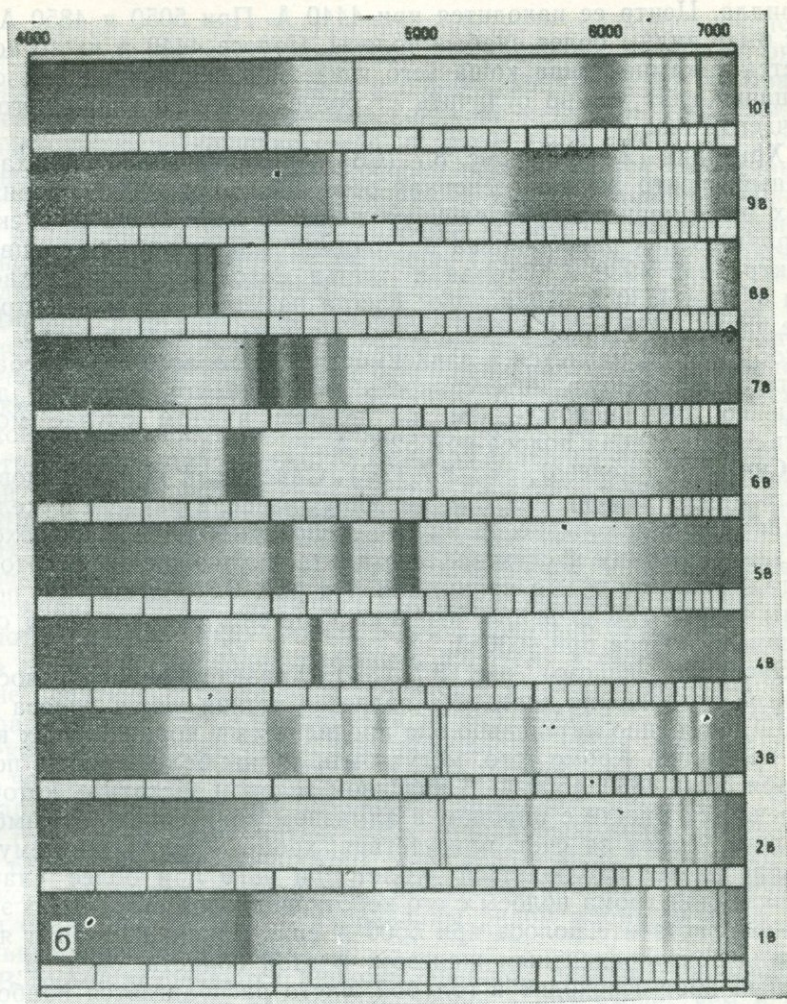


РИС. 8.7. *a* — спектры поглощения зеленых камней: изумруда (1В), александрита (2В), энстатита (3В), диопсида (9В) и алмаза (10В); *б* — обратное изображение берилла (5В), хризолит (6В), сингалит (7В), энстатит (8В), диопсид (9В) и ал-

новолновой стороне. Калифорнит обнаруживает интенсивную полосу в синей части спектра при  $4610 \text{ \AA}$  (благодаря железу) и более слабую полосу в зеленой части при  $5300 \text{ \AA}$ .

**Зеленый сапфир** (железо), рис. 8.7 (4В). Спектр, описанный выше для желтого сапфира, характерен в его полном виде и для зеленого сапфира. Две наиболее интенсивные полосы железа



(2B), жадеита (3B), саффира (4B), хризоберилла (5B), хризолита (6B), сингалитовые рис. 8.7, а: изумруд (1B), александрит (2B), жадеит (3B), саффир (4B), хризомаз (10B).

здесь практически сливаются, но третья полоса (4710 Å) отстоит достаточно далеко. Эта полоса — сложная и отличается от сплошной полосы, наблюдаемой в спектре хризоберилла.

**Зеленый хризоберилл** (железо), рис. 8.7 (5B). Зеленый хризоберилл дает более интенсивный вариант широкой полосы поглощения в сине-фиолетовой части, уже описанной для желтого хризо-

берилла. Центр ее находится при 4440 Å. При 5050 и 4850 Å могут быть видны более слабые полосы. Полоса 4440 Å часто встречается у камней типа кошачьего глаза. По ней хризоберилловый кошачий глаз можно отличить от более дешевого кварцевого кошачьего глаза.

**Хризолит (железо)**, рис. 8.7 (6В). Хризолит дает очень характерный спектр железа, основная особенность которого — серия из трех равномерно распределенных полос в синей части спектра. Первая из них расположена на границе зеленого и синего цветов спектра при 4930 Å. Вторая и третья находятся соответственно при 4730 и 4530 Å. Края полос слегка размыты, однако центральные части, особенно у первых двух, очерчены довольно четко. Вид полос заметно меняется в зависимости от направления колебаний света. Наибольшую интенсивность имеет спектр, который дают лучи со светопреломлением  $n_m$ , причем в этом случае может быть видна слабая полоса при 5290 Å.

**Сингалит (железо)**, рис. 8.7 (7В). Описанный недавно «новый» драгоценный камень уже был упомянут выше, в разделе о желтых камнях, однако нередко он имеет зеленоватый оттенок. Необходимо знать разницу в спектрах сингалита и хризолита, за который сингалит долгое время принимали. На рис. 8.7 оба спектра помещены рядом и ясно видно, что в спектре сингалита имеется одна «лишняя» полоса при 4630 Å.

**Энстатит (железо)**, рис. 8.7 (3В). Характерной особенностью спектра поглощения энстатита является четкая узкая полоса при 5600 Å. Особенно интенсивно она проявляется у коричневатых камней из Индии. Кроме того, могут быть видны более слабые полосы при 5480, 4830, 4500 Å. В красивом зеленом энстатите, который встречается вместе с пиропом в алмазном концентрате в Кимберли, цвет усилен за счет присутствия хрома, благодаря чему в спектре может наблюдаться дублет при 6870 Å и более слабые обычные для хрома полосы с его коротковолновой стороны. В этом зеленом энстатите полоса при 5600 Å еще четкая и узкая и явно связана с двухвалентным железом. В этой области спектра, где зеленый цвет переходит в голубой, часто располагается наиболее интенсивная полоса железа (ср. спектры альмандина, хризолита, зеленого турмалина, диопсида).

**Хромдиопсид (железо, хром)**, рис. 8.7 (9В). Красивый зеленый диопсид из Бирмы окрашен хромом, линии которого вместе с дублетом (центр дублета лежит около 6900 Å) находятся в красной части спектра. Узкие полосы в зелено-голубой части напоминают энстатит, но в данном случае вместо одной видны две линии одинаковой интенсивности при 5080 и 5050 Å.

**Демантоид (железо, хром)**, рис. 8.7 (10В). Наиболее ценный и наиболее красивый из гранатов — зеленый демантоид представляет собой разновидность кальций-железистого граната андрадита. Здесь также видны спектр трехвалентного железа и линии хро-

ма в красной области. Достаточно интенсивная полоса железа имеет центр при 4430 Å. Поскольку она расположена в сине-фиолетовой части, трудно увидеть что-либо, кроме резко обрывающегося конца спектра, особенно когда присутствует хром, вызывающий общее поглощение света в фиолетовой части. У более бледных камней и при очень хорошем освещении эта интенсивная и не очень широкая полоса может быть видна. В хороших образцах линии хрома наблюдаются легко: дублет в очень дальней красной области (7010 Å) и две более слабые и довольно размытые линии при 6400 и 6210 Å.

**Циркон** (уран). Зеленые цирконы всегда имеют ряд полос поглощения, однако картина наблюдаемого спектра может значительно меняться в зависимости от степени нарушения внутренней структуры (метамиктности) кристалла. Большинство цейлонских цирконов зеленого или зеленоватого цвета дает интенсивный спектр, содержащий 10 или 12 полос с наиболее интенсивной полосой в красной части при 6535 Å. Остальные полосы, распределенные по всему спектру, описаны выше, в разделе о желтых цирконах. У этих камней края полос несколько размыты и не так резко очерчены, как у полностью кристаллических, так называемых «высоких» цирконов, имеющих высокие показатели преломления и плотность. Вид таких камней обычно довольно скучный. У «низких» цирконов, имеющих плотность 4,0 г/см<sup>3</sup> и ниже, двупреломление практически полностью исчезает и в спектре остается только размытая и довольно широкая полоса вблизи 6530 Å. Однако у некоторых «низких» цирконов наблюдается узкая полоса в зеленой части спектра при 5200 Å. После нагревания до 800 °C эти и другие метамиктные цирконы, имеющие плотность ниже 4,02 г/см<sup>3</sup>, дают серию интенсивных аномальных полос поглощения при 6870, 6685, 6525, 5890, 5740, 5605, 4735 и 4510 Å. Такой спектр редко встречается в цирконах, не подвергавшихся нагреванию. Для сравнения на рис. 15.1 показаны рядом аномальный и нормальный спектры циркона.

В Бирме встречаются цирконы довольно темного коричневатозеленого цвета. Хотя содержание урана в них выше, чем в цейлонских цирконах, метамиктных камней среди них нет.

Вследствие этого спектр таких цирконов содержит не только около 12 основных интенсивных линий циркона, но и более слабые линии между ними. При использовании ручного спектроскопа можно насчитать в спектре до сорока линий. Натренированный глаз без труда разберется во всех вариантах спектра циркона, особенно когда учитывается и внешний вид камня. Ключевой линией является линия при 6535 Å в красной части. Если в зеленой и голубой частях спектра также видны полосы, ошибки быть не может. При отсутствии дополнительных полос новичок может принять узкие полосы урана за спектр хрома. Однако интенсивный дублет хрома расположен всегда значительно дальше в красной

части, а сопутствующие особенности каждого хромового спектра достаточно отчетливы, чтобы служить дополнительным доказательством в случае сомнения.

**Зеленый турмалин (железо).** Турмалины зеленого или зеленовато-синего цвета поглощают всю красную часть спектра до 6400 Å. На границе зеленой и голубой областей (4970 Å) может быть видна узкая полоса поглощения, обусловленная железом.

**Аквамарин (железо).** Зеленоватые аквамарины цвета морской воды теперь редко применяются в ювелирном деле, поскольку сейчас более популярны бледно-голубые камни, которые обычно получают путем нагревания. В зеленом аквамарине, а иногда и в других светлых бериллах может быть видна отчетливая узкая линия при 5370 Å в зеленой части спектра. Она заметна только в необыкновенном луче (см. «голубой аквамарин») и чаще лучше видна в отраженном свете.

**Эпидот, клиноцоизит (железо).** Эпидот, как правило, поглощает так много света, что редко дает в огранке красивые камни, несмотря на замечательный вид его кристаллов. Эпидот обычно имеет темный коричневато-зеленый цвет. Синяя и фиолетовая части спектра почти полностью поглощены, однако если через камень пропустить достаточное количество света, то можно заметить интенсивную полосу при 4550 Å и другую, менее интенсивную при 4750 Å. Минерал клиноцоизит, близкий по составу к эпидоту, содержит меньше железа и более прозрачен. В его спектре очень отчетливо видна полоса при 4550 Å.

**Андалузит (марганец).** Коричневато-зеленые с красным оттенком андалузиты достаточно редки и являются коллекционными камнями. Они могут давать полосу поглощения в синей части при 4550 Å, однако это не очень надежный метод определения минерала. Совершенно другой спектр наблюдается у зеленых андалузитов из Евразии. Чрезвычайная тонкость линий первоначально заставила предположить, что спектр обусловлен каким-то не выделенным редкоземельным элементом, однако теперь известно, что этот замечательный спектр объясняется присутствием марганца. Впервые такой спектр наблюдался у виридина — богатой марганцем разновидности андалузита. В нем виден резкий край затенения при 5525 Å в зеленой части и размытый край в желтой части, а также узкая линия при 5495 Å. Еще одна линия лежит около 5175 Å в синей части; отмечается сильное общее поглощение света в синей и фиолетовой областях спектра.

**Флюорит.** В зеленом флюорите слабые полосы могут наблюдаться при 6340 и 6100 Å в оранжевой, при 5820 Å в желтой и при 4460 и 4270 Å в фиолетовой частях спектра. Эти полосы имеют диагностическое значение при определении крупных просвечивающих украшений или резных фигур, когда их материал может быть принят за изумруд или жадеит. В ограненных образцах, которые во всех случаях представляют только коллекционный инте-

рес, поскольку твердость флюорита слишком низка для ювелирных изделий, эти полосы практически не заметны.

**Корнерупин.** Лучшие образцы этого минерала дают хорошие ограненные камни, однако редкость минерала ограничивает его широкое использование в ювелирном деле. Он обладает сильным плеохроизмом, и поэтому полосы поглощения сильно меняются в зависимости от направления распространения света.

В спектре корнерупина наблюдается полоса в сине-фиолетовой части при 4460 Å, которая достаточно интенсивна в луче, который колеблется по  $n_m$ , а также более слабые полосы при 5400 и 5030 Å в зеленой и при 4630 Å в синей частях спектра. Слабая полоса наблюдается при 4300 Å в фиолетовой части спектра. Эти полосы, вероятно, связаны с железом. Спектр не очень характерен и поэтому при определении минерала он может служить лишь дополнительным подтверждением.

Список зеленых минералов, имеющих спектры поглощения, можно было бы продолжить и дальше, однако все наиболее важные примеры уже разобраны. Просвечивающие камни (например, нефрит, коннемарский мрамор и т. д.), в спектре которых иногда наблюдаются полосы, не упомянутые выше, будут описаны в соответствующих разделах.

## СИНИЕ КАМНИ

**Сапфир (железо), рис. 8.8 (1С).** Спектр сапфира является одним из наиболее важных для опытного геммолога, поскольку он позволяет не только определить камень, но и узнать природный он или синтетический. Спектр, который обусловлен железом, наиболее интенсивно проявляется у зеленого сапфира и с различной интенсивностью у желтого сапфира, как описано выше. В синем сапфире интенсивность полос также сильно варьирует. В австралийских сапфирах все три полосы имеют довольно высокую интенсивность, тогда как в цейлонских сапфирах, содержащих очень мало железа, может быть видна только полоса при 4500 Å, да и то часто едва заметная. Эта полоса лучше всего выражена по направлению оптической оси камня. В ограненном камне это направление обычно неизвестно, однако рекомендуется, если полоса плохо заметна, испытать другие положения камня, чтобы добиться большей ее яркости. Увеличить интенсивность полосы можно с помощью поляроидного диска, повернутого под надлежащим углом на окуляре спектроскопа. Очень полезно использование фильтра из раствора медного купороса, который делает более четкими полосы в синей части спектра. У синтетического сапфира, при производстве которого для получения окраски применяются окислы железа наряду с титаном, практически все железо из булы испаряется или концентрируется в ее поверхностных слоях, удаляемых при огранке. Автор часто наблюдал у синтетического сап-

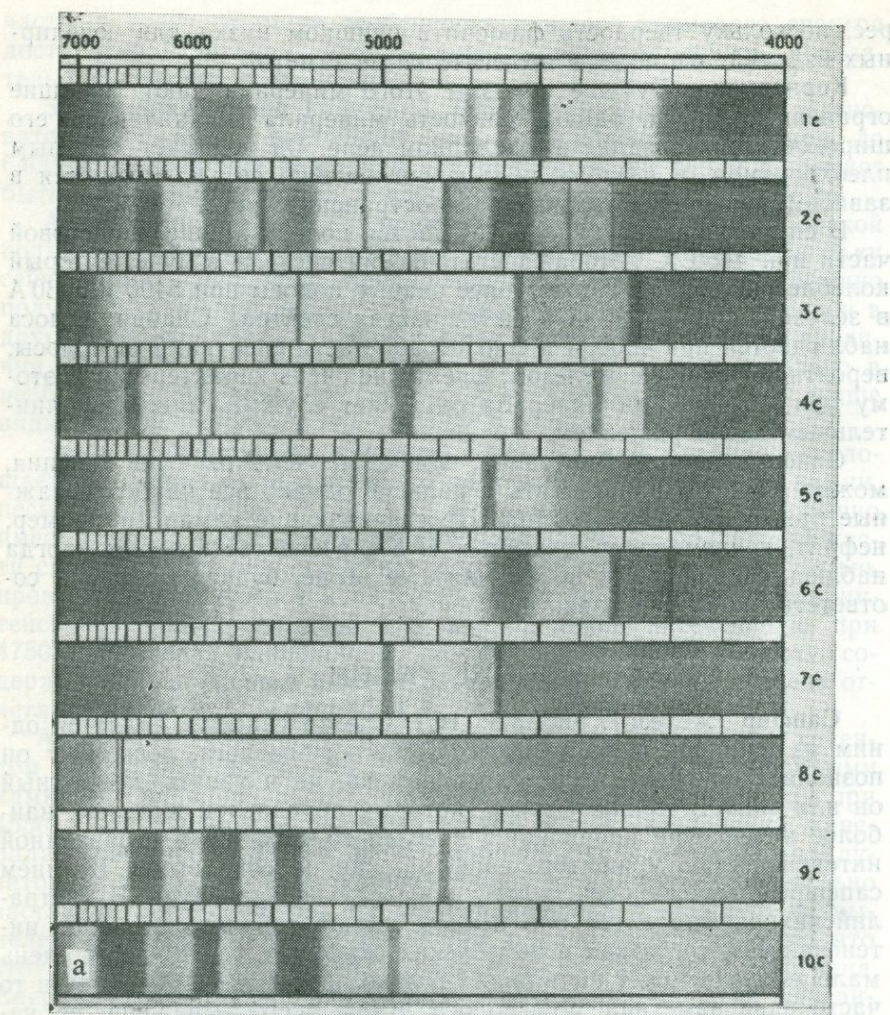
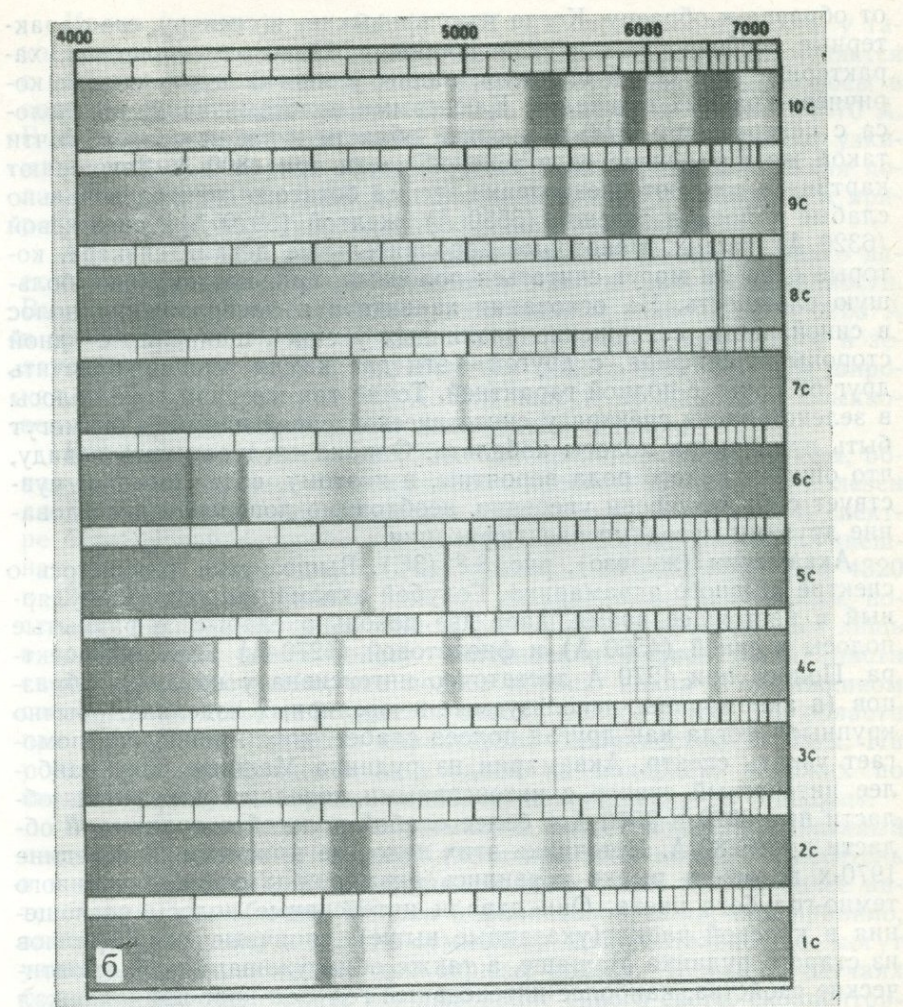


РИС. 8.8. *a* — спектры поглощения синих камней: сапфира (1С), шпинели (2С), кона (8С), синтетической шпинели (9С) и кобальтового стекла (10С); *б* — обрат- (4С), апатит (5С), бирюза (6С), турмалин (7С), циркон (8С), синтетическая спи-

фира три слабые размытые полосы, центральная из которых располагалась очень близко к полосе при 4500 Å природного сапфира. Однако на этом сходство спектров природного и синтетического сапфиров кончается. Важно запомнить, что в природном сапфире полоса при 4500 Å выглядит весьма узкой, если она слабо развита. В сапфирах из любых других месторождений, кроме цейлонских, рядом с главной полосой видна полоса при 4600 Å, что дела-



аквамарины (3С), иолита (4С), апатита (5С), бирюзы (6С), турмалина (7С), цинковое изображение рис. 8.8, а: сапфир (1С), шпинель (2С), аквамарин (3С), иолит (9С) и кобальтовое стекло (10С).

ет спектр еще более характерным. Геммологу рекомендуется попрактиковаться в наблюдении данной полосы, поскольку это сэкономит ему много времени при определении сапфиров в ювелирных изделиях.

**Синяя шпинель (железо), рис. 8.8 (2С).** Спектр поглощения синей шпинели также стоит изучить. Он имеет довольно сложное строение, которое трудно описать, и может несколько меняться

от образца к образцу. Когда глаз привыкнет к спектру, его характерные особенности станут очевидными. Полосы поглощения, характерные для синей шпинели, видны у многих пурпурных и коричнево-красных шпинелей. Ключевыми полосами являются полоса с центром при 4590 Å в синей области и узкая полоса почти такой же интенсивности в зеленой части при 4800 Å. Завершают картину и создают впечатление весьма богатого спектра довольно слабые полосы в зеленой (5550 Å), желтой (5920 Å) и оранжевой (6320 Å) частях. Некоторые дополнительные детали спектра, которые едва ли могут считаться полосами, придают ему еще большую сложность. На основании характера и расположения полос в синей части, совершенно различных у синей шпинели, с одной стороны, и сапфира, с другой — эти два камня можно отличить друг от друга с полной гарантией. Точно так же размытые полосы в зеленой части спектра у синтетической синей шпинели не могут быть приняты за полосы кобальта. Однако следует иметь в виду, что ошибки такого рода вероятны, и поэтому, если геммолог чувствует себя не совсем уверенно, необходимо дополнить исследование другими методами идентификации.

**Аквамарин (железо)**, рис. 8.8 (ЗС). Выше уже говорилось о спектре зеленого аквамарина. Голубой аквамарин, столь популярный в настоящее время, дает две довольно слабые и размытые полосы в синей (4560 Å) и фиолетовой (4270 Å) областях спектра. Полоса при 4270 Å достаточно интенсивна у крупных образцов (а аквамарины, используемые в ювелирных изделиях, обычно крупные), тогда как другая полоса слабее, хотя именно она помогает узнать спектр. Аквамарин из рудника Машише дает наиболее интересный спектр с интенсивными полосами в красной области при 6970 и 6570 Å и более слабой полосой в оранжевой области при 6280 Å. Источники этих полос не выяснены. В середине 1970-х годов на рынке появились аквамарины очень красивого темно-голубого цвета. Они давали интенсивные полосы поглощения в красной части (указанные выше), типичные для бериллов из старого рудника Машише, а также обнаруживали особые оптические свойства, наиболее интенсивный голубой цвет принадлежал в них обыкновенному лучу, тогда как в нормальном аквамарине он связан с необыкновенным лучом. Эти синие бериллы, названные геммологами для удобства бериллами типа «машише», к сожалению, теряют свой замечательный цвет после выдержки на ярком солнце в течение нескольких часов или в течение несколько большего периода времени при освещении лампой накаливания, что значительно умаляет их достоинства как драгоценных камней. Вполне вероятно, что их густая окраска является результатом какого-то облучения. В спектре таких камней нет узкой линии при 5370 Å, описанной выше для зеленого аквамарина. На рисунке, однако, эта линия включена в спектр, чтобы дать представление о ее положении.

**Иолит** (железо), рис. 8.8 (4С). Как и следовало ожидать, у такого плеохроичного камня положение полос поглощения меняется с направлением. В синем свете наблюдаются размытые полосы в синей и фиолетовой частях спектра при 4920, 4560 и 4370 Å. В желтом свете имеется явный дублет, образованный весьма узкими полосами в желтой области (5930, 5850 Å), а также узкая полоса или линия при 5350 Å, напоминающая по положению и природе упомянутую выше линию в зеленом аквамарине.

**Апатит**, рис. 8.8 (5С). Любопытно, что синий апатит редко дает полосы дидима, такие типичные для его желтой разновидности. Вместо этого у него наблюдаются полосы при 6310 и 6220 Å в оранжевой части, интенсивная и достаточно узкая полоса в зеленой части при 5110 Å, интенсивная полоса при 4900 Å и широкая слабая полоса при 4640 Å. Эти полосы принадлежат обыкновенному лучу, который имеет желтоватый оттенок.

**Бирюза** (медь), рис. 8.8 (6С). Спектр поглощения бирюзы, обнаруженный автором в годы второй мировой войны, очень полезен для определения этого камня как ювелирного материала. В спектре бирюзы наблюдаются две полосы, почти одинаковые по внешнему виду и интенсивности (как показано на рисунке), при 4320 и 4200 Å; вторая, однако, заметна гораздо хуже, чем первая, поскольку располагается на темном фоне. Бирюза просвечивает лишь в тонком слое, давая полосу поглощения в фиолетовой части спектра, но, к счастью, эта полоса хорошо видна в отраженном свете. Кроме того, наблюдается слабая полоса в голубой области при 4600 Å, что является характерной особенностью бирюзы. Ни у одного из минералов и ни у одной из подделок, похожих по внешнему виду на бирюзу, подобных полос спектр не содержит.

Бирюза, пропитанная пластмассой, имеет более интенсивный цвет по сравнению с исходной (хотя при этом никакой краситель в нее не вводится). У таких камней полоса при 4320 Å более интенсивная, чем обычно. Полоса в фиолетовой части, как правило, заметна с трудом, и многие геммологи действительно не могут увидеть эту характерную для бирюзы полосу. В таких случаях большую помощь окажет использование синего света, сконцентрированного колбой с раствором медного купороса.

**Турмалин** (железо), рис. 8.8 (7С). Синий турмалин характеризуется той же полосой при 4970 Å, которая была описана для зеленых турмалинов.

**Циркон** (уран), рис. 8.8 (8С). Голубой цвет цирконов обусловлен нагреванием первоначально красновато-коричневых камней. В спектре можно видеть по крайней мере две наиболее интенсивные из полос циркона — при 6535 и 6590 Å в виде узких линий, лучше всего заметных в отраженном свете. В желтой и зеленой областях спектра могут быть слабо видны и другие основные линии циркона.

**Цоизит.** Не очень давно в Танзании была найдена разновидность цоизита глубокого фиолетово-синего цвета, которая получила название «танзанит». Природный материал имеет довольно характерный спектр с относительно интенсивной широкой полосой поглощения в оранжевой области при 5950 Å и более слабыми полосами с центрами при 5280 Å в зеленой и при 4550 Å в синей областях спектра. Последняя полоса ошибочно может быть принята за известную для спектра сапфира полосу при 4500 Å, очень полезную для его идентификации, однако в прогретом голубом танзаните, применяемом в ювелирном деле, эта полоса едва заметна или, во всяком случае, значительно менее четкая.

**Синтетическая синяя шпинель (кобальт),** рис. 8.8 (9С). У природных минералов синяя окраска, обусловленная кобальтом, не встречается никогда. Поэтому ее присутствие в камне является доказательством того, что мы имеем дело с синтетическим материалом. Она присуща главным образом синей синтетической шпинели и кобальтовому стеклу. Полосы поглощения кобальта — это три широкие главные полосы в оранжевой, желтой и зеленой областях спектра; они очень похожи у стекла и шпинели, но у шпинели полосы расположены ближе друг к другу (см. рисунок), а центральная полоса шире двух крайних, тогда как у стекла средняя полоса является наиболее узкой. У синтетической шпинели полосы лежат при 6350, 5800 и 5400 Å. Их ширина и интенсивность меняются в зависимости от глубины синей окраски. У темно-синих образцов полосы почти сливаются в одну широкую полосу. Поглощение в желто-зеленой области при свободном пропускании в дальней красной части приводит к тому, что материалы, окрашенные кобальтом, выглядят под фильтром Челси интенсивно-красными.

**Кобальтовое стекло (кобальт),** рис. 8.8 (10С). Положение полос, обусловленное присутствием кобальта, у стекла несколько варьирует в зависимости от его состава. Средние длины волн этих полос 6550, 5900 и 5350 Å, и с помощью спектроскопа легко установить различие между синим стеклом и синтетической шпинелью по относительной ширине средней полосы. Кобальтовое стекло часто используется в качестве основы дублетов с гранатовым верхом. Наблюдаемое при этом наложение слабого спектра альмандина на спектр кобальтового стекла может привести к ложному заключению.

**Синий синтетический кварц (кобальт).** С некоторых пор стали появляться ювелирные изделия с синтетическим кварцем, окрашенным кобальтом в синий цвет. У него также наблюдаются три характерные для кобальта линии поглощения, положение которых в спектре почти такое же, как у кобальтового стекла. Может быть окрашен кобальтом и ниобат лития — один из новых синтетических материалов. До сих пор остается в силе утверждение, что если у синих «драгоценных» камней имеется кобальтовый спектр, то мож-

но с уверенностью говорить о том, что эти камни являются стеклом, дублетами на стеклянной основе или же синтетическим материалом. У природных синих минералов спектр кобальта никогда не встречается.

**Спектры редкоземельных элементов.** Выше уже были упомянуты прекрасные спектры поглощения, состоящие из групп близко расположенных узких линий, обусловленных двумя редкоземель-

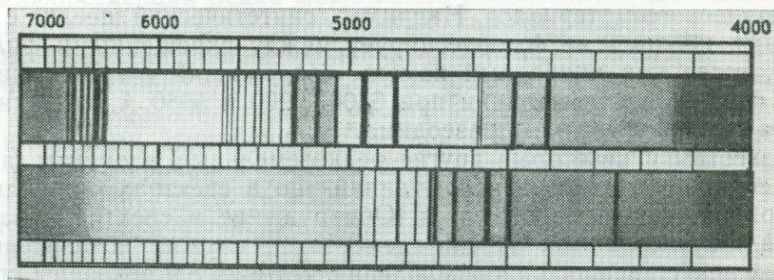


РИС. 8.9. Полосы эрбия (вверху) и полосы диспрозия в спектрах синтетических редкоземельных гранатов.

ными элементами, известными под общим названием дидима. Были также приведены длины волн всех основных полос, наблюдаемых в спектре апатита. Для тех, кто серьезно занят определением драгоценных камней, особую практическую ценность приобретает более детальное знакомство со спектром дидима и с его незначительными, но важными особенностями, возникающими в различном окружении. Причина этого заключается в том, что некоторые новые синтетические материалы, такие, как шеелит и иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), часто содержат тот или иной окисел редкоземельных элементов, специально введенный в них.

В природе неодим и празеодим встречаются всегда вместе, хотя их относительные количества в минералах слегка варьируют, при этом неодим всегда преобладает. Неодим окрашивает минералы и стекло в сиреневый цвет. Его наиболее интенсивные линии сгруппированы в желтой и зеленой областях спектра. Празеодим придает камням зеленоватый оттенок, и его наиболее интенсивные линии распределены достаточно равномерно по синей и фиолетовой областям спектра. Измерение длин волн полос каждого из этих элементов в иттрий-алюминиевом гранате дало следующие результаты: неодим — 7320 Å в дальней красной, 5940, 5920, 5890, 5850, 5800, 5780, 5735 и 5690 Å в желтой и 5310 и 5280 Å в зеленой областях спектра (кроме многих других более слабых линий); празеодим — две линии в желтой при 5890 и 5830 Å и группа из трех значительно более интенсивных линий в синей и фиолетовой областях спектра при 4850, 4770 и 4490 Å. Четкость этих линий зна-

чительно резче выражена у искусственных гранатов, в частности у иттрий-алюминиевого граната, чем у апатита. У шеелита эти линии также достаточно резкие, несмотря на его высокий показатель преломления, обуславливающий снижение четкости линий.

Следует отметить, что присутствие ионов редкоземельных элементов часто приводит к появлению в спектре ярких линий испускания в условиях соответствующего возбуждения, что в ряде случаев может оказать помощь при распознавании природного и синтетического материалов. Например, синтетический шеелит с добавками неодима не флюоресцирует между скрещенными фильтрами, тогда как природный камень, содержащий следы дидима, дает флюоресцентные линии при 6500, 6200 и 5580 Å, по-видимому, за счет присутствия празеодима.

Известны и некоторые другие редкоземельные элементы, дающие спектр с большим числом линий, но в спектрах природных минералов они не встречаются. Обнаружение в спектре образца линий, обусловленных этими элементами, служит доказательством их искусственного происхождения. На рис. 8.9 показаны спектры эрбия и диспрозия, снятые у синтетических гранатов.

Итак, мы рассмотрели все наиболее важные с практической точки зрения спектры поглощения. У многих минералов кроме указанных для них полос наблюдались и были измерены слабые дополнительные полосы, однако никакого диагностического значения они не имеют. Тем, кто интересуется более полным описанием спектров, мы рекомендуем обратиться к серии из сорока статей под общим названием «Спектроскоп и его применение в геммологии», публиковавшейся в журнале «Геммолог» (*Gemmologist*) с сентября 1953 г. по декабрь 1956 г. Указатель статей этой серии дан в январском номере журнала за 1957 г.

Начинающим настоятельно рекомендуется ограничиться для начала изучением простых спектров, таких, как спектры алмазина, рубина и некоторых цирконов, и только после этого перейти к изучению менее четких спектров. Наиболее важными условиями для достижения успеха в применении этого прекрасного и полезного метода диагностики драгоценных камней являются интенсивный источник света и соответствующим образом отрегулированный подходящий для поставленных целей спектроскоп.

## ФЛЮОРЕСЦЕНЦИЯ КАК ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ СРЕДСТВО ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Флюоресценция редко может быть использована для непосредственного определения драгоценных камней, однако она очень важна для установления их свойств и в ряде случаев для подтверждения сделанных определений. Поэтому исследователи драгоценных камней должны в своей работе пользоваться ультрафиолетовыми лампами. Ниже описана методика определения флюоресценции камней, причем в соответствии с принципами данной книги сюда включены лишь те эффекты, которые автор наблюдал непосредственно сам и считает полезными или интересными.

Прежде всего что такое флюоресценция? Это — испускание видимого света веществами под действием видимого или невидимого излучения с более короткой длиной волны. Если свечение наблюдается в течение заметного промежутка времени после отключения источника, вызвавшего свечение, то такое послесвечение называется фосфоресценцией. Иногда фосфоресценция отличается по цвету от исходной флюоресценции. Это происходит в тех случаях, когда некоторые волны, обуславливающие флюоресценцию, сразу гасятся с прекращением облучения, тогда как другие волны затухают постепенно. Термин «люминесценция» используется для обозначения обоих эффектов — флюоресценции и фосфоресценции. «Термофосфоресценция» — свойство камня через какое-то время после облучения испускать видимый свет при нагревании. Фосфоресценция в таких случаях является как бы «замороженной», и для ее освобождения требуется затрата тепловой энергии.

В Лондонской диагностической лаборатории при Торговой палате для возбуждения флюоресценции применяются четыре типа излучения, и их действие часто заметно отличается даже для одного и того же образца. Каждое из этих излучений имеет свои специальные области применения.

Первый тип излучения, который мы рассмотрим прежде всего вследствие его простоты, — это видимый свет синей или фиолетовой области спектра, получаемый пропусканием мощного пучка света от проекционной лампы мощностью 500 Вт через колбу с концентрированным раствором медного купороса. Желательно, чтобы колба имела емкость 600—750 мл. Тогда она служит одновременно и фильтром, и конденсирующей линзой. Раствор необходимо готовить на дистиллированной воде, чтобы избежать даже самой слабой замутненности, причем и в этом случае иногда необходимо раствор профильтровать для получения идеально про-

зрачной жидкости. Медный купорос поглощает целиком красную, оранжевую и желтую области спектра, так что отфильтрованные лучи невидимы при наблюдении через хороший красный или оранжевый фильтр. Поэтому, если вещество, помещенное в поток синего света и не освещаемое каким-либо иным источником света, светится при рассматривании его через один из таких фильтров, то это может быть только флюоресценцией, т. е. поглощением энергии сине-фиолетового света и испусканием ее в виде света с большей длиной волны.

Методика «скрещенных фильтров» для наблюдения флюоресценции была разработана великим английским физиком Джорджем Габриелем Стоксом в 1852 г., когда он впервые установил истинную природу флюоресценции. Автор вначале демонстрировал этот метод на своих лекциях, а затем решил использовать его для определения камней, дающих красную или оранжевую флюоресценцию. Метод оказался настолько чувствительным и полезным, что с тех пор до настоящего времени он применяется в Лондонской диагностической лаборатории.

Второй и наиболее популярный метод возбуждения флюоресценции заключается в облучении объекта ртутной разрядной лампой высокого давления, заключенной в трубку из плавленного кварца. Видимый свет отфильтровывается с помощью фильтра Вуда, который представляет собой темное стекло, содержащее кобальт и около 4% никеля. Стекло названо в честь американского физика Р. У. Вуда — пионера физической оптики, который впервые предложил использовать этот фильтр. Последний отсекает видимую область спектра и пропускает линии в ультрафиолетовой области, в особенности интенсивную линию при 3650 Å, которая является основным возбудителем флюоресценции. Ряд фирм выпускает несколько типов таких «аналитических» ламп, нашедших широкое применение в промышленности. Медицинские «солнечные лампы» не являются кварцевыми ртутными лампами, но имеют фильтр Вуда. Естественно, что без фильтра любые эффекты флюоресценции будут незаметны в ярком свете незащищенной лампы.

В домашних условиях могут быть сделаны несколько менее эффективные лампы из дуговой лампы со специальными электродами, испускающими богатый ультрафиолетовый спектр, или даже фотолампы из куска стекла Вуда.

Третий тип излучения, применяемого для получения флюоресценции, — коротковолновый ультрафиолетовый свет, в котором превалирует линия ртути при 2537 Å, испускаемый кварцевой ртутной лампой низкого давления. Фильтр Вуда не пропускает волны такой длины, поэтому должен применяться специальный фильтр, например фильтр Чанса ОХ<sub>7</sub>, через который, к сожалению, проходит много видимого света. Удобные коротковолновые лампы, такие, как «Минералайт», выпускаются в США. Очень удобными, несмотря на их низкую мощность, оказались небольшие

бактерицидные лампы с фильтром  $OХ_7$ , выпускаемые фирмой «Филипс». В большинстве случаев флюоресценция при облучении коротковолновым ультрафиолетовым светом не столь ярка по сравнению с флюоресценцией под действием длинноволнового света, однако иногда она оказывается более «диагностической».

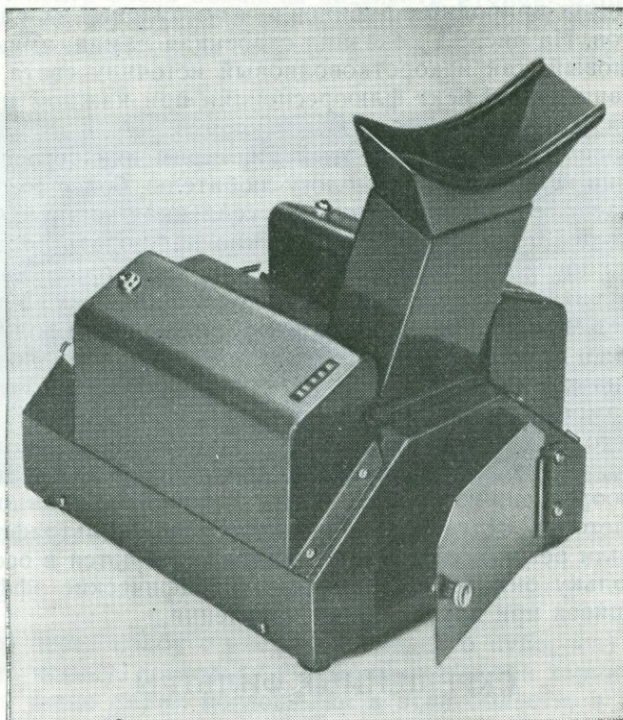


РИС. 9.1. Комбинированная ультрафиолетовая лампа для длинных и коротких волн.

Очень полезной является лампа, состоящая из трубки или трубок, заполненных парами ртути низкого давления, в которых испускается коротковолновое ультрафиолетовое излучение, возбуждающее длинноволновое ультрафиолетовое излучение в специальном покрытии, нанесенном на внутреннюю поверхность трубки. Кстати, аналогичное устройство имеют обычные лампы дневного света. Компактная американская лампа такого типа «Бартон» рассчитана на напряжение переменного тока 115 В. В процессе работы ее можно держать в руке, причем включение и выключение удобно осуществляется с помощью большого пальца. Английская лампа, выпускаемая фирмой «Аллен» в Лондоне, работает по тому

же принципу, но укреплена на подставке и питается током напряжением 200—250 В.

Результаты, полученные при использовании таких ламп, в большинстве случаев сравнимы с результатами, получаемыми при работе с длинноволновыми кварцевыми лампами высокого давления в сочетании с фильтром Вуда; они надежно выявляют разницу в флюоресценции природных рубинов и изумрудов и их синтетических аналогов. На рис. 9.1 показана sdвоенная лампа, имеющая как длинноволновый, так и коротковолновый источник света, что позволяет сравнивать эффект флюоресценции при каждом из излучений путем нажатия соответствующей кнопки.

Рентгеновские лучи—четвертый тип применяющегося излучения—обычно недоступны геммологу-любителю, более того, их применение опасно, если не используется усиленная защита. Флюоресценцию под действием этих лучей нужно наблюдать только через толстое свинцовое стекло. Известно, что некоторые камни при облучении рентгеновскими лучами изменяют окраску. Ультрафиолетовый свет может нарушать окраску бесцветных и голубых цирконов, в связи с чем следует избегать длительного воздействия излучения на камни.

Для камней, имеющих флюоресценцию в красной области спектра, методика скрещенных фильтров является наиболее удобной и наиболее чувствительной. Для камней, дающих зеленую или синюю флюоресценцию, лучше всего применять длинноволновое ультрафиолетовое излучение. Коротковолновое ультрафиолетовое излучение или рентгеновские лучи обычно требуются в особых случаях, поскольку они дают некоторые специфические эффекты, не наблюдающиеся при других типах излучения.

### СКРЕЩЕННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Красная флюоресценция—одна из особенностей минералов, окраска которых обусловлена следами хрома, при условии, что содержание в них железа невелико и не подавляет свечения. Так, рубин, красная шпинель, alexандрит, изумруд и розовый топаз—все хорошо флюоресцируют между скрещенными фильтрами (рис. 9.2). Синтетические сапфиры «alexандритового» типа, большинство синтетической синей шпинели и синтетические зеленые сапфиры в этом случае также выглядят красными. Наиболее ярко сияют бирманские и синтетические рубины и прозрачные красные и розовые шпинели. Очень сильно флюоресцируют синтетические красные шпинели. Спектроскопия в этом случае—наиболее удобный способ отличия рубина от шпинели. Как природные, так и синтетические рубины имеют одинаковые спектры, в которых дублет при 6928 и 6932 Å выглядит как одна интенсивная линия, по обеим сторонам которой видны лишь очень слабые светящиеся линии. С другой стороны, природная шпинель дает в спектре

серию из нескольких узких линий, похожих на органичные трубы, причем две средние линии имеют почти равную интенсивность. Очень любопытно, что синтетическая шпинель, полученная методом Вернейля или путем кристаллизации, не имеет такого спектра, а дает одну яркую линию при  $6850 \text{ \AA}$  на фоне более слабых линий, что делает ее спектр очень похожим на спектр рубина. Отличить один камень от другого можно лишь при условии достаточно развитого эффекта «органичных труб», однако вид синей части спектра (про-

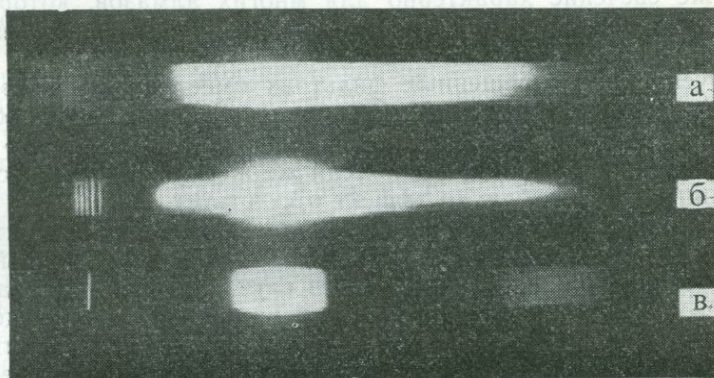


РИС. 9.2. Спектры флюоресценции изумруда (а), красной шпинели (б) и руби́на (в) при возбуждении их синим светом.

пущенного через колбу с раствором медного купороса) позволяет установить истину, поскольку у рубина видны три характерные интенсивные узкие линии поглощения в этой области, а у шпинели такого же цвета никаких линий в синей части спектра нет.

Александриты и изумруды обладают различной интенсивностью флюоресценции в зависимости от содержания в них хрома и железа. Во всяком случае, красная флюоресценция позволяет отличить хромсодержащие разновидности изумруда и александрита от обычного берилла и хризоберилла соответственно. Синтетический изумруд дает более интенсивное свечение, чем большинство природных изумрудов. Изумруды Южной Африки и Индии, содержащие железо, практически не флюоресцируют.

Розовый топаз дает совершенно отчетливое свечение, связанное со слившимся дублетом при  $6820 \text{ \AA}$ , а желтый бразильский топаз обнаруживает такой же, но более слабый эффект. Поэтому розовый топаз можно принять за розовый сапфир, однако у последнего линия флюоресценции более яркая. Тем не менее в сомнительных случаях лучше проверить камень с помощью рефрактометра или каким-либо другим способом. Некоторые кианиты зеленого

или синего цвета содержат много хрома и поэтому дают заметную, но слабую красную флюоресценцию.

Флюоресценция, обусловленная примесью хрома, имеет истинно красный цвет в скрещенных фильтрах, однако красное свечение, наблюдаемое через фильтр в некоторых других случаях, может представлять собой лишь часть обширной области флюоресценции, которая дает иной цветовой эффект, если его наблюдать непосредственно в ультрафиолетовом свете. Между скрещенными фильтрами титанат стронция дает слабое красное свечение, но такое же свечение характерно для многих алмазов, которые в ультрафиолетовом свете дают интенсивную голубую, зеленую и желтую флюоресценцию.

Изучение при скрещенных фильтрах имеет практическое значение при определении природы черного жемчуга. Если образец имеет естественный цвет, то при наблюдении через фильтр видна слабая красная флюоресценция, если же жемчуг окрашен искусственно нитратом серебра, то эффект отсутствует.

Применяя насыщенный раствор медного купороса и тщательно выбранный желтый фильтр, можно сохранить «скрещенный» эффект, что дает хорошие результаты в случае камней, обладающих оранжевой и желтой флюоресценцией, например в случае цейлонского желтого сапфира. Аммиачный сульфат меди, имеющий значительно более темный цвет, также позволяет перекрыть зеленую часть спектра. Однако интенсивность света, проходящего через такой фильтр, сильно снижается, и поэтому преимущества методики скрещенных фильтров перед облучением ультрафиолетовым светом в основном теряются.

### ДЛИННОВОЛНОВЫЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ СВЕТ

Теоретически все материалы, которые между скрещенными фильтрами дают красную флюоресценцию благодаря присутствию хрома, должны обнаруживать такой же эффект и при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом (линия при  $3650 \text{ \AA}$ ), создаваемым ртутной лампой и фильтром Вуда. Действительно, у рубина и шпинели красное свечение весьма эффектно, однако более слабое свечение таких камней, как изумруд и александрит, несомненно, значительно легче наблюдать методом скрещенных фильтров.

При демонстрации флюоресценции в музеях или на выставках в витрины обычно помещают 5—6 минералов, которые особенно ярко сияют в ультрафиолетовом свете. Хотя это, как правило, не ювелирные материалы, тем не менее полезно перечислить некоторые из них, поскольку каждый, кто приобрел ультрафиолетовую лампу, наверняка будет собирать коллекцию эффектно флюоресцирующих образцов.

Неизменно в каждой из таких витрин представлен флюорит. Сам термин «флюоресценция» произошел от слова «флюорит», по-

сколькx большинство образцов этого очень красивого минерала под действием ультрафиолетовых лучей испускает замечательное фиолетовое свечение. Флюоресценция может возбуждаться и обычным солнечным светом, поэтому зеленые кристаллы флюорита часто имеют фиолетовый оттенок в отраженном свете. Точно так же благодаря флюоресценции красновато-коричневые машинные масла кажутся зелеными в отраженном свете. Любопытно, что добываемый в Дербишире полосчатый флюорит, который известен под названием «блу джон» и используется в течение нескольких столетий для изготовления ваз, шкатулок и декоративных изделий, совсем не флюоресцирует в ультрафиолетовых лучах. Некоторые разновидности фиолетового флюорита обладают интересной особенностью: после облучения ультрафиолетовым светом они продолжают длительное время испускать невидимые ультрафиолетовые лучи, что легко обнаружить, если облученный образец поместить на несколько часов на фотопленку в светонепроницаемую коробку. После проявления в том месте, где пленка соприкасалась с кристаллом, отчетливо виден «автопортрет» образца. Этот эффект проявляется не всегда. Недавно проведенные автором эксперименты с бусами из зеленого прозрачного флюорита дали отрицательный результат, хотя их фиолетовая флюоресценция была весьма интенсивной.

После флюорита наиболее интересными образцами в витрине флюоресцирующих камней будут, пожалуй, прекрасные псевдогексагональные кристаллы арагонита, встречающиеся вместе с природной серой в Джирдженти на Сицилии. Эти кристаллы дают восхитительную розовую флюоресценцию, частично маскирующую зеленую компоненту, которая проявляется в виде зеленой фосфоресценции, продолжающейся в течение нескольких секунд после прекращения облучения, — удивительная картина, когда наблюдаешь ее впервые.

Скаполит из Онтарио — еще один минерал, обладающий яркой флюоресценцией в ультрафиолетовых лучах, в данном случае оранжево-желтой. При исследовании этого света с помощью спектроскопа можно видеть ряд полос, напоминающих спектр соединений урана в так называемом «канареечном» стекле, которое было довольно популярным в декоративных изделиях второй половины XIX в. Однако У. А. Ранциман показал, что наиболее вероятной причиной желтой флюоресценции скаполита является присутствие в нем небольшого количества серы. К минералам с яркой флюоресценцией относится также силикат цинка виллемит из месторождения Франклин-Фернес. Его яркое зеленое свечение обусловлено следами марганца. Прекрасную розово-красную флюоресценцию дает кальцит из некоторых известных месторождений.

Возвращаясь вновь к драгоценным камням, отметим, что синтетические желто-зеленые шпинели, содержащие следы марганца, имеют яркую зеленую флюоресценцию. Кунцит и желтый топаз

из Бразилии светятся слабым оранжевым светом, а белый циркон и желтый апатит дают желтое свечение. Свет, испускаемый цирконом при облучении ультрафиолетовыми лучами, дает в поле спектроскопа серию ярких линий, однако долго облучать этот камень не рекомендуется, так как он может приобрести первичный коричневый цвет. Путем нагревания цирконов до темно-красного каления обычно удается добиться исчезновения коричневого оттенка.

Для желтых и слегка окрашенных цейлонских сапфиров характерна оранжево-желтая флюоресценция. Этот признак имеет практическое значение, поскольку позволяет отличать их от синтетических желтых корундов, в которых не видны изогнутые линии роста и нет пузырьков, что затрудняет их диагностику. Синтетические оранжевые сапфиры дают красную флюоресценцию, обусловленную присутствием хрома.

Карбид кремния (карборунд) характеризуется оранжево-желтой флюоресценцией особенно после спекания. Это позволяет обнаружить его примесь в алмазных порошках.

Люминесценция в алмазе известна и исследуется уже в течение столетия или больше, но до сих пор она представляет загадку для физиков. Большинство ювелирных алмазов дает небесно-голубую до фиолетовой флюоресценцию при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом, однако интенсивность ее варьирует в широких пределах (и совершенно непредсказуема), причем некоторые камни практически не флюоресцируют. Многочисленные попытки связать эффекты флюоресценции в алмазе со следами примесей или увязать их с определенными месторождениями оказались безуспешными. Однако работа Лайтоулера с соавторами, выполненная недавно в Королевском колледже в Лондоне, показала, что флюоресценция алмаза может быть объяснена присутствием атомов азота в роли доноров и атомов алюминия в роли акцепторов. В алмазах типа I азот является основной примесью, тогда как содержание атомов алюминия, как было установлено Раалем, не превышает  $2-34 \text{ млн}^{-1}$ . Голубая флюоресценция связана с определенными длинами волн. Основное положение полос испускания соответствует длине волны  $4155 \text{ \AA}$ , эта полоса является также наиболее важной полосой поглощения в алмазе. Имеются широкие области непрерывного испускания, доходящие до красного конца спектра. Фотография флюоресцирующих алмазов показана на фото 1.

Кривые испускания и поглощения света алмазами, записанные на спектрофотометре, показали, что имеются две основные «системы», расположенные при  $4155 \text{ \AA}$  в фиолетовой части и при  $5040 \text{ \AA}$  в сине-зеленой части спектра. При температурах жидкого воздуха ( $-180^\circ\text{C}$ ) эффекты проявляются более четко и интенсивнее, чем при комнатной температуре. В этом случае кривые содержат серию узких «пиков», которые представляют линии или узкие поло-

сы. «Пики» обнаруживают удивительную зеркальную симметрию между полосами поглощения в коротковолновой области спектра для этих двух основных положений и полосами или линиями испускания в длинноволновой области спектра. Сами линии при 4155 и 5040 Å могут появляться в спектрах поглощения или испускания в зависимости от условий, что делает их похожими в этом отношении на дублеты в дальней красной части спектра рубина.

Узкие пики, наблюдаемые при низких температурах, при комнатных температурах уширяются и дают слабую волнистость на кривых, соответствующих синей и зеленой системам испускания, и это подтверждается эффектами, наблюдаемыми в ручной спектроскоп, когда исследуется свет, испускаемый интенсивно флюоресцирующими синими или зелеными алмазами. Эффект «полосчатости» указывает на наличие неясно выраженных максимумов, однако как линии они едва различимы.

У некоторых алмазов линии испускания лежат в желтой и красной областях спектра; они не так чувствительны к температуре и могут наблюдаться и измеряться при комнатной температуре. Некоторые из этих ярких линий были обнаружены и измерены сэром Уильямом Круксом в сильном свечении ряда алмазов в катодных лучах, являющихся, по общему признанию, значительно более энергичными возбудителями, чем ультрафиолетовые лучи. Крукс записал линии при 5030, 5130 и 5370 Å для камня, флюоресцирующего таким ярким бледно-зеленым светом, что около него можно было читать. В другом алмазе Крукс наблюдал линии в желтой части при 5740 и 5890 Å, наличие которых он ошибочно приписал иттрию и натрию. Эти данные приведены в его замечательной книге «Алмазы», опубликованной в 1909 г., однако сама работа была выполнена гораздо раньше.

В Лондонской лаборатории удивительная серия линий наблюдалась при флюоресценции розового алмаза определенного типа, причем было обнаружено несколько таких образцов. Все они при любом виде облучения давали интенсивную оранжевую или оранжево-зеленую флюоресценцию. В спектре флюоресценции таких алмазов отмечалась интенсивная и довольно узкая линия при 5750 Å в желтой части спектра наряду с несколькими другими линиями, интенсивность которых убывала в направлении красного края спектра. Приблизительные измерения дали 5870, 5980 и 6170 Å. Эти розовые камни были отнесены к типу IIa на основании их прозрачности для ультрафиолетовых лучей.

Исследование технических алмазов хорошего качества из Сьерра-Леоне, Ганы и т. д. привело к обнаружению нескольких камней, которые дают слабую, но очень резкую линию при 5750 Å при облучении их интенсивным сине-фиолетовым светом или длинноволновым ультрафиолетовым светом. В этих алмазах, которые, по видимому, являются «промежуточными» с той точки зрения, что они пропускают свет с длиной волны вплоть до 2400 Å, линия при

5750 Å была не главной в спектре, а сопровождалась такой же четкой линией при 5370 Å, которая известна как линия поглощения в алмазе и была отмечена ранее Круксом и сравнительно недавно другими исследователями как линия испускания.

Единственным простым способом, а помощью которого геммолог может изучать флюоресценцию алмаза при низких температурах, является использование твердой двуокиси углерода («сухого льда») — дымящейся белой твердой массы, применяющейся для охлаждения. Она дает температуру  $-70^{\circ}\text{C}$ . Сухой лед в количестве до 0,5 кг может храниться в термосе или картонной коробке, завернутой в газеты, причем этого количества достаточно для экспериментов в течение одного дня. Кусочки необходимого размера извлекаются по мере надобности. Сухой лед совсем неопасен, если работать с ним в резиновых перчатках и использовать не проводящую тепло посуду. Алмазы, предназначенные для исследования флюоресценции, должны быть предварительно отобраны и помещены на плоский кусок сухого льда, который сам не флюоресцирует. Если наблюдение ведется достаточно долго, камень через некоторое время покроется инеем, который следует снимать.

При таких условиях эффекты флюоресценции заметны лучше и линии выглядят более четкими. Автору посчастливилось обнаружить структуру тонких линий между 6000 и 7000 Å в бриллиантах, дававших желтую флюоресценцию, в которых ранее не наблюдалось никаких линий поглощения или испускания.

Конечно, с помощью простых приборов флюоресценцию алмаза можно наблюдать очень неполно. Несомненно, этот минерал заслуживает более детального изучения. В наше время, когда цвет природного алмаза может быть искусственно изменен, а синтетический алмаз уже «стучится в дверь», важно знать особенности поведения алмаза.

Алмаз может служить примером, который демонстрирует всю сложность и важность точного определения камня. Алмаз, такой чистый по виду и простой по составу и структуре, при соответствующем облучении наполняется мерцающими отблесками и тенями, полными интереса и тайны.

Если интенсивно флюоресцирующий голубым светом алмаз удалить из зоны действия ультрафиолетового света и поместить на ладонь, во всех случаях можно видеть довольно устойчивую желтую фосфоресценцию — ценный признак для определения алмазов в ювелирных изделиях, поскольку никакие другие минералы, имеющие голубую флюоресценцию, не обнаруживают этого эффекта.

Алмазы, имеющие голубую флюоресценцию, относятся к типу капских алмазов. Алмазы, принадлежащие к типу коричневых алмазов, обычно флюоресцируют зеленым светом и дают полосу испускания и поглощения при 5040 Å; голубая флюоресценция камня определяется полосой при 4155 Å. У многих камней наблюдаются обе полосы. Третья группа алмазов флюоресцирует теплым

желтым светом, наблюдаемым в технических камнях чаще, чем в ювелирных.

Роберт Вебстер предложил использовать эту многообразную флюоресценцию алмазов как средство документации дорогих ювелирных изделий, украшенных алмазами. Любой предмет под воздействием ультрафиолетовых лучей дает группу световых пятен различной интенсивности (от яркой до слабой) в зависимости от флюоресценции отдельных камней, причем для каждой конкретной вещи характерен свой определенный рисунок флюоресцирующих пятен, благодаря чему фотография изделия в обычном и ультрафиолетовом свете будет служить неопровержимым документом, подтверждающим идентичность изделия в случае его потери или кражи и последующего возвращения.

### КОРОТКОВОЛНОВЫЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ СВЕТ

Эффекты, наблюдаемые в коротковолновом излучении с основной линией при 2537 Å, даваемом ртутной лампой и соответствующим образом отфильтрованным, являются в ряде случаев более ценными для определения камня, чем эффекты, вызываемые длинноволновым ультрафиолетовым светом. Например, вольфрамат кальция — шеелит, иногда встречающийся в ограненном виде среди коллекционных камней, — инертен в длинноволновом ультрафиолетовом свете, но при облучении светом с длиной волны 2537 Å сияет ярким беловато-голубым светом.

Для геммолога наиболее важной с практической точки зрения является реакция большинства белых синтетических шпинелей, флюоресцирующих ярким бело-голубым и голубовато-белым светом при облучении коротковолновым ультрафиолетовым светом, в то время как синтетические белые сапфиры в этих условиях дают очень слабую темно-синюю флюоресценцию. Таким образом, при проверке ювелирных изделий, украшенных ограненными бесцветными камнями, выдаваемыми за алмазы, которые трудно определить обычными методами, может быть полезна лампа, которая дает свет с длиной волны 2537 Å. Редкий синий камень бенитоит обнаруживает в этих условиях яркую синюю флюоресценцию. Синтетические рубины светятся гораздо более ярким красным светом, чем большинство природных рубинов; в трудных случаях этот эффект служит дополнительным диагностическим признаком. Большинство синтетических синих сапфиров обладает оригинальной зеленой поверхностной флюоресценцией или беловато-синим свечением. Это свечение, по-видимому, обусловлено примесью титана. Зеленую флюоресценцию могут также давать цейлонские сапфиры, если они не содержат железа. Однако при внимательном исследовании такого флюоресцирующего сапфира с помощью лупы можно отчетливо увидеть изогнутые линии роста, что служит безусловным доказательством их рождения в печи Вернейля.

Значение коротковолновой лампы для идентификации природных и синтетических рубинов и изумрудов не ограничивается эффектами флюоресценции, что уже было отмечено выше. Синтетические камни значительно более прозрачны для коротковолнового света по сравнению с природными образцами, причем степень прозрачности любого образца может быть быстро определена методом, предложенным Норманом Деем. Камень или камни помещают (в затемненной комнате) на кусок фотобумаги, погруженной в кювету, наполненную водой, и экспонируют в течение нескольких секунд под лучами коротковолновой лампы, расположенной на расстоянии 35 см от кюветы. Проявленная бумага совершенно ясно покажет относительную прозрачность камней по отношению к этим лучам. Поскольку продолжительность экспозиции в этом эксперименте является довольно неопределенной величиной, рекомендуется всегда пользоваться известными синтетическими и природными камнями в качестве эталонов для сравнения.

### РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ

Флюоресценция под действием рентгеновских лучей мало отличается от флюоресценции, возбуждаемой ультрафиолетовым светом. Например, природные и синтетические рубины дают красное свечение, вызванное хромом. Однако после прекращения облучения рентгеновскими лучами синтетические рубины обнаруживают отчетливое послесвечение, заметное для адаптированного к темноте глаза, причем эта флюоресценция может продолжаться до десяти секунд, а иногда и значительно дольше. В то же время свечение природных рубинов обычно моментально гаснет. Синтетические рубины могут быть определены по изогнутым линиям роста, если есть возможность наблюдать их под соответствующим углом, но в камнях, закрепленных в глухую оправу, эти линии могут быть незаметны. В таких случаях правильный вывод можно получить, испытать камень на фосфоресценцию при облучении рентгеновскими лучами. Оранжевые, желтые и даже бесцветные синтетические сапфиры часто содержат следы хрома и поэтому нередко дают красную флюоресценцию в рентгеновских лучах и последующую фосфоресценцию.

Выше мы отметили, какой многообразной по интенсивности и в некоторой степени по цвету является флюоресценция алмазов в ультрафиолетовом свете. Эффекты, наблюдаемые под рентгеновскими лучами, более однородны: почти все камни сияют беловато-голубым светом умеренной интенсивности. При этом заметная фосфоресценция отмечается редко. Некоторые алмазы, дающие зеленую флюоресценцию в ультрафиолетовом свете, так же светятся в рентгеновских лучах. Для синтетических белых шпиделей обычна яркая зеленоватая флюоресценция, сопровождающаяся продолжительной фосфоресценцией. Любопытно, что алмаз,

дающий голубую флюоресценцию в ультрафиолетовом свете, обнаруживает и продолжительное послесвечение, однако после такой же голубой флюоресценции в рентгеновских лучах фосфоресценция наблюдается редко.

Интересна оранжевая флюоресценция у массивного зеленого граната — гидрогроссуляра (так называемого трансваальского жада) под действием рентгеновского излучения. Этот эффект служит хорошим признаком для идентификации этого весьма привлекательного минерала, используемого как имитация нефрита. В частности, отмеченный признак позволяет отличить трансваальский жад от очень похожего на него калифорнита — разновидности везувиана.

Давно известно, что культивированный жемчуг дает желтоватую флюоресценцию в рентгеновских лучах, тогда как большинство настоящих морских жемчужин обнаруживает настолько слабое свечение, что его едва можно разглядеть даже привычным к темноте глазом. Свечение культивированного жемчуга обусловлено присутствием следов марганца в ядрах, которые обычно изготовляют из перламутрового слоя раковин пресноводных моллюсков. Стоит ли удивляться, что природный пресноводный жемчуг также дает желтоватую флюоресценцию. Внимательное наблюдение покажет, что настоящий жемчуг дает флюоресценцию главным образом на поверхности жемчужины, тогда как у культивированного жемчуга свечение идет изнутри.

Еще более яркая флюоресценция (с фосфоресценцией) наблюдается у пресноводного культивированного жемчуга из озера Бива в Японии. Он не содержит ядер, а особенности его внутренней структуры не всегда легко различить при радиографии, но характерная сильная флюоресценция в рентгеновских лучах хорошо подтверждает его происхождение.

Флюоресценция — весьма полезный признак, позволяющий судить о природе жемчуга, но ее нельзя рассматривать как эквивалент более точных методов определения жемчуга, описанных в гл. 26. Если жемчужины просверлены насквозь или частично, флюоресценция в рентгеновских лучах и сравнение относительной яркости материала в глубине отверстия и вокруг него позволяют сделать более надежные выводы, как об этом сказано в главе о жемчуге.

Выше упомянуты только наиболее важные стороны исследования с помощью флюоресценции. Тем, кого интересует более полная информация по этому вопросу, рекомендуем обратиться к серии из 11 статей Р. Вебстера, публиковавшихся в журнале «Gemtologist» с июня 1953 по апрель 1954 г., или, что более удобно, к соответствующему разделу его книги «Драгоценные камни» (3-е издание, 1975 г.).

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛМАЗА

Итак, мы подошли к середине книги как в отношении объема, так и по существу содержания. Закончены описания рекомендованных приборов и общих методов определения камней. Остается рассказать подробнее, как эти методы могут использоваться для идентификации отдельных видов камней и каким образом каждый камень можно отличить не только от других, похожих на него природных камней, но и от синтетических материалов — его заменителей.

Так как данная книга не является академическим исследованием, а представляет собой практическое руководство для ювелиров и геммологов, то порядок описания отдельных видов камней обусловлен их значением в торговле. С этой точки зрения алмаз гораздо важнее всех остальных камней; за ним следуют рубин, сапфир и изумруд. Эти четыре камня считались классическими драгоценными камнями и в те дни, когда все другие камни (кроме жемчуга) относились к категории полудрагоценных. Порядок изложения последующих глав более свободный, и если читателю не удастся быстро найти описание интересующего его камня, ему следует обратиться к алфавитному указателю.

Стоимость алмазов на мировом рынке превышает 90% стоимости всех других драгоценных камней. Алмаз — один из немногих камней, с которым имеет дело каждый ювелир, надеясь, что он способен в большинстве случаев узнать его по внешнему виду. Однако известно немало случаев, когда даже опытные специалисты допускали дорогостоящие ошибки, и часто потому, что у них не возникало ни малейшего сомнения в правильной идентификации камня. В последние годы, с появлением синтетических материалов, которые по своей игре, яркости и блеску очень похожи на алмаз, задача еще более усложнилась.

Характерный вид алмаза является сложным эффектом «алмазного» блеска его поверхности, совершенства полировки, сверкания и «огня». Все эти свойства обусловлены исключительной твердостью алмаза, высокими показателями преломления, дисперсией, а также мастерством гранильщика.

От поверхности алмаза отражается больше света, чем от любого другого природного бесцветного камня, и это в сочетании с его твердостью, исключительной ровностью поверхности и высоким качеством полировки граней, которое может быть достигнуто квалифицированным гранильщиком, усиливает своеобразный «ал-

мазный» блеск, присущий только этому камню. Синтетический рубин может отражать даже больше света, чем алмаз, а титанат стронция отражает свет почти так же, как алмаз, однако их меньшая твердость не позволяет добиться такой ровной и зеркальной поверхности и таких острых ребер между гранями, как у алмаза. Наклонив алмаз так, чтобы на поверхности площадки появилось



РИС. 10.1. Формы природных кристаллов алмаза.

отражение окна или электрической лампы, можно заметить, что оно не искажено.

Алмазы обрабатываются таким образом, что практически весь свет, входящий в камень через коронку, полностью отражается от его задних граней как от ряда зеркал (лучи должны падать на них под углами, превышающими критический, который у алмаза составляет всего  $24,5^\circ$ ). Поэтому, если через хорошо ограненный бриллиант смотреть на свет, будет видна только светящаяся точка в колете и ничего более. Кроме того, если посмотреть через бриллиант, находящийся в надетом на палец кольце, то увидеть палец сквозь него невозможно (из-за полного внутреннего отражения), тогда как через камни, имеющие меньший показатель преломления, палец обычно виден.

Белый свет, входя в алмаз, расщепляется на цветной спектр; в результате возникают вспышки чистых цветов на более мелких гранях коронки. Эти цветные искры в алмазе в сочетании с исключительной оптической прозрачностью камня представляют собой один из главных атрибутов его красоты.

Когда смотрят через площадку, высокий показатель преломления алмаза создает иллюзию значительно меньшей толщины кам-

ня, чем это есть на самом деле, что наряду с *изотропностью* служит другим отличительным признаком алмаза.

Следующий характерный признак, который часто можно обнаружить с помощью лупы, — наличие небольших участков поверхности исходного кристалла на рундисте, которые практически не влияют на красоту камня и часто специально сохраняются гранильщиком, чтобы визуальнo кристаллографически ориентировать камень в процессе его огранки и полировки. На рундисте часто видны следы необработанной поверхности кристалла. Очень своеобразны включения в алмазе, причем, пожалуй, самыми распространенными из них являются сверкающие блестящие графита или других форм «углерода». Алмаз хорошо смачивается жирами, поэтому на поверхности ограненного камня после того, как его брали руками, остается жирная пленка. Об этом признаке также следует помнить.

Но достаточно об осмотре камня невооруженным глазом или с помощью лупы; перейдем теперь к его инструментальной диагностике.

*Твердость.* Твердость — свойство, которое у драгоценных камней определяется и измеряется с большим трудом, поэтому испытания на твердость следует избегать, если можно применить другие, более точные и менее безопасные для камня методы. Однако алмаз уникален в этом отношении. Более 150 лет назад, когда Моос создал свою «шкалу» твердости (которая оказалась настолько полезной, что минералогии и геммологии до сих пор ею постоянно пользуются), он обозначил твердость алмаза цифрой 10. Следующим в шкале идет корунд (сапфир) с твердостью 9. За ним следуют топаз (8), кварц (7), полевой шпат (6), апатит (5), флюорит (4), кальцит (3), гипс (2) и тальк (1). Каждый, кто имеет дело с драгоценными камнями, должен запомнить эти цифры. Моос отобрал для своей шкалы те минералы, которые легкодоступны. Числа твердости не определяют истинного значения твердости; они просто указывают, что минерал с более высоким числом царапает другой, с более низким числом, но на нем в свою очередь оставляет царапину минерал, стоящий выше его по шкале. Неоднократно пытались получить точное значение твердости минералов с помощью контролируемого «царапания» под определенной нагрузкой или путем измерения потери веса после шлифования в строго нормируемых условиях, а также методом вдавливания стандартной призмы и измерением размера полученного отпечатка. Последний способ наиболее удобен, так как меньше всего разрушает камень. Результаты, определенные разными методами, не полностью совпадают, поскольку определяют различные типы твердости, однако они позволяют сделать общий вывод, заключающийся в следующем: а) твердость кристалла неодинакова на разных гранях кристалла и в различных направлениях на одной и той же грани; б) различие в твердости между алмазом (10) и корундом (9) го-

раздо больше, чем между другими минералами с соседними числами твердости по Моосу.

Получены некоторые синтетические абразивы, например карбид кремния (карборунд) и карбид бора, превосходящие по твердости корунд, а также особая, образующаяся при высоких давлениях форма нитрида бора (боразон), сравнимая по твердости с алмазом, однако алмаз все еще остается единственным драгоценным камнем, который оставляет царапины на рубине или сапфире.

Образцы синтетического корунда получить довольно легко, но если их нет, то вместо них можно использовать полированные образцы природного низкокачественного сапфира. Плотно приложенный к поверхности полированного корундового образца, можно заметить, что алмаз «цепляется» за корунд и оставляет на нем видимую царапину, которая не исчезает, если потереть ее мокрым пальцем. Эта простая процедура указывает, что камень является несомненным алмазом, причем, проявляя некоторую осторожность, удастся не повредить испытуемый камень независимо от того, окажется ли он алмазом или нет. Титанат стронция, новый синтетический материал, очень похожий на алмаз и имеющий почти такой же, как и он, показатель преломления, очень мягок (не более 5 по шкале Мооса), и легкое прикосновение стальной иглы оставляет на нем отметину.

*Показатель преломления.* Алмаз замечателен также своим высоким показателем преломления (2,42) и отсутствием двупреломления, что может служить очень важным признаком минерала, хотя и не является уникальным, присущим только ему свойством. Максимальная величина, определяемая обычным рефрактометром, ограничена значением 1,81—показателем преломления контактной жидкости. Алмаз, следовательно, даст при испытании на рефрактометре «отрицательный» результат. Однако если предполагается, что испытуемый камень представляет собой алмаз, его не следует класть на призму рефрактометра, поскольку при этом трудно избежать повреждения мягкого стекла прибора. Кроме алмаза существуют еще три естественных камня, не дающие границ на обычном рефрактометре: циркон (1,926—1,985), демантоид (1,89) и сфен (1,90—2,03). Бесцветен из них только циркон, а изотропен только демантоид. У циркона и сфена под лупой видно сильное раздвоение задних граней, а в демантоиде видны типичные включения типа «лошадиного хвоста».

В последние годы искусственно получены два соединения, показатели преломления которых близки или превышают показатель преломления алмаза: синтетический рубин (2,61—2,90) и титанат стронция. Последний к тому же изотропен и имеет показатель преломления (2,41), очень близкий к алмазному. Рутил узнается сразу по очень большому двупреломлению и полыхающему «огню», который делает его почти таким же разноцветным, как и опал.

Кроме того, рutil, даже самый лучший, имеет отчетливо выраженный желтоватый оттенок, который сохраняется и тогда, когда на камень наносится тонкая пленка сапфира, чтобы повысить его твердость и улучшить внешний вид. Титанат стронция гораздо больше похож на алмаз — он почти бесцветен и изотропен. Однако у него по сравнению с алмазом слишком много «огня», что сразу же выявляется при сравнении этих двух камней. Этот синтетический камень имеет высокий удельный вес (5,13), но если он закреплен в оправе, то удельный вес не может быть использован для диагностики. Хорошим методом испытания является тщательная проверка твердости камня с помощью стальной иглы, как описано выше. Характерны включения, когда они есть. Как и все прочие имитации алмаза, титанат стронция не обладает присущей алмазу прозрачностью в рентгеновских лучах (эта прозрачность алмаза в рентгеновских лучах показана на рис. 10.4).

Не так давно для имитации алмаза стали применять некоторые другие бесцветные синтетические кристаллы, из которых наиболее важны иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ) и кубическая окись циркония, уже описанная в гл. 7. Эти материалы изотропны, и их светопреломление можно определить только на некоторых последних типах рефрактометров.

Отличить алмаз от хорошо известных и давно выпускаемых синтетических материалов — бесцветных сапфира и шпинели, которые часто применяются в дешевых ювелирных изделиях для имитации алмазов, — можно по показателю преломления. Если камни слишком малы для определения их показателя преломления на рефрактометре, все изделие нужно погрузить в иодистый метилен; при этом сразу же можно обнаружить, что подозрительные камни не являются алмазами. Как сапфир, так и шпинель буквально «исчезают» в этой жидкости из-за близости их показателей преломления, тогда как ребра алмаза будут видны очень четко.

**Флюоресценция.** Флюоресценция алмаза под действием коротковолнового или длинноволнового ультрафиолетового облучения очень непостоянна, но часто весьма характерна и во многих случаях может дать полезную информацию. Особенно удобно использовать флюоресценцию при изучении мелких алмазов, нередко обрамляющих крупные камни в ювелирных изделиях. Помещенные под кварцевую ртутную лампу с фильтром из стекла Вуда или под «черную лампу», в которую такой фильтр входит составной частью, одни алмазы будут флюоресцировать ярким небесно-голубым светом, другие дадут менее интенсивное свечение, тогда как третьи окажутся практически инертными. Один или два могут давать желтую или желтоватую флюоресценцию. Если же в таком освещении ни один из камней не флюоресцирует, то это подозрительный признак.

С другой стороны, если все камни одинаково флюоресцируют, они определенно не могут быть алмазами. Фотография необрабо-

ганных алмазов, флюоресцирующих в ультрафиолетовом свете, показана на фото 1.

Испытание на флюоресценцию очень полезно, но оно является лишь ориентировочным и редко геммолог может с помощью флюоресценции установить точную природу камня. Однако это испытание становится специфичным, если алмаз в длинноволновом ультрафиолетовом свете дает голубую флюоресценцию, сменяющуюся желтым послесвечением, когда камень быстро удаляют из-под лампы или же ее выключают. Такая картина очень характерна для алмазов, имеющих голубую флюоресценцию, причем чем она интенсивнее, тем интенсивнее будет и фосфоресценция. Алмазы с зеленовато-желтой люминесценцией также дают послесвечение, однако интенсивность его менее определенная. В рентгеновских лучах алмазы ведут себя более однообразно — почти все они светятся интенсивным голубым светом, но, что любопытно, не обнаруживают при этом фосфоресценции.

Фосфоресценция после облучения длинноволновым ультрафиолетовым светом является таким характерным признаком, что стоит освоить этот метод исследования. Интенсивность флюоресценции — при всей стойкости — быстро падает, и, если комната не затемнена полностью, а глаза не адаптированы к темноте, ее можно и не заметить. Если образец облучать на ладони, согнутой в виде чаши, а после прекращения облучения немедленно сжать пальцы в кулак и приложить к нему глаз, то будет хорошо видно свечение алмаза.

*Удельный вес.* Эта «константа» алмаза редко используется для диагностических целей даже научными работниками, однако мы ее здесь опишем. Обычно удельный вес алмаза принимается равным  $3,52 \text{ г/см}^3$ , и это является хорошей рабочей величиной. Тщательное измерение удельного веса высококачественных алмазов дает более точное значение — 3,515. Самое близкое к этому значение среди похожих на алмаз минералов имеет сфен (3,53), однако его двупреломление, плеохроизм и низкая твердость без труда позволяют отличить его от алмаза. Стоит упомянуть о галках из бесцветного топаза, которые легковверные старатели и собиратели-коллекционеры часто принимают за алмаз. Такие галки имеют удельный вес 3,56. Однако их окатанность и отсутствие характерного алмазного блеска должны рассеять радужные надежды: алмаз никогда так не окатывается.

У всех новых имитаций алмаза — титаната стронция, иттрий-алюминиевого граната (ИАГ) и кубической окиси циркония — удельный вес значительно выше, чем у алмаза, как уже отмечалось в гл. 7. Незакрепленный камень проявит себя как подделка даже без специального определения удельного веса, если опытный ювелир взвесит его обычным путем, поскольку его вес будет значительно выше ожидаемого для алмаза. Ограниченные в виде бриллианта, соответствующего алмазу весом 1 карат, указанные

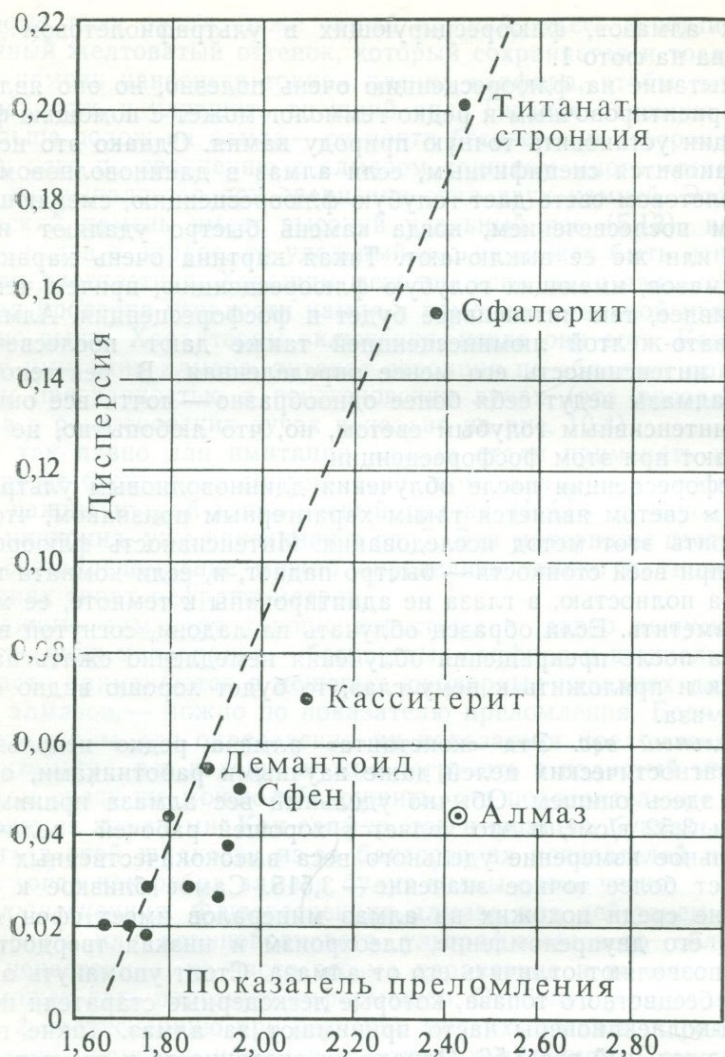


РИС. 10.2. Диаграмма, демонстрирующая сравнительно низкую дисперсию алмаза по сравнению с дисперсией других камней, имеющих такой же высокий показатель преломления.

камни будут иметь следующий вес: титанат стронция 1,45 карата, иттрий-алюминиевый гранат 1,30 карата и кубическая окись циркония 1,60 карата.

*Дисперсия.* Хотя алмаз и знаменит своим «огнем», его дисперсия (0,044) для интервала голубой — зеленый необычайно низка для камня с таким высоким показателем преломления (см.

рис. 10.2). Сфен, демантоид и касситерит, имеющие значительно меньшие показатели преломления, превосходят алмаз по величине дисперсии (0,051, 0,057 и 0,071 соответственно), тогда как для камней, сравнимых по показателю преломления с алмазом, таких, как сфалерит и титанат стронция, дисперсия должна рассматриваться как нормальная (0,15 и 0,200 соответственно). Однако для большинства людей мера «огня», обнаруживаемого алмазом, достаточна, чтобы увидеть в камне благородную красоту; в то же время титанат стронция и синтетический рутил кажутся опалесцирующими и «кричащими» (см. гл. 3).

Хуже обстоит дело с иттрий-алюминиевым гранатом (ИАГ), хотя его дисперсия (0,028) соответствует его показателю преломления (1,834). Недосток огня менее заметен в образцах, имеющих ступенчатую огранку, чем в камнях бриллиантовой огранки, причем и по игре, и по блеску он превосходит синтетическую бесцветную шпинель, которая, появившись на мировом рынке в 1935 г., наделала много шума. ИАГ так же прозрачен, как и синтетическая шпинель, абсолютно бесцветен, имеет большую твердость и изотропен.

Для имитации алмаза используется еще один материал — ниобат лития (линобат), полученный несколько лет назад. Однако широкого применения для этой цели он не нашел. Окрашенные алмазы могут напоминать хорошо ограненный коричневый, желтый или оранжевый природный или синтетический шеелит, хотя его дисперсия (0,026) не очень высока. С точки зрения дисперсии ближе всего к алмазу (0,044) стоит кубическая окись циркония (0,060), также служащая материалом для его имитации.

*Двупреломление.* Почти все алмазы обладают двупреломлением, которое обусловлено внутренними напряжениями и дает картину ярко окрашенных пятен, чередующихся с темными полосами. Они хорошо видны, когда их рассматривают между скрещенными поляроидами. Эффект двупреломления легко обнаружить в бриллианте, если, удерживая его пинцетом, поместить между скрещенными поляроидами и смотреть в направлении рундиста. Такое двупреломление можно использовать как дополнительный признак при идентификации алмаза. Следует помнить, что аномальное двупреломление имеют также по крайней мере два имитирующие алмаз материала — синтетическая шпинель и стекло. Однако при внимательном наблюдении легко отличить эффект двупреломления в шпинели и стекле от соответствующего эффекта в алмазе.

Читателю может показаться странным, что кристалл кубической сингонии не является изотропным. Напомним, однако, что при обычных условиях только графит представляет собой стабильную форму кристаллического углерода; алмаз стабилен лишь при огромных давлениях, которые существуют на больших глубинах, где он образуется. Именно в таких условиях растущий алмаз захватывает мелкие кристаллы других минералов, которые кристалли-

зуются одновременно с ним. Поскольку ни один из них не имеет такого низкого коэффициента расширения, как алмаз, то эти чужеродные кристаллы становятся центрами местных напряжений, что часто можно наблюдать при небольшом увеличении между скрещенными поляроидами (рис. 10.3).

**Абсорбция.** Как уже было показано в гл. 8, у большинства алмазов видна узкая полоса поглощения при  $4155 \text{ \AA}$  в дальней фиолетовой области, если исследовать прошедший сквозь них свет с помощью подходящего спектроסקопа. Лучше всего это заметно

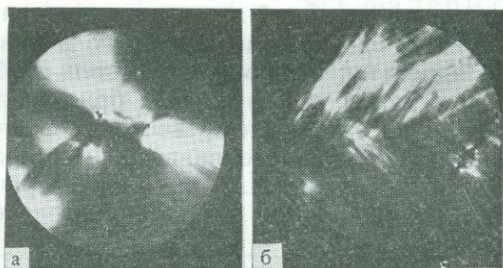


РИС. 10.3. Алмаз в скрещенных николях; видно двупреломление, вызванное внутренними напряжениями (типы *a* и *б*).

при пропускании голубого света (отфильтрованного через колбу с медным купоросом) через грани павильона параллельно плоскости рундиста. В том случае, когда в спектре полоса видна, она определяет алмаз. В капских алмазах основная линия дополняется другими, лежащими в синей и фиолетовой частях спектра. Наиболее интенсивная из них находится вблизи  $4780 \text{ \AA}$ . Слабые полосы видны в коричневых алмазах, дающих зеленую флюоресценцию. О них будет сказано ниже.

**Прозрачность в рентгеновских лучах.** Исключительная прозрачность алмаза в рентгеновских лучах позволяет однозначно определить алмаз даже в простейшей рентгеновской установке (рис. 10.4). Степень прозрачности какого-либо вещества к рентгеновскому излучению зависит (для определенной толщины материала) от относительного веса атомов, через которые оно должно пройти. Завися в некоторой степени от материала анода рентгеновской трубки, прозрачность в общем уменьшается в четвертой степени с увеличением атомного номера (он приблизительно равен половине атомного веса) рассматриваемого элемента или элементов. Так, углерод (атомный номер 6) значительно более прозрачен для рентгеновских лучей, чем любой другой драгоценный камень, содержащий такие элементы, как кремний (атомный номер 14) или алюминий (атомный номер 13), не говоря уже о металлах, таких, как кальций (атомный номер 20) и железо (атом-

ный номер 26). Поэтому экспонирование в течение 10 с пленки с разложенными на ней для определения камнями однозначно выявит различие между алмазом и всеми прочими камнями, похожими на него. Это испытание имеет то преимущество, что в случае судебного разбирательства оно предоставляет документированное доказательство. Описанным методом можно определять необработанные камни и даже непрозрачные технические алмазы, та-

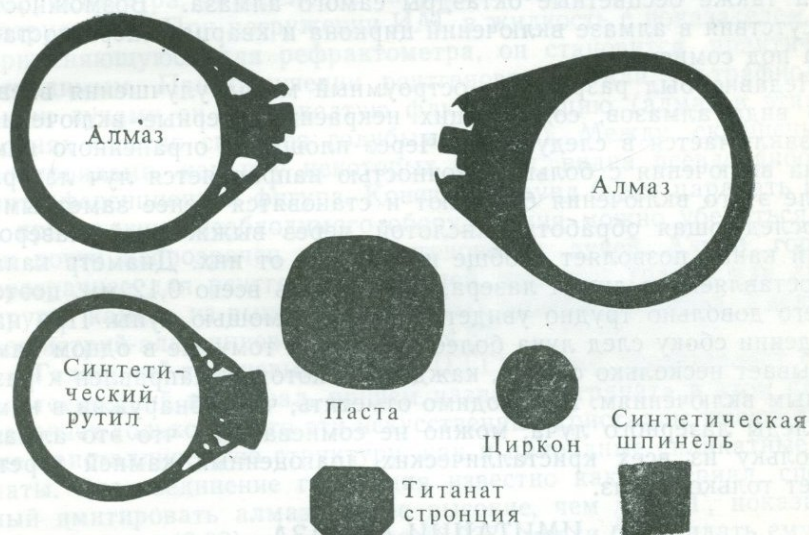


РИС. 10.4. Алмаз прозрачен для рентгеновских лучей, а его имитации их не пропускают.

кие, как борт и поликристаллические карбонадо, которые высоко ценятся за их высокую вязкость, позволяющую использовать эти алмазы в буровых коронках при бурении скважин.

**Включения.** Все алмазы, за исключением камней экстракласса, содержат небольшие включения других минералов, которые, если рассматривать их с помощью лупы 10-кратного увеличения или, что хуже, невооруженным глазом, выглядят темными пятнами. Однако часто включения столь характерны, что опытный специалист сразу же безошибочно может сказать, что камень действительно является алмазом.

Идентификация включенных в алмазы минералов в течение последних десятилетий стала предметом интенсивных исследований. Точное определение включений только путем изучения их под микроскопом не всегда возможно. В связи с этим в прошлом были сделаны некоторые ложные выводы, и потребовалось немало лет, чтобы изъять их из учебников. В последних работах для иденти-

фикации включений применялась более убедительная методика, например дробление образцов алмаза для извлечения из них включений. Использовались также методы рентгеновской дифракции. К настоящему времени определено уже более 20 минералов, которые могут образовывать включения в алмазе. Самыми важными являются черные включения магнетита и графита, темно-красные зерна хромовой шпинели и пироба, зеленого диопсида и энстатита, а также бесцветные октаэдры самого алмаза. Возможность присутствия в алмазе включений циркона и кварца теперь поставлена под сомнение.

Недавно был разработан остроумный метод улучшения внешнего вида алмазов, содержащих некрасивые черные включения. Он заключается в следующем. Через площадку ограненного камня на включения с большой точностью направляется луч лазера. После этого включения бледнеют и становятся менее заметными, а последующая обработка кислотой через выжженный лазером узкий канал позволяет вообще избавиться от них. Диаметр канала, оставляемого лучом лазера, может быть всего 0,12 мм, поэтому его довольно трудно увидеть даже с помощью лупы. При наблюдении сбоку след луча более заметен, к тому же в одном камне бывает несколько следов, каждый из которых направлен к различным включениям. Необходимо отметить, что, обнаружив в камне следы лазерного луча, можно не сомневаться, что это алмаз, поскольку из всех кристаллических драгоценных камней гореть может только алмаз.

## ИМИТАЦИИ АЛМАЗА

Выше при описании свойств алмаза уже было упомянуто большинство известных имитаций этого камня и указаны некоторые их свойства. Однако полезно рассмотреть все имитации, отмечая характерные особенности каждой из них.

После первого успеха (в 1955 г.) в получении очень мелких синтетических алмазов, пригодных для технических целей, компания «Дженерал электрик» в США объявила (в 1970 г.) о синтезе ювелирных кристаллов алмаза различного цвета весом до 1 карата. Стоимость их производства огромна, и они вряд ли смогут соперничать с природными ювелирными алмазами, по крайней мере в ближайшие годы. Эти синтетические камни при исследовании обнаруживают характерные особенности, а именно электропроводность и сильную флюоресценцию (см. также гл. 6).

Для имитации алмаза используются бесцветный циркон, синтетический рутил, титанат стронция, синтетическая бесцветная шпинель, синтетический бесцветный сапфир, алмазные дублеты и пасты (свинцовое стекло). Сравнительно недавно появились синтетические иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ), гадолиний-галлиевый гранат (ГГГ) и кубическая окись циркония. При хорошей, ненарушенной огранке за коричневые или зеленые алмазы иногда могут

быть ошибочно приняты природные минералы — сфен, шеелит, сфалерит и демантоид.

**Иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ)** продается под названием «даймонэр». Это твердый, прозрачный, бесцветный, изотропный материал, обладающий ясной дисперсией и по внешнему виду довольно сильно напоминающий алмаз. Так как его показатель преломления (1,834) лежит за пределами шкалы стандартного рефрактометра, определение закрепленного камня может вызвать затруднения. При погружении ИАГ в жидкость с показателем 1,81, применяющуюся для рефрактометра, он становится практически невидимым. При облучении рентгеновскими или ультрафиолетовыми лучами он дает желтую флюоресценцию (алмаз в этих условиях обычно светится голубым светом). Между скрещенными поляроидами, как и у некоторых стекол, видна псевдоодноосная интерференционная фигура. Конечно, корунд будет царапать ИАГ, а при наличии необходимого оборудования можно убедиться, что он почти непрозрачен для рентгеновских лучей. Алмаз гораздо прозрачнее для рентгеновских лучей, чем этот гранат или любой другой камень из вышеперечисленных имитаций алмаза. Удельный вес иттрий-алюминиевого граната 4,57.

**Гадолиний-галлиевый гранат (ГГГ)** также представляет собой синтетический материал, причем название «гранат» в этом случае означает только то, что эти искусственные кристаллы имеют такую же кристаллическую структуру, как и природные силикатные гранаты. Это соединение гадолиния известно как материал, способный имитировать алмаз. Более высокие, чем у ИАГ, показатель преломления (2,03) и дисперсия (0,038) могли бы придать ему еще большее сходство с алмазом, если бы не часто встречающийся коричневатый оттенок; следует помнить, что ИАГ, если он специально не окрашен, абсолютно бесцветен. Гадолиний-галлиевый гранат имеет чрезвычайно высокий удельный вес (7,05 г/см<sup>3</sup>).

**Кубическая окись циркония<sup>1</sup>**, пожалуй, самая эффектная из всех имитаций алмаза, является кубической модификацией окиси циркония. Стабильная форма этого соединения имеет моноклинную структуру и встречается в природе в виде минерала бадделита. Для стабилизации кубической модификации в окись циркония добавляют окислы кальция или иттрия. Свойства окиси циркония слегка варьируют в зависимости от выбранного «стабилизатора». Так, в случае добавки окиси кальция ее удельный вес равен 5,65, а при добавке окиси иттрия — 5,95. Показатель преломления и дисперсия равны 2,17 и 0,060 соответственно. Новый материал имеет много коммерческих названий, данных ему фирмами-производителями. «Фианит» — название, принятое в СССР; швей-

<sup>1</sup> В СССР она называется «фианит», так как впервые была синтезирована в Физическом институте АН СССР (ФИАН). Название «фианит» имеет приоритет над другими названиями этого же вещества. — *Прим. ред.*

царская фирма «Джевахирджан» (известная огромным объемом производства вернейлевской синтетики) выпускает кубическую окись циркония под названием «джевалит»; нью-йоркская фирма продает ее как «диамонеск». Последнее название имеет по крайней мере то преимущество, что здесь нет окончания -ит, которое следовало бы сохранить только для природных минералов.

Все синтетические материалы, предназначенные для имитации алмаза, легко отличить от алмаза, когда они не закреплены в оправе, по их гораздо большему удельному весу. Закрепленные же камни нужно внимательно исследовать с помощью лупы, чтобы узнать, имеют ли они идеально плоские грани или острые ребра на стыке граней, поскольку эти особенности характерны практически только для алмаза. Если камень достаточно большой, правильное заключение позволяют сделать показания, снятые с площадки с помощью таких рефлектометров, как «Глаз ювелира», «Алмазный глаз» и др. При отсутствии такого прибора сравнение внешнего вида камня, погруженного в иодистый метилен, с эталонным алмазом выявит у подделки значительно более низкий контраст, чем у алмаза. Самым характерным признаком алмазов служат природные включения, однако высококачественные камни их не содержат. В искусственной окиси циркония иногда присутствуют микроскопические пузырьки.

Кроме слегка заваленных ребер, что, по-видимому, является основной особенностью джевалита, на его рундисте обычно видна обусловленная быстрой обдиркой вертикальная штриховка, которая отличается от картины поверхности после обработки ее алмазным порошком. Некоторые образцы окиси циркония дают узкие линии в желто-зеленой или фиолетовой частях спектра поглощения. Их наличие следует рассматривать как дополнительный признак, говорящий о том, что камень не является алмазом, однако в видимой области спектра поглощения большинство образцов новых синтетических материалов не обнаруживает каких-либо особенностей, говорящих об их природе.

**Бесцветный циркон** — единственный распространенный бесцветный природный камень, имеющий «игру», благодаря чему неопытный человек может принять его за алмаз. В прошлом в большинстве случаев продажа подделок, например так называемых «алмазных» колец, которыми торговали в трактирах и других подобных местах, стала возможной вследствие того, что циркон весьма похож на алмаз. Даже геммологу не просто различить эти два камня. Циркон можно узнать под хорошей лупой 8- или 10-кратного увеличения по раздвоению ребер задних граней из-за сильного двупреломления камня, а спектроскоп может быть использован для подтверждения диагноза. Вольфрамат кальция — минерал **шеелит**, хорошо известный как важная вольфрамовая руда, иногда встречается в виде прозрачных бесцветных, желтых, оранжевых или коричневых обломков. Хорошая огранка придает этим камням

привлекательный вид и делает их очень похожими на алмаз. Шеелит имеет небольшую твердость (5 по шкале Мооса) и встречается слишком редко, чтобы его можно было использовать для массового производства ювелирных изделий. Тем не менее его не следует игнорировать (что обычно делают) в книгах по драгоценным камням. Хорошо ограненный в форме бриллианта и соответствующим образом оправленный, шеелит при беглом осмотре легко можно принять за алмаз. Но даже если установлено, что камень не является алмазом, это нисколько не облегчает его идентификацию — настолько мало изучен этот минерал.

Показатели преломления шеелита (1,920 и 1,937) выходят за пределы шкалы стандартного рефрактометра. Его двупреломление равно 0,017, т. е. оно такое же, как у турмалина, и, если камень не очень мал, можно наблюдать раздвоение ребер задних граней с помощью лупы 10-кратного увеличения. Дисперсия шеелита (0,026) достаточно высока, и с ней связана его красивая «игра». Удельный вес шеелита около 6, что, естественно, помогает при его определении, если камень не закреплен в оправе.

Общеизвестная особенность шеелита — его реакция на ультрафиолетовое облучение: он инертен к длинноволновым лучам, но дает яркую беловато-голубую флюоресценцию при освещении коротковолновым излучением. В шеелите, как в минерале, содержащем кальций, часто присутствуют редкоземельные элементы, имеющие хорошо известный спектр поглощения дидима в виде групп узких близкорасположенных линий, причем самая интенсивная группа лежит в желтой части спектра. Шеелит выращивается искусственно методом Чохральского и используется как лазерный материал; его прозрачные и ограненные образцы продаются коллекционерам, к сожалению, как природные камни. В некоторых образцах искусственного шеелита видны изогнутые линии и пузырьки (почти такие же, как в вернейлевской синтетике), в других случаях его можно узнать по исключительно сильно выраженному редкоземельному спектру или по полному отсутствию линий поглощения, обусловленных редкоземельными металлами.

**Сфалерит** — самая обычная цинковая руда — имеет, как правило, черный цвет; он обычно непрозрачен, но может встречаться и в виде прозрачных желтых, оранжевых или коричневых кристаллов, которые после хорошей огранки, пока грани еще не поцарапаны и не замутнены, очень похожи на окрашенные алмазы. Сфалерит, как и алмаз, относится к кубической сингонии, а его высокий показатель преломления (2,37) придает ему сильный блеск. Однако совершенная спайность в шести направлениях затрудняет полировку этого минерала, а низкая твердость (3,5) придает ему смолистый вид и мешает использованию его в украшениях. Удельный вес сфалерита 4,09; он изотропен, его дисперсия (0,156) значительно выше, чем у алмаза, хотя и не очень заметна из-за окраски. У некоторых образцов сфалерита в спектре погло-

щения заметны узкие линии в дальней красной части спектра, обусловленные, по-видимому, примесью кадмия, о чем следует упомянуть, чтобы избежать опасности принять ограненный сфалерит за циркон. При изучении сфалерита с помощью спектроскопа можно впасть в ошибку именно из-за этих линий.

**Синтетический рутил** имеет даже более высокое двупреломление, чем алмаз, а его исключительно яркая игра делает камень похожим на опал. Кроме того, рутил всегда имеет желтоватый оттенок, а его поверхность отличается жирным блеском, в то время как грани алмаза выглядят твердыми и чистыми. Гораздо больше похож на алмаз **титанат стронция**. Он почти бесцветен, изотропен и имеет почти такой же показатель преломления, как и алмаз. Однако низкая твердость придает его полированной поверхности некоторую маслянистость. По твердости с помощью острья иглы его можно легко отличить от алмаза. К тому же его дисперсия, хотя и меньшая, чем у рутила, но тем не менее в четыре раза превышающая дисперсию алмаза, придает ему фальшивый и переыщенный цветами вид, безошибочно фиксируемый опытным глазом. Титанат стронция не флюоресцирует в ультрафиолетовом свете и непрозрачен для рентгеновских лучей. На его поверхности часто видны мелкие дефекты, похожие по очертаниям на сороконожку (см. гл. 7). **Синтетические бесцветные сапфир и шпинель** можно принять за алмаз только тогда, когда они огранены в виде небольших багеток или очень мелких бриллиантов и вставлены в украшения, хотя не лишним будет напомнить, что синтетическая шпинель послужила в 1935 г. причиной абсурдного бума по поводу появления «синтетических алмазов». Если можно воспользоваться рефрактометром, то определение этих камней не представляет особого труда. Когда мелкие закрепленные камни вызывают сомнение, все изделие можно погрузить в иодистый метилен. Как сапфир, так и шпинель имеют в этой жидкости очень низкий рельеф, и ребра их граней практически исчезают. Алмазы же выглядят в ней почти так же, как и на воздухе, и ребра их граней видны отчетливо. Чтобы отличить один синтетический камень от другого, полезно изучить их между скрещенными поляроидами. В этом случае синтетические бесцветные сапфиры будут пропускать весь свет во всех случаях, за исключением четырех положений погасания, тогда как синтетическая шпинель обладает только характерным аномальным двупреломлением, которое можно назвать муаровым погасанием. Кстати, как уже было сказано выше, некоторые алмазы при изучении их между скрещенными поляроидами также обнаруживают аномальное двупреломление. **Природные бесцветные сапфиры** редко не имеют какого-либо оттенка, но и они иногда используются как имитация алмаза.

Изредка встречающиеся **алмазные дублеты**, хотя и выглядят не совсем «правильными», могут вызвать затруднения при их диагностике. Обычно они состоят из алмазной коронки, приклеенной

к павильону из бесцветного синтетического сапфира, кварца или даже стекла. Такие составные камни, как правило, закреплены, и поскольку их коронка характеризуется типичным для алмаза блеском, наличием включений и имеет общий вид алмаза, их очень легко принять за низкосортные природные камни, если только не возникнет какое-либо подозрение. Под некоторым углом ребра площадки могут отражаться от поверхности, образованной слоем клея (рис. 10.5). Под микроскопом в этом слое можно видеть так-

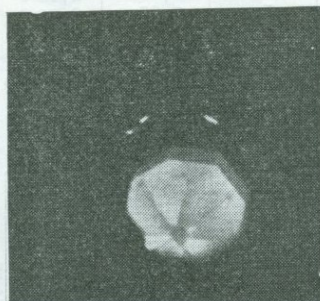


РИС. 10.5. Эффект отражения в алмазном дублете, если смотреть на площадку снизу.

же пузырьки. При погружении в иодистый метилен разница в показателях преломления коронки и павильона камня становится совершенно очевидной.

Очень эффектно выглядят имитации из свинцового стекла (обычно известные под названием «пасты»), когда они новые и хорошо огранены. Они широко используются для изготовления дешевых «алмазных» украшений и редко преследуют цель обмана, поскольку все — качественная полировка поверхности, стеклянный блеск, низкая твердость — сразу выдает их природу. Показатель преломления этих стекол варьирует, но обычно находится в пределах 1,62—1,68. Они, конечно, изотропны, а под микроскопом в них заметны пузырьки, а зачастую и свиля.

За цветные алмазы ошибочно могут быть приняты желтый и коричневый сфен и зеленый демантоид из-за их высокого показателя преломления и явной «игры». Сфен имеет очень высокое двупреломление и отличается сильным плеохроизмом, тогда как изотропный демантоид дает интенсивную полосу поглощения в фиолетовой области спектра и почти всегда содержит характерные для него включения типа «лошадиного хвоста».

Свойства алмаза и его возможных имитаций приведены в табл. 10.1. В список включены также топаз и кварц, хотя маловероятно, что они могут быть приняты за алмаз, поскольку у них нет ни блеска, ни «игры». Свойства паст (стекло) сильно варьи-

АЛМАЗ И ЕГО ВОЗМОЖНЫЕ ИМИТАЦИИ

Таблица 10.1

Название камня	Твердость	Уд. вес	Показатель преломления	Двуупре-ломление	Дисперсия
Алмаз	10	3,515	2,417	Нет	0,044
Циркон	7,5	4,69	1,926—1,985	0,059	0,039
Кубическая окись цирко- ния	8	5,65	2,15	Нет	0,060
ГГГ ( $Gd_2Ga_3O_{12}$ )	7	7,05	2,03	Нет	0,038
ИАГ ( $Y_2Al_5O_{12}$ )	8	4,57	1,834	Нет	0,028
Титанат стронция	5,5	5,13	2,41	Нет	0,200
Синтетический рутил	6,5	4,25	2,61—2,90	0,287	0,300
Ниобат лития	5,5	4,64	2,21—2,30	0,090	0,120
Шеелит (природный и синтетический)	5	6,1	1,918—1,934	0,016	0,026
Сфалерит	3,5	4,09	2,37	Нет	0,156
Демантоид	6,5	3,85	1,89	Нет	0,057
Синтетическая шпинель	8	3,63	1,727	Нет	0,020
Сапфир (природный и синтетический)	9	3,99	1,760—1,768	0,008	0,018
Топаз	8	3,56	1,61—1,62	0,010	0,014
Кварц	7	2,65	1,544—1,553	0,009	0,013
Паста (типичная)	5	3,74	1,635	Нет	0,031

руют в зависимости от их состава, однако в табл. 10.1 приведены данные для типичных хороших образцов. В последней колонке приведены значения дисперсии, являющейся количественной оценкой эффекта «игры». Величины дисперсии представляют собой разницу между показателями преломления данного камня для фиолетового и красного света (линий В и G солнечного спектра). Для рутила указано значение дисперсии для обыкновенного и для необыкновенного лучей; для титаната стронция дано расчетное значение дисперсии.

Завершая описание природных синтетических камней, которые могут быть ошибочно приняты за алмаз, а также способов их различения, назовем три прибора, которые появились недавно (1978 г.) и предназначены для того, чтобы избежать возможных ошибок.

«Алмазный глаз» («Diamond Eye»). Это самая последняя и наиболее специализированная модификация из трех рефлектометров Ханнемана. О ней уже упоминалось в гл. 2. На рис. 10.6 показана простая модель этого маленького прибора. Испытуемый камень тщательно очищенной гранью площадки устанавливается на отверстие в центре рабочего столика и прикрывается колпачком для предотвращения попадания лишнего света в прибор. Нажимается кнопка включения, и если рассматривается камень с высоким показателем преломления, например алмаз или одна из его имитаций, то стрелка укажет величину  $L_H$ , определяющую при-

роду камня. Инструмент может быть откалиброван путем вращения рукоятки, расположенной слева, до такого положения, когда алмаз дает показание 4 на шкале. На каждом камне рекоменду-



РИС. 10.6. «Алмазный глаз» Ханнемана.

ется замерять несколько значений, слегка изменяя его положения. Описанный прибор для итрий-алюминиевого граната дает значение 1, для гадолиний-галлиевого граната—2, для титаната стронция—3, для алмаза—4. Среднее значение для кубической окиси циркония (обозначено  $^3Z$ ) составляет 2,7; его также можно увидеть на шкале прибора.

«Алмазный щуп» («Diamond Probe») фирмы «Керес». Это совершенно новый прибор, основанный на уникальном свойстве алмаза—его очень высокой теплопроводности, превышающей даже теплопроводность серебра или меди. Этот прибор имеет неболь-

шой датчик с термистором, которым слегка надавливают на испытуемый камень. Через термистор пропускают небольшой ток с интервалами в 1 с, вследствие чего образец, с которым он находится в контакте, слегка нагревается. Скорость, с которой температура падает после каждого импульса нагрева, автоматически регистрируется стрелкой, движущейся вдоль шкалы, причем различие между алмазом и его имитациями дублируется мигающей лампочкой. Большим преимуществом этого остроумного метода является то, что он позволяет проверять очень маленькие камни, даже если они закреплены в глубокой оправе, причем результат можно получить очень быстро. Доктор Курт Нассау, первый испытатель этого замечательного прибора, сумел определить 39 очень мелких камней, закрепленных в брошке, менее чем за три минуты.

«Алмазный карандаш» («Gem Diamond Pen»). Третий, недавно разработанный инструмент исключительно прост. Его действие основано на общеизвестном свойстве алмаза смачиваться жиром. Прибор был разработан отделом оборудования Американского геммологического института и представляет собой карандаш с фетровым концом, заправленный специальными чернилами. Такой карандаш оставляет на поверхности алмаза сплошную черту, тогда как на имитациях алмаза чернила собираются в капельки. В набор вместе с карандашом входит фетровая пластинка и тонкий порошок окиси алюминия, предназначенные для удаления с имитаций специального покрытия, если оно нанесено на них с целью «обмана» этого инструмента.

## АЛМАЗЫ С ИЗМЕНЕННОЙ ОКРАСКОЙ

Вопрос об окрашенных алмазах приобрел новое звучание в связи с применяющимся в последнее время, особенно в США, окрашиванием бесцветных алмазов некоторыми видами ионизирующего излучения. Наибольшую ценность представляют совершенно бесцветные алмазы, а также алмазы с голубым оттенком, обусловленным, по-видимому, голубой фосфоресценцией бесцветного камня. Однако редкость алмазов, имеющих какой-либо четкий оттенок, создавала спрос на них со стороны тех, кто мог это себе позволить. Из таких алмазов наиболее известны желтые и коричневые алмазы, но и их приходится всего несколько сотен на миллионы камней, добываемых ежегодно. Камни, окрашенные в зеленый, голубой или красный цвета, встречаются исключительно редко. В настоящее время желтоватые или коричневатые алмазы, неудовлетворительные с коммерческой точки зрения, путем облучения нейтронами в ядерном реакторе или заряженными частицами в циклотроне могут быть превращены в зеленые камни. При последующем осторожном нагреве последних получают камни коричневого или золотисто-желтого цвета. Облучение пучком электронов дает камни голубого или голубовато-зеленого цвета.

Такие изменения цвета объясняются «радиационными повреждениями», т. е. смещением атомов в решетке кристалла алмаза, вследствие чего в структуре возникают дефекты, приводящие к абсорбции света.

Уже в начале нынешнего века эксперименты сэра Уильяма Крукса показали, что бесцветный алмаз становится зеленым после контакта с радием или его солями. Таким способом было обработано много камней, которые сохраняют свой цвет и поныне.



РИС. 10.7. Авторадиограмма бриллианта и обработанных радием алмазов, имеющих форму капли. Шестичасовая экспозиция на пластинке.

Удивительно, что эти обработанные камни до сих пор заметно радиоактивны и испускают в основном  $\alpha$ -частицы (ядра гелия), характерные для полония. Круксу не удалось избавиться от радиоактивности путем обработки камней в кислотах и даже в расплавленных щелочах. По-видимому, часть радиоактивных атомов проникла внутрь камня, где их распад все еще продолжается. Линд и Бадзуэлл нашли, что цвет камней, приобретенный в результате обработки радием, может быть снят путем их нагревания до  $450^\circ\text{C}$  в течение нескольких часов или при их переогранке.

Радиоактивность таких камней позволяет легко их узнать, поскольку помещенные на несколько часов на фотопленку или фотопластинку они дают авторадиографию (рис. 10.7). Кроме того, на экране, покрытом сульфидом цинка, они дают вспышки. Иногда радиоактивность этих камней настолько сильна, что вызывает повреждение кожи у тех, кто постоянно носит их в кольце.

Алмазы окрашиваются в зеленый цвет путем их облучения в циклотроне. У камня, облученного снизу, наблюдается любопытный «эффект зонтика», если на колету смотреть через площадку (рис. 10.8). У камня, облученного сверху, виден темный ободок, если смотреть на него через павильон. В настоящее время такая

обработка почти полностью заменена нейтронной бомбардировкой (как правило, с последующим отжигом) в ядерном реакторе.

Современные облученные камни не проявляют остаточной радиоактивности; они активны только несколько часов непосредственно после облучения, поэтому в настоящее время испытание на автордиографию потеряло свое значение. Цвет зеленых облученных камней приближается к цвету темного голубовато-зеленого турмалина; он не похож ни на один оттенок цвета, встречающийся

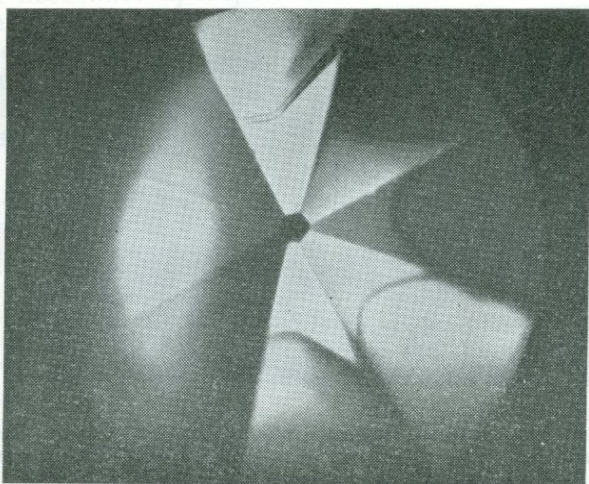


РИС. 10.8. Цветная каемка в форме зонтика, видимая вблизи колеты у облученных на циклотроне алмазов (доказательство облучения камня) (фото Р. Вебстера).

у природных алмазов. Камни желтого и коричневого цветов более обманчивы по внешнему виду, однако и они могут быть выявлены, как будет описано ниже, по их аномальному спектру и необычной флюоресценции. Что же касается голубых алмазов, то доктор Дж. Г. Ф. Кастерс из Лаборатории исследования алмазов в Йоганнесбурге нашел, что все природные голубые алмазы относятся к структурному типу, который он обозначил как тип IIb. Эти алмазы характеризуются прозрачностью для ультрафиолетового света вплоть до длины волны 2500 Å, фосфоресценцией при облучении коротким ультрафиолетом, а также полупроводниковыми свойствами. Облученные камни всеми этими признаками не обладают, да и цвет их спектроскопически отличается от цвета редких природных голубых камней.

Для выяснения причин, вызывающих окраску природных алмазов и ее изменение при обработке, необходимы дальнейшие исследования.

Робертсон, Фокс и Мартин первыми (в 1934 г.) разделили алмазы на две категории в соответствии с их прозрачностью для ультрафиолетового света, особенностями инфракрасного поглощения и некоторыми другими свойствами. Наиболее распространенные камни (обозначаемые как тип I) прозрачны для лучей до 3000 Å и обычно в той или иной степени флюоресцируют голубым светом. Более редкие алмазы (тип II) прозрачны вплоть до 2250 Å и большей частью не флюоресцируют.

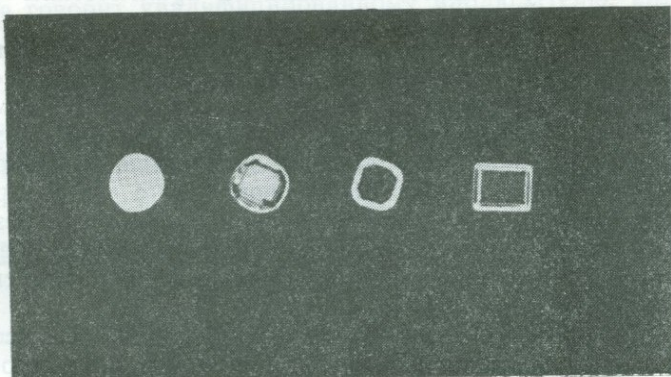


РИС. 10.9. Демонстрация различия в прозрачности для коротковолнового ультрафиолетового света четырех алмазных таблиц.

Как было отмечено выше, доктор Кастерс нашел, что алмазы типа II могут быть далее разделены на камни типа IIa, которые не фосфоресцируют и не проводят электричества, и камни типа IIb, которые фосфоресцируют после облучения коротковолновым ультрафиолетовым светом и могут пропускать большой поток электронов при разности потенциалов в 250 В.

Камни, прозрачные для коротковолнового ультрафиолетового света, встречаются не так уж редко, как считают некоторые авторитеты. Например, из четырех плоских «портретных» алмазов, находящихся в коллекции автора, три пропускают ультрафиолетовый свет с длиной волны менее 2500 Å и только один из них непрозрачен при «нормальной» длине волны около 3000 Å. Кроме того, эти четыре камня указывают и на другое явление — промежуточную степень прозрачности, неточно совпадающую в каждом из выделенных типов алмазов (рис. 10.9). Четыре камня помещали на контактную бумагу в воду и в течение нескольких секунд освещали коротковолновой ультрафиолетовой лампой с фильтром Чанса ОХ<sub>7</sub>, после чего бумагу проявляли. Получалось негативное изображение, следовательно, прямоугольный камень с темной серединой, лежащий справа, в действительности является самым прозрачным для ультрафиолетовых лучей.

В 1959 г. Кайзер и Бонд сделали удивительное открытие. Оказалось, что появление многочисленных линий в ультрафиолетовом и инфракрасном спектрах поглощения алмазов типа I, по которым эта наиболее распространенная разновидность отличается от камней типа II, обусловлено свободным азотом, присутствующим в алмазах типа I в качестве постоянной примеси.

Можно подумать, что эти различия в алмазах, никак не сказывающиеся на их внешнем виде, представляют чисто научный интерес, и поэтому в книге, посвященной практическим методам определения драгоценных камней, им не следует уделять внимания. Однако они могут дать ключ для распознавания камней, окрашенных облучением, и камней, имеющих природную окраску. Например, если действительно все природные голубые алмазы относятся к типу IIb, то, следовательно, всякий другой голубой алмаз, который не обладает электропроводностью и непрозрачен для коротковолнового ультрафиолетового света (т. е. проявляет свойства алмаза типа I), приобрел свою окраску в результате облучения. Из этого правила до сих пор не было исключений, хотя, как оказалось, некоторые голубые алмазы обладают свойствами камней типа II.

Р. А. Дагдейл, работающий в Харуэлле в Научно-исследовательском центре по атомной энергии, нашел, что алмазы, окрашенные облучением в зеленый цвет, при последующем отжиге превращаются в коричневые и золотисто-желтые камни, в спектре которых появляются ранее отсутствовавшие линии поглощения. Наиболее важной из них с нашей точки зрения является узкая и довольно слабая линия при 5940 Å (ранее указывалась линия при 5920 Å) в желтой части спектра, которая у необработанных алмазов наблюдается очень редко. Кроме того, в результате обработки появляются линии при 5040 и 4970 Å в сине-зеленой части спектра.

Директор нью-йоркского отделения Американского геммологического института Ж. Р. Кроунингшилд наблюдал линию при 5940 Å (5920) у тысяч обработанных желтых алмазов; собственный опыт автора подтверждает эти наблюдения. Присутствие у желтых и коричневых алмазов линий поглощения в желтой части спектра наряду с линиями при 5040 и 4970 Å является доказательством того, что камни были обработаны. Линии более заметны в отраженном свете. Линию при 5940 Å легко можно не заметить в спектре, рассматриваемом в проходящем свете; она может даже совсем исчезнуть при нагревании камня.

Другой интересный и важный момент в установлении причин окраски алмаза — обнаружение линий поглощения в синей и фиолетовой частях спектра, которые характерны для капских алмазов. Важной является линия при 4155 Å в дальней фиолетовой части спектра, за которой следует серия линий, простирающихся вплоть до ближнего ультрафиолета. Для синей части спектра ха-

рактерна линия при 4780 Å, с которой соседствуют более слабые линии при 4650, 4510, 4350 и 4230 Å. Хотя линия при 4780 Å не столь четкая и интенсивная, как линия при 4155 Å, она зачастую более заметна, чем первая, поскольку находится в области лучшей видимости. Эти присущие капским алмазам линии определенно связаны с какими-то устойчивыми дефектами в решетке алмаза, так как интенсивное облучение и последующий отжиг не оказывают на них никакого влияния. Таким образом, их присутствие в спектре говорит квалифицированному наблюдателю, который к тому же обнаружил линии при 5940, 5040 и 4970 Å, что камень,

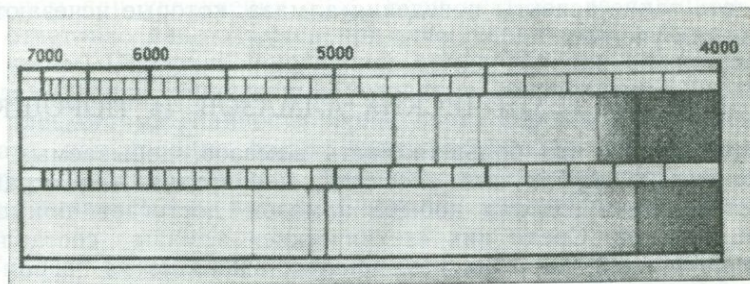


РИС. 10.10. Спектры поглощения капского алмаза (вверху) и бурых алмазов (внизу).

имеющий прекрасный золотисто-желтый цвет, первоначально был обычным бесцветным капским алмазом. Некоторые природные желтые алмазы дают линии, характерные для капских алмазов, тогда как у других, имеющих настоящий желтый цвет, совсем отсутствуют линии поглощения. В то же время они обладают желтой флюоресценцией (см. верхний спектр на рис. 10.10).

Природные алмазы, имеющие характерный спектр капских алмазов, флюоресцируют голубым светом различной интенсивности. В то же время алмазы, дающие линии 5040 и 4970 Å (иногда также более слабую линию при 5150 Å), обычно имеют коричневатый цвет и флюоресцируют зеленым светом. Следует отметить, что обработанные камни, в которых дефекты, вызывающие появление отмеченных линий, связаны с облучением длинноволновым ультрафиолетовым светом, дают зеленую флюоресценцию. Кроунингшилд и автор выявили небольшое, но важное различие между природными алмазами с линиями при 5040 и 4970 Å и облученными и отожженными алмазами, в спектре которых также присутствуют указанные линии. В природных образцах линия при 5040 Å интенсивнее линии при 4970 Å, тогда как в облученных камнях интенсивность линии при 4970 Å равна или даже превышает интенсивность линии при 5040 Å (см. нижний спектр на рис. 10.10).

Различие между обработанными и природными «фантазийными» алмазами может заметить только специалист. Никаких конкретных правил предложить нельзя, поскольку каждый алмаз в какой-то степени индивидуален; можно только указать на главные линии, которые необходимо использовать в работе. Физики, применяя спектрофотометры и работая зачастую при очень низких температурах, усиливающих эффекты, могут выявить характерные различия в кривых поглощения обработанных и природных алмазов, особенно в областях, выходящих за пределы видимого спектра. Геммолог же должен сделать все, что он может, при использовании только простых приборов, но иногда ему удается наблюдать такие аспекты поведения алмаза, которые исчезают из поля зрения ученых.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ И ПОРОШКОВ

Общеизвестно, что большая часть алмазов, добываемых из кимберлитовых трубок или россыпей, непригодна для огранки. Средняя мировая годовая добыча алмазов достигает примерно 50 млн. каратов. Среди них «технические» алмазы составляют 77%, а из 17 млн. каратов, извлекаемых ежегодно из огромных россыпей Заира, 98% непригодны как ювелирные камни.

Цена низкосортных алмазов, естественно, меньше, чем ювелирных камней, но их общая стоимость довольно велика. При этом фирмы, занимающиеся продажей технических алмазов, должны постоянно следить за тем, чтобы не спутать их с возможными имитациями; при этом они могут обращаться за помощью в геммологические лаборатории. Литературу по этому вопросу найти трудно, и поэтому несколько замечаний, основанных на опыте автора, могут принести пользу тем, кто сталкивается с часто встречающимися проблемами в этой области.

При определении сырых алмазов необходимы только опытный глаз и лупа. Кристаллы алмаза имеют настолько характерные форму и блеск, что их можно узнать даже в том случае, если они непрозрачны или по своему внешнему виду совершенно непохожи на алмазы, как мы обычно их себе представляем. Когда возникают какие-либо сомнения, подспорьем для лабораторного работника может служить их уникальная твердость и не менее уникальная прозрачность для рентгеновских лучей.

**Алмазные абразивные порошки.** Исходя из опыта работы Лондонской диагностической лаборатории, фирмы, занимающиеся продажей технических алмазов, чаще всего обращаются за помощью для определения чистоты и иногда размера зерна алмазных порошков, которые используются в промышленности в огромных количествах при шлифовке, полировке и доводке металлов. Если характеристики порошков в какой-то степени фальсифицированы, эффективность порошков может быть заметно ниже указанной; то

же справедливо и в отношении размера зерна, причем в последнем случае при доводке или полировке детали могут быть испорчены.

Для надежного определения необходима навеска порошка в количестве не менее 1 карата, причем неиспользованный порошок, конечно, может быть возвращен. При массовых анализах удовлетворительные результаты дает следующий порядок работы:

1. Для предварительного изучения на чистое предметное стекло микроскопа помещают очень небольшое количество порошка. Последний кончиком пальца распределяют таким образом, чтобы были видны отдельные зерна. Затем порошок исследуют под микроскопом при увеличении  $50\times$ . Если частицы не слишком малы, они отчетливо наблюдаются при этом увеличении в виде отдельных зерен. Порошки, полученные при дроблении алмазного борта, дают очень характерные угловатые прозрачные и ограниченные плоскостями спайности зерна. Зерна порошков синтетического алмаза, как правило, имеют кристаллическую форму, темнее по цвету, менее прозрачны и обычно обладают магнитными свойствами, выявляемыми при приближении небольшого мощного магнита.

2. Если вид порошка под микроскопом кажется удовлетворительным, порцию порошка весом около 0,5 карата рассыпают ровным слоем на дне фарфоровой лодочки (длиной 60 мм, шириной 12 мм), которую перед этим тщательно взвешивают. Затем лодочку вновь взвешивают, чтобы определить вес порошка. После этого ее помещают в небольшую муфельную печь и нагревают по крайней мере до  $900^{\circ}\text{C}$  в течение нескольких часов. Полноту сгорания частиц алмаза обычно можно оценить визуально, открыв дверцы муфеля, еще нагретого до рабочей температуры. Чем крупнее зерно порошка, тем меньше скорость его сгорания.

3. После охлаждения печи до комнатной температуры лодочку осторожно вынимают из нее щипцами и взвешивают. В случае чистого алмазного порошка потеря веса теоретически должна быть 100%-ной, однако в действительности сохраняется небольшой остаток—1—2% от исходного веса—за счет примесей, присутствующих в борте, используемом для дробления. В том случае, когда получают большой остаток, необходимо провести повторный опыт для подтверждения количества обнаруженной примеси. Если можно, следует проводить одновременное сжигание двух навесок одного и того же порошка.

**Распространенные примеси.** Обычно, когда фирма, передавшая порошок алмаза на определение чистоты, узнает, что он серьезно загрязнен, она возвращает алмазы изготовителю, не интересуясь составом примеси или примесей. И хотя едва ли геммолог захочет принять на себя функцию химика-аналитика, природное любопытство может подтолкнуть его к дальнейшим исследованиям, если они могут быть выполнены без особых хлопот и затрат времени.

Из большого числа примесей, обнаруженных в Лондонской лаборатории, некоторые (сульфат бария, измельченное стекло и кварц) определенно были добавлены с целью обмана. В других случаях примеси появились в результате попытки использовать образовавшийся при огранке алмазов алмазный порошок, из которого частицы железа были удалены недостаточно полно. Часто встречается примесь карбида кремния (карборунд). Последний легко узнать под микроскопом по голубовато-зеленому цвету, а при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом — по оранжевой флюоресценции.

**Определение размера частиц.** Размер частиц алмазных абразивных порошков, очевидно, зависит от специальных целей, для которых они предназначены, точно так же, как для шлифовки и полировки выбирают наждачную бумагу с абразивными частицами разных размеров. Изготовители могут получать удивительно однородное по размеру зерно различными методами — просеиванием, отмучиванием, отбором или центрифугированием, что подтверждается изучением тонкого слоя порошка под микроскопом. Плохие порошки обычно неоднородны по размеру частиц.

Иногда крупным фирмам предлагают импортировать из-за рубежа крупные партии алмазного порошка по весьма умеренным ценам. В этом случае перед их приобретением целесообразно определить в лаборатории не только чистоту, но и размер зерна и его однородность. В Лондонской лаборатории была разработана простая методика проверки алмазного порошка: среднего по размеру зерен и очень тонкого. Это осуществляют путем диспергирования небольшой порции порошка в масле и последующего измерения максимального размера частиц с помощью микрометрического окуляра с объективом со средним увеличением. Для таких измерений пригоден любой стандартный микроскоп. В очень тонких порошках отдельные частицы субмикронных размеров трудно разглядеть, если не пользоваться очень большими увеличениями. Поэтому перед оценкой чистоты таких порошков методом сжигания рекомендуется убедиться, что это действительно алмаз, путем рентгенографического изучения материала, поскольку не только алмаз, но и любое органическое вещество в печи при температуре 900 °С будет сгорать без остатка.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РУБИНА

После алмаза наиболее важными драгоценными камнями с коммерческой точки зрения являются рубин и сапфир, которые, несмотря на их различный вид, представляют собой разновидности одного и того же минерала корунда. На рис. 11.1 показаны кристаллы рубина и сапфира. Рассмотрим сначала рубин. Какими же простыми методами можно его определить, каким испытаниям его следует подвергать, чтобы отличить от других в той или иной степени похожих на него камней?

Минерал корунд является кристаллической окисью алюминия ( $Al_2O_3$ ) и в совершенно чистом виде абсолютно бесцветен. Густой красный цвет рубина обусловлен главным образом небольшими добавками окиси хрома, замещающей часть окиси алюминия без нарушения гексагональной кристаллической структуры. Источником самых лучших в мире рубинов всегда был и остается район Могока в Бирме, где встречается много других интересных камней. Сиамские рубины из-за присутствия в них следов железа менее красивы, напоминают гранат и не пользуются на рынке большим спросом. Цейлонские рубины зачастую имеют скорее розовую, чем красную окраску. Тем не менее в двух последних районах иногда встречаются рубины высокого качества, достоинства которых заслужили высокой оценки вопреки порочной практике, сложившейся в торговле, когда цена камня определяется не его качеством, а лишь принадлежностью к определенному месторождению.

Сравнительно недавно в Танзании (Восточная Африка) было найдено месторождение рубинов, на котором большие прозрачные и плохо образованные кристаллы встречаются на небольшой глубине вместе с гранатами, внешне очень на них похожими. Африканские рубины имеют очень приятный цвет, хотя оттенок его не такой богатый, как у рубинов из месторождений Востока, поскольку он обусловлен не только хромом, но и железом. Новое месторождение поставляет в настоящее время на рынок крупные рубины по умеренной цене, в то время как хорошие крупные камни из классических месторождений сейчас настолько редки, что из-за высокой стоимости доступны лишь немногим.

В Танзании имеется и другое месторождение рубина, где минерал встречается в виде хорошо образованных гексагональных, часто крупных кристаллов в ассоциации с ярко-зеленым цоизитом и темным амфиболом. Однако эти кристаллы большей частью не-

прозрачны и цвет их не очень приятный. Некоторые из них, обработанные в форме кабошона, обнаруживают грубый астеризм. Иногда в непрозрачных кристаллах встречаются прозрачные слои, из которых путем огранки получают небольшие камни, напоминающие очень богатые хромом, густо окрашенные бирманские рубины.

В последние годы были открыты (и добываются) кенийские и пакистанские довольно хорошие рубины. Однако трудности поли-

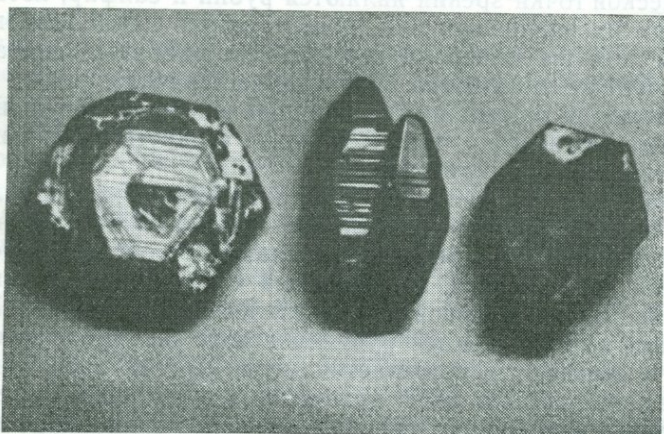


РИС. 11.1. Кристаллы сапфира и рубина (сапфир, показанный слева, отполирован для выявления гексагональной зональности).

тического характера препятствуют регулярному поступлению этих камней на главные мировые рынки. Торговые фирмы весьма консервативны и предпочитают иметь дело с камнями из известных месторождений, уже заслуживших хорошую репутацию. Лучшие образцы рубина из Кении приближаются по цвету к густым кроваво-красным камням, которыми так славится Бирма, причем иногда наблюдается «потокоподобное» распределение окраски, которое всегда считалось отличительным признаком бирманских рубинов. Большинство пакистанских камней имеет большое количество включений, и цвет их не столь сочный. Очевидно, они содержат очень немного железа, вследствие чего камни отчетливо фосфоресцируют после облучения рентгеновскими лучами, что должно насторожить тех, кто всегда рассматривал это свойство как диагностический признак синтетических рубинов, полученных методом Вернейля.

Усредненный бирманский рубин обладает следующими свойствами: твердость 9, показатели преломления 1,765 и 1,773, двупреломление 0,008, удельный вес от 3,99 до 4,00, дихроизм достаточ-

но сильный, причем наблюдается бледная желтовато-красная и темно-красная (карминовая) окраски, спектр поглощения очень характерен, в особенности из-за присутствия узкой светлой линии (дублета) в дальней красной части спектра, а также узких темных линий в синей части, заметных при ярком освещении камня. Первая линия обусловлена ярко-красной флюоресценцией рубина. Синтетический рубин имеет близкие свойства, но тем не менее его можно отличить от природного рубина (см. ниже).

Кроме синтетического рубина на природный рубин похожи **шпинель, гранат, турмалин, пасты и дублеты**. Тщательное измерение показателя преломления на рефрактометре в натриевом свете или при хорошем красном фильтре дает однозначный результат, поскольку единственным красным камнем с такими же показателями преломления является гранат. При этом только изотропный пироп с показателем преломления от 1,74 до 1,75 приближается по цвету к лучшим рубинам; другие гранаты альмандин-пиропового ряда, имеющие более высокие показатели преломления, иногда похожи по цвету только на сиамские рубины. Пожалуй, простейшим приемом определения рубина, хотя и не совсем надежным, является изучение дихроизма, причем необходимо помнить, что для получения максимального эффекта важно наклонять камень в разные стороны и осматривать его под разными углами. У шпинели, граната, пасты или обычного дублета дихроизм отсутствует. Единственный, кроме рубина, дихроичный красный камень — рубеллит, представляющий собой разновидность турмалина, но он крайне редко имеет такой же красный оттенок, как и корунд. Дихроичные цвета красного турмалина — розовый и темно-красный — похожи на цвета, наблюдаемые в бирманском (и синтетическом) рубине.

Другой простой метод, позволяющий отличить рубин, заключается в изучении его вида через фильтр Челси. При наблюдении ярко освещенного рубина через такой фильтр камень выглядит ярко-красным, что в сочетании с дихроизмом может служить доказательством его природного происхождения.

Рубин при облучении его ультрафиолетовым светом дает замечательную красную флюоресценцию, однако зеленый, синий или фиолетовый свет возбуждает в рубине такую же флюоресценцию, а следовательно, и появление светлого флюоресцентного дублета в спектре камня. Замечательная картина флюоресценции рубина и синтетического рубина наблюдается при изучении образца между «скрещенными фильтрами», когда камень освещается интенсивным синим светом, проходящим через колбу с насыщенным раствором медного купороса, а наблюдение ведется через красный желатиновый фильтр. Через этот фильтр синие лучи не могут пройти в отличие от красных лучей, испускаемых при флюоресценции рубина. В результате этого камень выглядит как раскаленный уголь на абсолютно черном фоне. Картина эта настолько красива,

что автор не перестает восхищаться ею даже после многих лет наблюдений. Аналогичную ярко-красную флюоресценцию при тех же условиях дает красная шпинель, поэтому ее невозможно отличить от рубина невооруженным глазом. Однако это позволяет надежно сделать спектроскоп: у рубина спектр флюоресценции состоит из интенсивного дублета при 6942 и 6928 Å, который в маленьком ручном спектроскопе выглядит как одна линия; в спектре шпинели наблюдается целая группа светлых, похожих на трубы органа линий с двумя наиболее интенсивными полосами в центре группы. Такой спектр флюоресценции является очень чувствительным индикатором шпинели. Ни один другой красный камень, будь то гранат, циркон или турмалин, а также ни одно из красных стекол или дублетов не имеют красной флюоресценции.

Присутствие железа гасит флюоресценцию, и по этой причине красное свечение сиамских рубинов в целом менее интенсивное, чем свечение рубинов из Бирмы. В то же время, и это мало кому известно, слишком высокое содержание в рубине хрома также снижает интенсивность флюоресценции камня. (Это относится к некоторым бирманским рубинам: по этой причине их часто ошибочно принимают за сиамские.)

У некоторых, хотя и не у всех, крупных восточноафриканских рубинов флюоресценция очень тусклая и спектр поглощения имеет очень слабо выраженные линии хрома. Вероятно, у этих камней железо играет не меньшую роль, чем хром, в создании довольно приглушенного красного цвета.

Убедившись, что определяемый камень представляет собой рубин, мы должны ответить еще на один важный вопрос: является ли он природным или синтетическим камнем, поскольку, как уже было сказано выше, по своим физическим свойствам они практически одинаковы? В целом проблема отличия природных рубинов и сапфиров от их синтетических аналогов, получаемых методом Вернейля, уже обсуждалась в гл. 7, однако постоянно возникающие у ювелиров трудности заставляют здесь несколько дополнительных указаний, касающихся этой проблемы.

Прежде всего необходимо помнить, что чистые густо окрашенные крупные рубины в природе встречаются чрезвычайно редко. Уже один этот факт должен ставить под сомнение природное происхождение крупного чистого образца.

В большинстве случаев опытному эксперту достаточно просто посмотреть на камень, чтобы убедиться, что он является синтетическим. Это обусловлено отчасти тем, что имеется небольшое, но заметное отличие в характере и пропорциях окрашивающих окислов, содержащихся в камне, но в основном, пожалуй, тем, что синтетический рубин редко гранят таким образом, чтобы выявить наилучший цвет (т. е. максимально использовать возможности окраски). Наилучший цвет в рубине виден в направлении, перпендикулярном базальной плоскости кристалла, которое является на-

правлением его оптической оси, т. е. направлением с единственным показателем преломления, в котором не проявляется дихроизм. Поэтому у камня, правильно ориентированного при огранке, *дихроизма нет*, что видно при исследовании его с помощью дихроскопа непосредственно через площадку. Синтетический камень ориентируют при огранке практически всегда произвольно, исходя

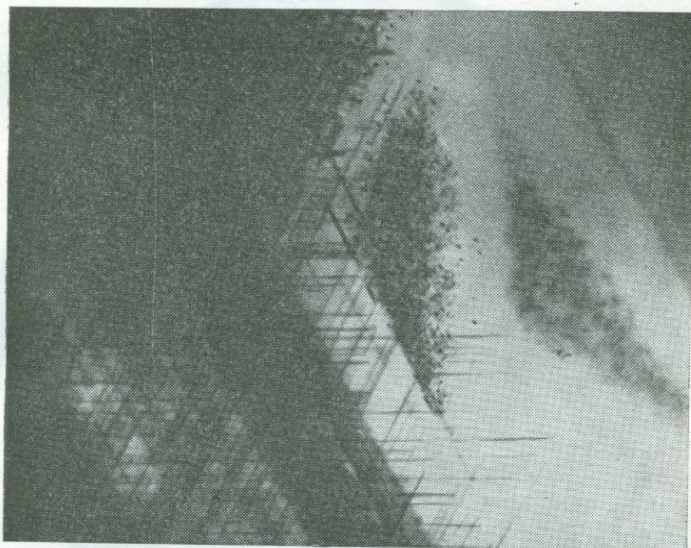


РИС. 11.2. Шелк (иглы рутила) в бирманском рубине.

из формы були, вследствие чего яркий пурпурно-красный цвет обыкновенного луча разбавляется неприятным желтовато-красным цветом необыкновенного луча. Оба оттенка легко наблюдаются в дихроскопе, когда камень исследуют через площадку.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что природный рубин практически никогда не бывает совершенно «чистым». Он почти всегда содержит включения небольших кристаллов других минералов в виде бледных угловатых зерен, пустоты неправильной формы, часто значительных размеров, а также местами тонкие пересекающиеся каналы или тонкие красноватые иглы рутила, придающие камню в отраженном свете шелковистость и известные под названием «шелк» (рис. 11.2). Если с помощью лупы удается обнаружить такие включения, то с полной уверенностью можно считать, что мы имеем дело с природным камнем. Типичные включения в бирманском рубине показаны на рис. 11.3 и фото 2. Необходимо, однако, быть внимательным, чтобы не принять за кристаллические включения сферические или удлиненные *газовые пузырь-*

ки, которые служат хаарктерным признаком синтетических камней (см. рис. 7.11). В бирманском рубине эти пузырьки редко достигают размеров кристаллических включений и при увеличении, которое дает лупа, обычно выглядят как небольшие облака пылеоб-



РИС. 11.3. Шелк циркона и другие включения в бирманском рубине.

разных частиц. Иногда плотные облака микроскопических пузырьков могут давать молочный отсвет, не похожий на «шелк» в природных камнях.

Распределение цвета в камне также является характерным признаком (см. фото 3). Любопытное свойство природных бирманских рубинов — присутствие в них пятен более темного цвета в виде свилей, напоминающих по форме потоки сахарного сиропа в воде. Даже намек на эту особенность может служить гарантией природного происхождения камня. Сходный эффект иногда обнаруживают некоторые другие камни, окрашенные хромом, например красная шпинель, пироп и изумруд. В синтетическом рубине, если его изучают в надлежащем положении под лупой или микро-

скопом, всегда видны близко расположенные *изогнутые* линии, которые представляют собой последовательные слои роста були. Все эти особенности могут быть легко и надежно определены с помощью даже самого простого микроскопа, который, кроме того, открывает наблюдателю новый интересный и красивый мир, поскольку включения в большинстве камней, особенно в рубине,

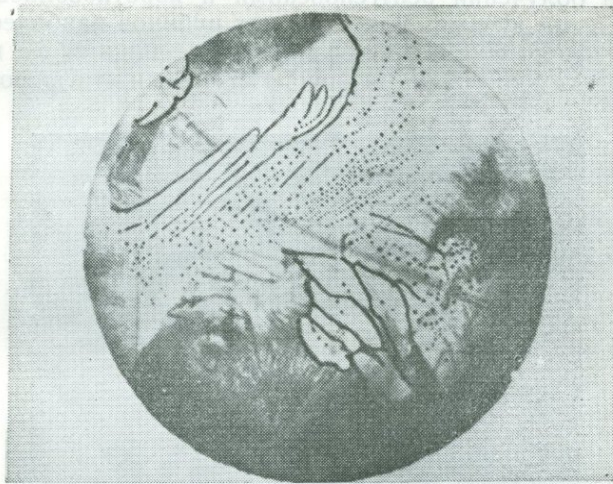


РИС. 11.4. Характерные группы пузырьков и заполненные газом каналы в синтетическом рубине.

действительно чрезвычайно интересны и достойны удивления. Большую помощь при изучении включений в камне может оказать погружение образца в кювету с прозрачным дном, наполненную жидкостью с высоким показателем преломления, например монобромнафталином. Если исследуется синтетический камень, не имеющий пузырьков, необходимо искать изогнутые линии роста. Для этого в ряде случаев камень должен быть извлечен из оправы для осмотра его под разными углами для обнаружения линий, которые обычно более заметны, когда освещение не слишком яркое; при этом зеркало микроскопа отклонено в сторону, а конденсор опущен.

В довернейлевой синтетике, которая до сих пор еще встречается в старых ювелирных изделиях, изогнутые линии роста намного более резкие и не обязательно строго параллельны. На рис. 11.5 показаны линии роста в небольшом синтетическом рубине весом 0,1 карата. Для сравнения на рис. 11.6 показан небольшой бирманский рубин, в котором видны не только сравнительно крупные кристаллические включения, но и *прямые* линии, параллельные гексагональному контуру природного кристалла. Иногда

в камне присутствуют очень мелкие включения, которые неопытный человек легко может принять за пузырьки. Поэтому во всех сложных случаях целесообразно направить камень на исследование в лабораторию.

Среди сиамских рубинов иногда встречаются очень чистые камни, однако в этом случае весьма характерно отсутствие флюоресценции при облучении рентгеновскими и коротковолновыми ультрафиолетовыми лучами. Для сиамских рубинов наиболее типичны круглые и непрозрачные включения с отходящими от них грубо концентрическими трещинами (рис. 11.7). Если эти включения ма-

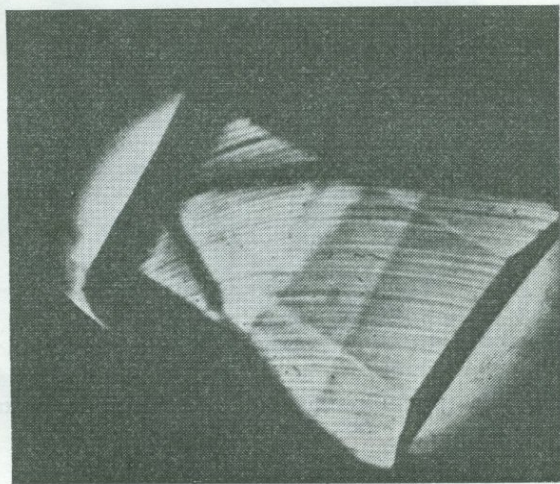


РИС. 11.5. Изогнутые линии в небольшом образце синтетического рубина.

лы, их можно принять за пузырьки, наблюдающиеся в синтетических камнях. Поэтому при осмотре нужно быть очень внимательным. Другая особенность сиамских рубинов — присутствие плоскостей двойникования, которые иногда пересекаются, как это показано на рис. 11.8.

Мы обобщили здесь вкратце результаты блестящего исследования доктора Э. Гюбелина, посвященного изучению природы круглых темных включений, столь типичных для сиамских рубинов. Их идентификация была осуществлена с помощью микросондового анализатора; определялись зерна минерала, которые обнажались на поверхности камня при постепенном сошлифовывании его поверхности. Некоторые из них, имевшие гексагональные очертания и металлический блеск в отраженном свете, оказались пиротином, который иногда называют «магнитным пиритом». Кроме того, присутствовали включения алмандина и желтые гексаго-

нальные кристаллы апатита. Полагают, что эти включения имеют первичное происхождение. Они образовались в процессе роста кристалла, захватившего примесь.

Лаборатории располагают и другими методами исследования, которые в случае необходимости могут быть применены. Так, например, под рентгеновскими лучами как природный, так и синте-

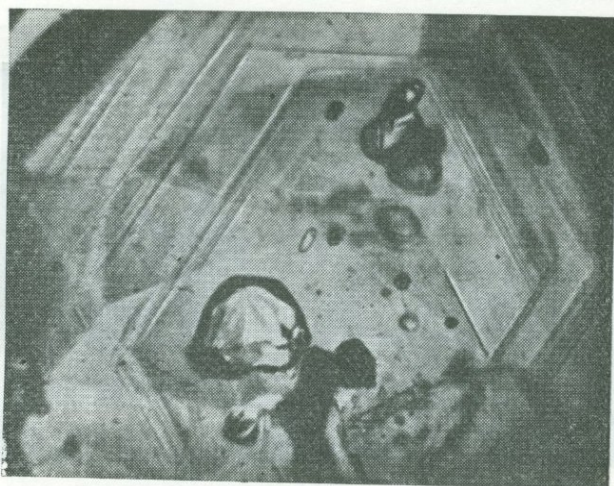


РИС. 11.6. Включения кристаллов и зональность в бирманском рубине.

тический рубины ярко флюоресцируют красным светом. Аналогичный эффект наблюдается и под ультрафиолетовым светом или между скрещенными фильтрами. Однако после прекращения облучения между синтетическим и природным камнями наблюдается заметное различие. Почти все природные камни немедленно и полностью прекращают свечение, тогда как синтетические рубины дают устойчивое послесвечение, или фосфоресценцию. Чтобы заметить этот эффект, необходимо работать в темноте и наблюдать камень глазами, адаптированными к ней. Необходимо предупредить тех, кто намерен использовать этот метод, что в некоторых природных рубинах также может наблюдаться фосфоресценция, но очень короткая. Так, она была обнаружена у некоторых низкосортных пакистанских рубинов, а также у некоторых бирманских камней с низким содержанием железа. У сямских рубинов при облучении рентгеновскими лучами такой эффект отсутствует.

При облучении коротковолновым ультрафиолетовым светом синтетические рубины дают более яркую флюоресценцию, чем природные, и хотя на этот метод не следует полностью полагаться, с его помощью среди большой партии мелких рубинов или в юве-

лирных украшениях можно выявить те камни, на которые необходимо обратить особое внимание при дальнейшей диагностике.

В гл. 7 уже упоминалось о большей прозрачности синтетических рубинов по сравнению с природными в коротковолновом ультрафиолетовом свете. Это свойство можно использовать в качестве хорошего диагностического признака в тех случаях, когда после изучения камня под микроскопом все же остаются некоторые сомнения.



РИС. 11.7. Наиболее характерные включения в сиамском рубине: непрозрачные кристаллы, окруженные заполненными жидкостью трещинами.

Все, что до сих пор говорилось о синтетических рубинах, относится к камням, получаемым методом Вернейля, который вот уже более 75 лет применяется на заводах нескольких крупных фирм. Однако хотя 99% синтетических рубинов, используемых в ювелирном деле, в настоящее время все еще производится этим недорогим методом, расширяющийся круг изготовителей синтетических кристаллов достиг успеха в производстве синтетических рубинов другими методами, с помощью которых получают камни, не имеющие общеизвестных особенностей, характерных для вернейлевских рубинов, и, следовательно, более трудные для определения. Большинство таких камней получают методом выращивания из раствора в расплаве, и поэтому они содержат жидкие включения типа вуалей, с которыми мы уже встречались в синтетических изумрудах, выращиваемых Чэтемом и Жильсоном. Чэтем часто использует в качестве затравок природные бирманские рубины, которые, конечно, имеют все признаки этих хорошо известных камней. Граница между затравкой и выращенным материалом будет лучше всего заметна при темнопольном освещении под микроскопом. Кэрролл Чэтем занят сейчас главным образом про-

извоздством друз кристаллов рубина и сапфира, а наиболее трудные для определения отдельные кристаллы синтетических рубинов производятся Лабораторией Кэшана в Техасе (США). Типичная особенность этих камней — присутствие маленьких полосок флюса, расположенных параллельно и похожих на длинные узкие следы мокасин (см. рис. 7.12). Геммологи, однако, теперь стали достаточно квалифицированными, чтобы успешно решать трудные

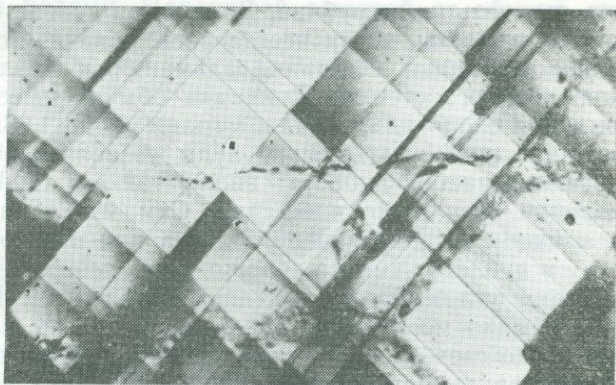


РИС. 11.8. Плоскости двойникования в сиаемском рубине.

задачи по распознаванию природных и синтетических камней. Всегда надо помнить, что ни в одном синтетическом камне нельзя встретить включения «посторонних» минералов, т. е. минералов, содержащих элементы, не входящие в состав основного минерала.

Единственным природным камнем, напоминающим бирманский рубин по цвету, является красная **шпинель**, которая встречается в том же районе. Ее цвет также обусловлен примесью хрома, однако оттенок шпинели скорее кирпичный или оранжево-красный, чем рубиново-красный. Уверенно отличить шпинель от рубина можно по отсутствию дихроизма и двупреломления у шпинели, ее показателю преломления (1,72), характерному спектру поглощения и по включениям. Под микроскопом рубины отчетливо отличаются от шпинели по своему цвету. Кроме того, у рубинов наблюдается очень сильный дихроизм, когда камни переворачивают пинцетом.

Красные **гранаты**, кроме некоторых пиропов, по цвету ближе всего стоят к сиаемскому рубину и дают очень характерный спектр поглощения с тремя широкими полосами в желтой, зеленой и синей частях спектра. Этот признак наряду с другими обеспечивает их быстрое и надежное определение. Турмалин, единственный природный камень, который следует обсудить в этой связи, обладает значительно более низкими показателями преломления (1,62 и

1,64), чем у рубина, и большим двупреломлением, причем сильное двупреломление позволяет опытному геммологу увидеть раздвоенные ребер задних граней камня при наблюдении их через площадку с помощью лупы (см. гл. 21).

Имитации из красного стекла, обычно окрашенного селеном, после появления синтетического рубина используются реже. Более низкий показатель преломления (обычно около 1,68), изотропность, отсутствие дихроизма и невысокая твердость — все это дает возможность отличить их от рубина. До сих пор иногда еще встречаются **красные дублеты**, почти всегда состоящие из тонкой, служащей гранью площадки пластинки альмандина, наклеенной на основание из красного стекла. Площадка обычно имеет показатель преломления около 1,79, а задние грани около 1,63. Тщательное исследование камня с помощью лупы позволяет обнаружить место соединения частей дублета: видна тонкая линия, пересекающая коронку чуть ниже площадки. Сама эта линия иногда незаметна, однако резкое изменение блеска при переходе от граната к стеклу в дублете заметно хорошо, если смотреть на камень под надлежащим углом. Хотя пластинка граната очень тонка, в спектрокопе обычно могут быть определены полосы поглощения альмандина, когда свет проходит через камень. Выявить подделку не представляет труда, если погруженный в жидкость камень рассматривать сбоку на белом фоне. Лучше всего пользоваться жидкостью с высоким показателем преломления, например монобромнафталином, но даже вода, наполняющая подставку для яиц, может очень хорошо служить для этой цели. Под микроскопом в дублете, если на него смотреть через площадку, в слое альмандина могут быть видны игольчатые кристаллические включения, а за ними могут располагаться пузырьки воздуха как в слое клея, соединяющего части дублета, так и в стеклянной подложке.

Большую опасность представляют остроумные дублеты современного производства, описанные в гл. 7. В таких дублетах тонкую пластинку низкокачественного природного австралийского сапфира приклеивают к основанию из синтетического рубина или

Таблица 11.1  
КОНСТАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАСНЫХ КАМНЕЙ

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Показатели преломления	Двупреломление	Плеохроизм
Рубин	9	3,99	1,76—1,77	0,008	Сильный
Циркон	7,5	4,69	1,92—1,98	0,059	Слабый
Альмандин	7,5	3,9—4,2	1,76—1,81	Нет	Нет
Пироп	7,25	3,7—3,9	1,74—1,76	Нет	Нет
Шпинель	8	3,60	1,72	Нет	Нет
Топаз	8	3,53	1,63—1,64	0,008	Заметный
Турмалин	7	3,04	2,62—1,64	0,018	Сильный

сапфира и затем гранят таким образом, что линия соединения проходит точно по рундисту готового камня. Когда такой дублет закреплен в оправе, он выглядит как настоящий природный камень, поскольку «вульгарность» цвета верхнейлевского синтетического рубина смягчается при прохождении света через сапфировую коронку, которая имеет «шелк» и другие природные включения, характерные для корунда. Известны случаи удачного обмана с использованием таких дублетов, специально изготовленных с мошенническими целями. Наилучшей защитой от обмана является постоянная бдительность. Если возникло подозрение, необходимо проверить камень по ряду параметров (например, определить наличие красной флюоресценции у основания таких составных камней при их облучении ультрафиолетовым светом) и полученные данные использовать в качестве доказательств.

В табл. 11.1 представлен список красных камней, которые по внешнему виду похожи на рубин, а также их наиболее важные физические и оптические свойства, которые позволяют отличать их друг от друга.

**Циркон** включен в список для полноты, хотя красный циркон по оттенку не похож на рубин. Приведен в списке и **топаз**, так как этот камень с густой розовой окраской может быть принят за бледный цейлонский рубин, известный как «розовый сапфир». **Альмандин** может быть ошибочно принят только за сиамский рубин. Хотя дихроизм последнего иногда достаточно слабо выражен, отличить этот рубин от альмандина не составляет труда, если тщательно измерить показатель преломления в свете натриевой лампы. У рубина в этом случае будет отчетливо видно двупреломление. Гранат также легко можно узнать по его спектру поглощения.

## САПФИР

Наиболее удачной имитацией природного сапфира является его синтетический аналог. Ниже будут описаны методы, позволяющие различать природные и искусственные камни, хотя в целом синтетические материалы рассмотрены в гл. 7. Как имитация сапфира должна также рассматриваться синтетическая шпинель, окрашенная кобальтом. Изредка можно встретить имитации сапфира из стекла, но они, как правило, уступают синтетическим камням. Старомодный дублет с гранатовой табличкой, наклеенной на синее стекло, встречается редко, однако в последние годы появилось много более эффектных дублетов, в которых коронка из природного австралийского сапфира приклеивается к основанию из синтетического синего сапфира. Более подробные сведения о таких дублетах приводятся в конце этой главы.

Среди природных синих камней синяя шпинель и синий турмалин встречаются относительно редко, однако высококачественные образцы этих минералов могут быть ошибочно приняты за сапфир, хотя синий цвет шпинели имеет сероватый оттенок, а у индиголита (синий турмалин) цвет, как правило, глубокий индиговосиний с зеленоватым оттенком. Больше похожи на сапфир по цвету такие редкие драгоценные камни, как кианит, бенитоит и иолит, но это коллекционные камни и для изготовления ювелирных изделий массового производства используются редко.

Значительно более важной, чем указанные камни, с точки зрения возможной имитации является прозрачная голубая разновидность **цоизита**, найденная сравнительно недавно (1967 г.) в Танзании. Поскольку характеристику этого камня можно найти только в последних публикациях, мы приведем здесь более подробное его описание, чем это принято в книгах, которые, как и наша, посвящены главным образом диагностике камней.

Большие прозрачные кристаллы этого нового и важного драгоценного камня добывали на месторождении в Мерлани-Хиллс, в 60 км к востоку от Аруши, в жиле графитовых сланцев, где он ассоциировался с кальцитом, серой, кварцем и яблочно-зеленым гроссуляром. Кристаллы различного цвета встречаются в пустотах. Наиболее распространенный цвет — коричневый различных оттенков, но попадаются и камни фиолетово-синего цвета. После огранки камни обычно нагревают до сравнительно низкой температуры, в результате чего они приобретают прекрасный синий цвет лучшего цейлонского сапфира. Название «танзанит» для обозна-

чения этих камней было предложено фирмой «Тиффани» и теперь принято повсеместно.

Природные синие кристаллы танзанита обладают сильным плеохроизмом: по  $n_p$  они красно-фиолетовые, по  $n_m$  — темно-синие и по  $n_g$  — желто-зеленые. После нагревания характер плеохроизма несколько изменяется: по  $n_p$  они становятся фиолетово-красными, а по  $n_m$  и  $n_g$  — темно-синими. Необходимо помнить, что танзанит очень легко повреждается при ультразвуковой чистке.

Удельный вес минерала очень стабилен и равен 3,355, показатели преломления равны 1,692 и 1,701 для минимального и максимального показателей соответственно и 1,694 для промежуточного показателя. Двупреломление 0,009, твердость 6,5—7 по шкале Мооса (довольно низкая для использования камня в кольцах), спайность отсутствует, поэтому огранка не доставляет особых затруднений. По составу этот цоизит представляет собой силикат кальция и алюминия с 2% воды и 0,02% ванадия; последний, по видимому, и вызывает окраску. В спектре природных кристаллов наблюдаются три широкие полосы поглощения, которые, естественно, меняются по интенсивности в зависимости от направления наблюдения. Наиболее интенсивная линия отмечается при 5950 Å, две другие находятся в зеленой (5280 Å) и синей (4550 Å) частях спектра. В камнях, подвергшихся термической обработке, даже полоса при 5950 Å может быть слабой и непригодной для идентификации камня.

Совсем недавно на мировом рынке появились очень красивые разновидности синих берилла и топаза, очень похожих по цвету на сапфир. Таким образом, цветовая гамма этих общеизвестных драгоценных камней расширилась, что значительно затрудняет определение сапфира только по внешнему виду. Как оказалось, эти синие бериллы, поступающие предположительно из провинции Гойазе в Бразилии, имеют особенности, которые ранее отмечались только у бериллов из месторождения Машише в шт. Минас-Жерайс в Бразилии, известных как бериллы типа «машише». Для таких бериллов характерна серия полос поглощения на красном конце спектра, из которых наиболее сильные располагаются при 6990 и 6550 Å (см. гл. 8), и аномальный дихроизм, выражающийся в том, что необыкновенный луч почти бесцветен, а обыкновенный имеет глубокий голубой цвет. Подобная картина противоположна той, которая наблюдается у аквамаринов. Как известно, старые камни «машише» теряют свой прекрасный голубой цвет после продолжительного пребывания на солнечном свете; то же самое, к сожалению, можно сказать и о камнях, которые недавно появились на рынке и благодаря своему прекрасному сапфировому цвету первоначально стоили очень дорого. Цвет в некоторых случаях, как оказалось, может быть восстановлен при облучении нейтронами, и нельзя исключить того, что все эти красивые камни перед продажей были облучены с целью улучшить их окраску.

Сапфировый оттенок вышеупомянутого голубого топаза более красив, чем бледно-голубой цвет природных топазов. Возможно, что такая окраска топазов получена в результате облучения радиоактивным кобальтом. Эти камни имеют показатели преломления 1,615—1,623 и удельный вес 3,56. Вместе с синими бериллами облученные топазы заметно расширили круг синих прозрачных камней, используемых в ювелирных украшениях. Следует отметить, что первые камни, найденные на месторождении Машише, имеют заметно более высокий удельный вес (2,80), чем обычные бериллы. Удельный вес находимых сейчас камней ближе к нормальным значениям.

С появлением новых разновидностей драгоценных камней, которые так сильно напоминают сапфиры, стало ясно, что первым шагом в определении синего камня, похожего на сапфир (если только предварительный осмотр с помощью лупы не выявил вполне определенно его природу), должно быть измерение его показателей преломления на обычном рефрактометре при использовании света натриевой лампы или хорошего цветного фильтра. Если показатели преломления имеют значения 1,76—1,77, то можно с уверенностью сказать, что это природный или синтетический сапфир.

Рассмотрим вначале природные камни. Синий цоизит можно определить лишь с помощью рефрактометра, правда, у кианита, который изредка встречается в виде прекрасных синих кристаллов, показатели преломления очень ненамного превышают цоизитовые. Но у кианита гораздо больше двупреломление (0,016), что может служить хорошим отличительным признаком. Очень хорошая спайность кианита затрудняет огранку и придает камню характерный вид. Его твердость сильно меняется (от 4 до 7) в зависимости от направления царапания, но в случае ограненных камней это свойство, естественно, не может быть использовано для диагностики.

Синяя шпинель дает один показатель преломления на рефрактометре (1,72), который заметно ниже показателя преломления синтетической шпинели (1,728). Однако следует помнить, что в природной шпинели почти всегда присутствуют цинк (замещающий магний) и железо, которое обуславливает окраску камня. Цинк может значительно повышать показатель преломления шпинели, иногда до 1,735. В некоторых ганошпинелях, как иногда называют богатые цинком разновидности, присутствует до 20% цинка, вследствие чего показатель преломления достигает значения 1,75, а удельный вес превышает 4,0. Для определения шпинели полезен ее спектр поглощения. Он имеет широкую полосу в синей части спектра при 4590 Å, которую следует отличать от узкой полосы при 4500 Å, характерной для спектра поглощения природного сапфира. К счастью, это не все: имеется также более узкая полоса в зеленой части спектра при 4800 Å и еще две полосы в зеленой (при 5550 Å) и желтой (при 5920 Å) частях спектра, которые

особенно отчетливы. Полоса в оранжевой части (при 6320 Å) придает спектру шпинели еще более определенный вид. Такие же полосы наблюдаются в спектре лиловатых и коричневатых красных шпинелей, и это необходимо помнить.

**Синий турмалин**, иногда называемый индиголитом, имеет очень близкие показатели преломления — от 1,62 до 1,64, поэтому для идентификации камня его достаточно изучить с помощью рефрактометра. Дополнить картину может довольно узкая и нечеткая линия поглощения между зеленой и синей частями спектра при 4970 Å.

Очень красив **иолит**, хотя цвет его довольно тусклый и ему недостает блеска и богатства оттенков лучших сапфиров. Камень достаточно твердый и широко используется в недорогих украшениях. Показатели преломления иолита близки к показателям преломления кварца, однако внимательное наблюдение за изменением положения края затененной области при вращении камня показывает, что минерал является двуосным, а не одноосным, как кварц. Общеизвестен очень характерный плеохроизм иолита — в одном направлении он кажется фиолетовым, тогда как в другом выглядит бледным дымчато-желтым. Это свойство послужило основанием для возникновения одного из его названий — «дихроит». Другое название иолита — «кордиерит».

Последним из природных камней, похожих на сапфир, следует упомянуть **бенитоит**. Не будь он таким редким, его красота и твердость позволили бы ему занять более достойное место в ряду драгоценных камней. Бенитоит найден в Калифорнии в одном или двух месторождениях, где он встречается в небольших количествах в виде мелких камней. По этой причине бенитоит является скорее коллекционным, чем ювелирным камнем. Показатели преломления бенитоита близки к показателям преломления сапфира (см. приложение). Однако он имеет значительно большее двупреломление (0,047), что легко определяется на рефрактометре. Во время открытия этого минерала (1907 г.) рефрактометр еще не стал инструментом широкого пользования, и лишь благодаря сильному дихроизму камня возникло подозрение, что это не сапфир, за который его приняли сначала. Красоту бенитоиту кроме яркого синего цвета придает его высокая дисперсия, сравнимая с дисперсией алмаза, которая делает камень таким живым.

Обратимся теперь к другой насущной проблеме: как отличить природный сапфир от **синтетического сапфира**? Для этого используются те же общие методы, которые применяются при определении рубинов. По показателям преломления и удельному весу их нельзя различить; самым надежным средством является исследование внутренних особенностей камня. Для сапфира обычно достаточен простой осмотр невооруженным глазом, если камень погружен в жидкость, например монобромнафталин, и рассматривается на белом фоне. В подставке для яиц, наполненной водой,

можно наблюдать распределение окраски: в синтетическом сапфире всегда имеются изогнутые различно окрашенные полосы, тогда как в природных камнях полосы прямые и располагаются параллельно одной или нескольким граням гексагональной призмы первичного кристалла (рис. 12.1). Изогнутые полосы в синтетическом сапфире более заметны, чем в синтетическом рубине, поскольку

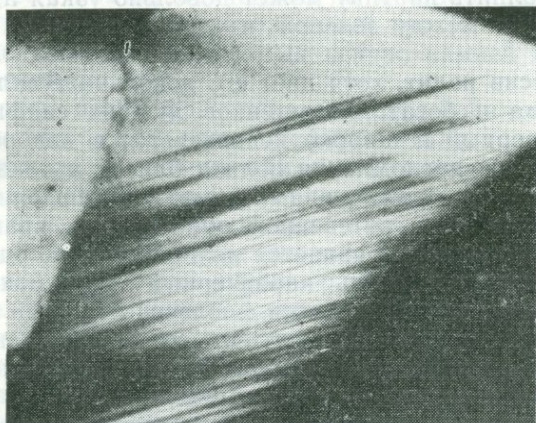


РИС. 12.1. Прямые окрашенные полосы в природном сапфире.

ку они у него шире (рис. 7.5); в рубине они располагаются близко друг от друга и их трудно различить невооруженным глазом. Газовые пузырьки, одиночные или собранные в группы, — характерный признак синтетических материалов, полученных методом Вернейля, и синтетический сапфир обычно содержит такие пузырьки (рис. 12.2).

Природные камни почти всегда обнаруживают следы медленной кристаллизации из химически сложных жидкостей. Растущий кристалл сапфира мог захватывать материнский раствор, который оставался в виде включения в кристалле как немой свидетель, помогающий в наших расследованиях. Включения в природных сапфирах несколько различны для разных месторождений. Так, типичные включения в цейлонских сапфирах состоят из слоев мелких кристаллов или жидких включений, которые отражают свет от одной плоскости, причем эти слои часто слегка изогнуты и похожи на отпечаток пальца (рис. 12.3). Другие характерные включения в цейлонских сапфирах представлены округлыми кристаллами циркона, имеющими высокий рельеф и окруженными гало, похожими на трещины (рис. 12.4). В цейлонских сапфирах нередко встречаются трехфазные включения, содержащие жидкость, подвижный газовый пузырек и кристалл гематита или другого минера-

ла. Характерен для них и «шелк» (рис. 12.6). Сиамские сапфиры напоминают сиамские рубины часто присутствующими в них округлыми непрозрачными кристаллами, окруженными дискообразными кружевными включениями. Эффектная молочность кашмирских сапфиров обусловлена мельчайшими жидкими включениями.

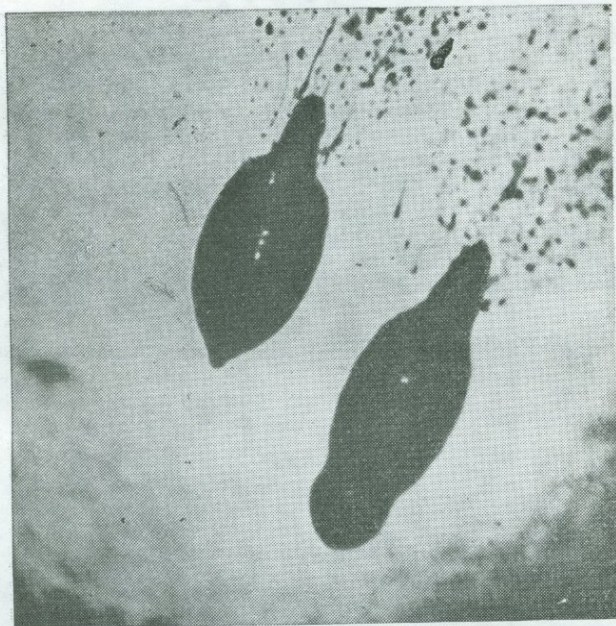


РИС. 12.2. Пузырьки в синтетическом сапфире.

Кроме того, они содержат типичные включения небольшого размера.

Одним из способов определения природы сапфира, у которого отсутствуют явные признаки определенной генетической принадлежности, является исследование камня в проходящем свете с помощью малого призмного спектроскопа. Как это сделать, чтобы добиться наилучших результатов, объяснено в гл. 8. Большинство природных сапфиров дает узкую полосу поглощения в дальней синей части спектра, а иногда группу из трех полос с наиболее интенсивной полосой при  $4500 \text{ \AA}$ . Если эта полоса видна, то камень несомненно относится к природным, поскольку синтетические камни подобных полос в спектре не имеют. У всех без исключения австралийских сапфиров интенсивны все три полосы, тогда как в спектрах сапфиров из Монтаны, Сиама, Кении, Кашмира и Бирмы интенсивность их снижается (в порядке перечисления местонахож-

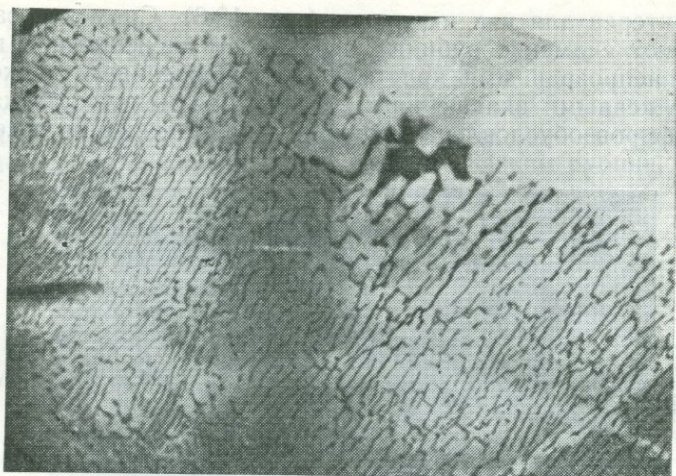


РИС. 12.3. Включения материнского раствора в цейлонском сапфире.



РИС. 12.4. Типичные включения циркона в цейлонском сапфире.

дений). У некоторых цейлонских камней практически не видна даже полоса при  $4500 \text{ \AA}$ , однако они часто содержат следы хрома и поэтому дают яркий красный дублет флюоресценции. (Нелишне будет отметить, что некоторые синтетические сапфиры также дают красную флюоресценцию.)

С помощью коротковолновой ультрафиолетовой лампы типа «Минералайт» можно различить природные и синтетические сапфиры, хотя, как и все другие испытания на флюоресценцию, этот метод должен применяться с осторожностью и полностью полагаться на него не следует. Титан, присутствующий в синтетических синих сапфирах, повышает беловатую и грязно-зеленую флюорес-

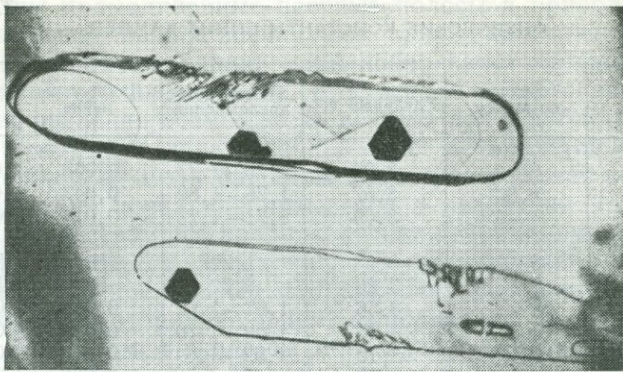


РИС. 12.5. Трехфазные включения в цейлонском сапфире.

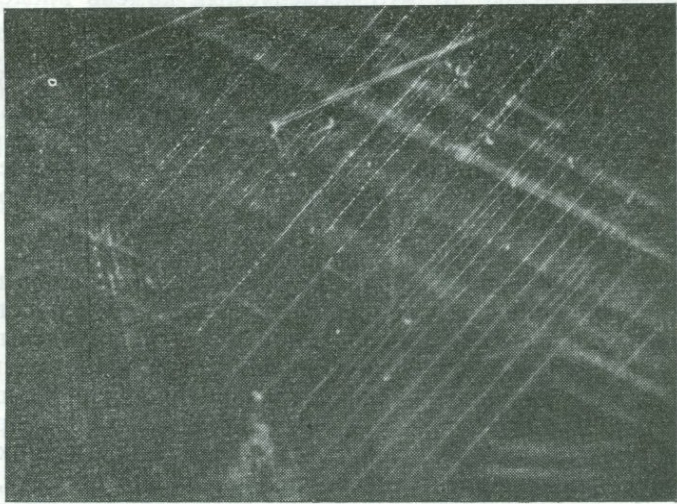


РИС. 12.6. Часто встречающиеся включения длинных «шелковинок» в цейлонском сапфире.

ценцию на поверхности; для наблюдения такой флуоресценции требуется почти полная темнота и адаптация глаз. Эффект наиболее заметен, если на освещаемый камень смотреть сбоку. Такой же эффект дают природные цейлонские сапфиры с очень низким содержанием железа, однако большинство природных камней инертно к коротковолновым ультрафиолетовым лучам. Если с помощью лупы наблюдать флуоресцирующие синтетические камни, часто на их поверхности можно заметить изогнутые линии роста (они видны более отчетливо, чем при обычном освещении). Это

## ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ СИНИХ КАМНЕЙ

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Показатели преломления	Двупреломление	Плеохроизм
Сапфир	9	3,99	1,76—1,77	0,008	Сильный
Бенитовит	6,5	3,67	1,75—1,80	0,047	Сильный
Кианит	4—6	3,69	1,71—1,73	0,016	Сильный
Синтетическая шпинель	8	3,63	1,727	Нет	Нет
Шпинель	8	3,60	1,72	Нет	Нет
Топаз	8	3,56	1,61—1,62	0,008	Средний
Цоизит	6,5	3,35	1,69—1,70	0,009	Сильный
Турмалин	7	3,10	1,62—1,64	0,020	Сильный
Берилл	7,5	2,70	1,57—1,58	0,006	Сильный
Иолит	7	2,59	1,53—1,54	0,009	Сильный

может означать только то, что исследуемый камень представляет собой синтетический сапфир. Как уже отмечалось в главе о рубине, использование коротковолнового ультрафиолетового излучения особенно полезно в тех случаях, когда в кольце или браслете среди природных камней, составляющих большинство, обнаружены под микроскопом один или два синтетических сапфира. Если эти сомнительные камни флюоресцируют, то это служит еще одним доказательством их природы; кроме того, это дает полную гарантию того, что в группе больше нет синтетических камней.

Кроме синтетического сапфира для имитации сапфира иногда используют **синтетическую шпинель**. Такую подделку обычно легко выявить путем простого осмотра, поскольку при искусственном или солнечном освещении наблюдаются красные рефлексии от некоторых задних граней благодаря значительной доле красной области в спектре кобальта — элемента, окрашивающего шпинель в синий цвет. Его присутствие в синтетических камнях приводит к тому, что под фильтром Челси такие камни выглядят ярко-красными. Аналогичный эффект наблюдается в **синих стеклах**, окрашенных кобальтом, и в **синих дублетах**, у которых площадка выполнена из граната, а все остальные грани — из окрашенного кобальтом стекла.

О новом типе сапфирового дублета, чрезвычайно похожего на настоящий камень и вызвавшего большое беспокойство у ювелиров, уже было упомянуто в начале этой главы. Для изготовления коронки ограненного камня в нем используется тонкая пластинка австралийского природного сапфира, обычно зеленовато-синего цвета, которая по плоскости рундиста приклеивается к основанию из синего синтетического сапфира.

Место соединения частей дублета часто совершенно незаметно, так что партии таких незакрепленных дублетов сначала принимали за природные камни без каких-либо сомнений. В коронке

камня видны прямолинейные цветные полосы и природные включения, создающие полное впечатление природного камня, а в спектрографе наблюдается характерный набор полос поглощения, подтверждающий это впечатление. Как всегда в тех случаях, когда существует реальная возможность встретиться с дублетами, прежде всего необходимо задать себе вопрос: не является ли данный камень составным? Если при этом оправа затрудняет наблюдение изогнутых линий роста или пузырьков в основании камня, хорошим доказательством его природы станет беловато-синяя или зеленоватая флюоресценция, возникающая при облучении синтетических камней коротковолновым ультрафиолетовым светом.

Некоторые имитации сапфира, выполненные из стекла, окрашены не кобальтом, а железом и т. п., поэтому они не выглядят красными под фильтром Челси. Синюю синтетическую шпинель легко отличить от сапфира по отсутствию дихроизма и только одному показателю преломления (1,127). Здесь, по-видимому, стоит предупредить читателя. Цейлонские сапфиры часто содержат следы окиси хрома и поэтому выглядят под фильтром красными. Эффекты, наблюдаемые под фильтром, никогда не следует принимать слепо, как окончательное доказательство природы рассматриваемого камня. Они должны рассматриваться только как один из важных диагностических признаков (более подробно этот вопрос рассмотрен в гл. 4).

В табл. 12.1 приведен ряд констант различных синих камней.

## ИЗУМРУД

Изумруд — разновидность берилла — наряду с рубином и сапфиром является одним из наиболее дорогих драгоценных камней. Так же как в случае рубина и сапфира, большая редкость и высокая стоимость изумруда стимулировали работы по изготовлению его искусственных заменителей. Точно так же как красный цвет рубина и синий цвет сапфира не имеют аналогов у остальных природных минералов, так и чистый изумрудно-зеленый цвет изумруда не встречается ни у одного другого прозрачного природного камня.

Берилл представляет собой силикат бериллия и алюминия. Цвет изумруда обусловлен присутствием ионов хрома, частично замещающих ионы алюминия в гексагональной решетке берилла. Особенность этого хромофора, который также придает красный цвет рубину и шпинели и создает изменчивую окраску александрита, состоит в том, что, даже окрашивая камень в зеленый цвет, он пропускает часть лучей темно-красного цвета. Кроме того, хром вызывает красную флюоресценцию, которую можно обнаружить у всех вышеуказанных камней, полученных искусственным путем. Именно поэтому большинство изумрудов выглядят красными или красноватыми, когда они ярко освещены и рассматриваются через фильтр Челси, пропускающий свет только в темно-красной и желто-зеленой частях спектра; последняя в изумруде частично поглощается. Большинство *имитаций изумруда из стекла* интенсивно поглощают красный свет и поэтому при наблюдении через фильтр выглядят зелеными. Так же ведет себя нагретый зеленый турмалин, внешне похожий на изумруд. Следовательно, вид сомнительного «изумруда» под фильтром может служить полезным признаком для определения камня. Однако такое испытание должно проводиться с большой осторожностью, поскольку имеются исключения из изложенного простого правила, согласно которому минерал, выглядящий красным при рассматривании его через фильтр, представляет собой природный изумруд, в то время как камни, остающиеся зелеными, не могут быть изумрудами. Так, синтетические изумруды также выглядят под фильтром ярко-красными; более того, окраска самых лучших колумбийских изумрудов лишь приближается к их рубиново-красному цвету, и это обстоятельство должно настораживать исследователя. Кроме того, известны природные зеленые камни, которые имеют под фильтром красноватый оттенок.

Присутствие хрома в изумруде обуславливает его очень характерный спектр поглощения, по которому можно отличить изумруд от всех других драгоценных камней. Изучение спектра полезно и в тех случаях, когда возникает сомнение, как назвать камень: изумрудом или же просто зеленым бериллом, поскольку известны зеленые бериллы, цвет которых обусловлен в основном железом.

В последние годы была выявлена большая роль ванадия в окраске некоторых ярко-зеленых камней, в частности турмалина, гроссуляра и берилла. В спектре поглощения ванадия отсутствуют четкие границы полос поглощения, флюоресцирующий дублет в красной части и дополнительные узкие линии, обусловленные следами хрома в минерале, однако максимумы поглощения ванадия и хрома лежат почти рядом (в оранжево-желтой части спектра при 6000 Å), а именно это является основной причиной окраски камня. В бериллах из наиболее известных месторождений изумрудов найдены следы обоих элементов, но хром особенно сильно влияет на окраску; его присутствие, легко устанавливаемое с помощью ручного спектроскопа, рассматривается как признак того, что камень может быть назван изумрудом. С этим положением согласны Геммологическая ассоциация Великобритании, Международная ассоциация геммологов, Секция драгоценных камней Лондонской торговой палаты и Номенклатурный комитет Международной конфедерации торговли ювелирными изделиями (CIBJO), которая контролирует ювелирную торговлю в Европе.

Спектр поглощения изумруда уже был описан в гл. 8. В спектре обыкновенного луча в дополнение к сильному дублету при 6830 и 6800 Å в темно-красной части имеется линия при 6370 Å почти равной интенсивности. В спектре необыкновенного луча видны две более слабые полосы — при 6620 и 6460 Å с узкой областью высокого пропускания за каждой из них, что приводит к любопытному и характерному эффекту. Среди камней, похожих по цвету на изумруд, только у зеленого жадеита и халцедона, окрашенного солями хрома, спектр поглощения подобен спектру изумруда. Однако ни у одного из них дублет в темно-красной части не проявляется так резко, как в спектре изумруда, причем эти минералы, будучи скрытокристаллическими, не обнаруживают никаких изменений спектра при вращении камня в поляризованном свете.

Что касается других отличительных свойств изумруда — его показателей преломления и удельного веса, то они заметно различны у камней из разных месторождений из-за небольших различий в химическом составе. Следы железа и особенно присутствие более тяжелых щелочных металлов, таких, как цезий, увеличивают эти показатели. Кроме того, для каждого месторождения обычно характерны определенные включения, и геммолог должен знать их, если он хочет научиться отличать природные камни от синтетических изумрудов.

Таблица 13.1

## ВКЛЮЧЕНИЯ И ДРУГИЕ ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИЗНАКИ ИЗУМРУДОВ

Источник	Показатель преломления	Удельный вес	Включения
Синтетические (Чэтем, Жильсон)	1,561—1,564	2,65	Иногда кристаллы фенакита, вуали из жидких включений
Жильсон, N	1,574—1,580	2,70	Не флюоресцирует; полоса поглощения при 4270 Å в фиолетовой части спектра
Синтетический типа Лехлейтнера, фирма «Эмерита»	1,573—1,578 1,566—1,571	2,68—2,80	Природные на задних гранях; трещины в поверхностном слое
Синтетический, фирма «Линде»	1,567—1,572	2,67	Чистый; интенсивная флюоресценция
Бом-Иесус	1,568—1,573	2,69	Чистый и довольно бледный
Чивор	1,572—1,577	2,69	Трехфазные пилообразные включения, кристаллы пирита
Мусо	1,576—1,582	2,71	Трехфазные включения, ромбы кальцита
Колумбия типа «трэпич»	1,576—1,582	2,73	Мутноватые, параллельная штриховка
Танзания	1,578—1,585	2,74	Слюда и заполненные жидкостью полости
СССР, Урал	1,581—1,588	2,74	Иглы актинолита; блестящие диски, параллельные базальной плоскости
Замбия	1,581—1,588	2,75	Пластинки слюды
Хабахталь	1,584—1,591	2,74	Зеленые иглы тремолита
Индия	1,585—1,592	2,74	Прямоугольные полости с пузырьком, параллельно оси <i>c</i>
Сандавана	1,586—1,593	2,75	Изогнутые иглы тремолита; очень глубокий цвет
Трансвааль	1,586—1,593	2,75	Зеленые пластинки фуксита
Пакистан	1,589—1,596	2,76	Многочисленные включения слюды

Удельный вес синтетического изумруда типа изумруда Лехлейтнера, описанного в гл. 7, для определения камня не имеет большого значения. Он меняется в зависимости от характера природного берилла, используемого для ограниченной затравки, на которую гидротермальным способом наращивается слой синтетического изумруда. Даже показатель преломления покрытия может меняться от образца к образцу.

Конечно, существуют небольшие изменения свойств и у камней с одного месторождения, и все же приведенные в табл. 13.1 значения могут быть полезны для определения камня.

Характеристики включений не так легко свести в таблицу, поэтому ниже вкратце даны более подробные описания самых типичных включений. Для колумбийских камней, которые, может быть, составляют по меньшей мере 90% лучших изумрудов, используемых в ювелирных изделиях, наиболее характерны плоские полости пилообразных очертаний, содержащие жидкость, пузырек газа и маленький кубик поваренной соли. Иногда эти трехфазные

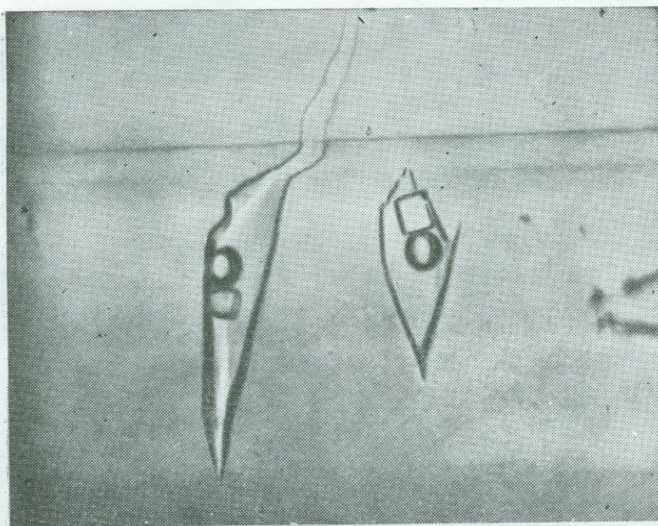


РИС. 13.1. Трехфазные включения в колумбийском изумруде.

включения имеют только один острый выступ. Кубик соли часто вытянут в одном направлении, давая в плане прямоугольник. Если же он виден под углом, то в этом случае появляются очертания ромба. Такие характерные включения чаще всего ориентированы параллельно главной оси исходного кристалла. Они присутствуют в изумрудах Чивора и Мусо (см. рис. 7.18 и 13.1). Лишь в чиворских изумрудах встречаются прекрасно образованные маленькие кристаллы пирита, которые можно узнать по металлическому бронзовому блеску и характерному габитусу. Изумруды из Мусо могут содержать ромбоздрические кристаллы кальцита и иногда мелкие розоватые включения редкоземельного минерала паризита, дающего сильный редкоземельный спектр поглощения. Уральские изумруды (а также сибирские, или русские, изумруды) имеют совершенно другое происхождение, что находит отражение в их включениях. В них могут присутствовать пластинки слюды, часто разрушенные или растворенные, однако наиболее характерны толстые иглы зеленого актинолита; поперечные трещинки де-

лают их похожими на бамбук (см. рис. 13.2). В других изумрудах ничего похожего не наблюдается, за исключением скоплений волокон актинолита, иногда характерных для некоторых камней Сандаваны и Хабахталя. Другая особенность уральских изумрудов — развитие тонких дискообразных пустот, параллельных базальной плоскости. В отраженном свете они имеют серебристый блеск, однако могут казаться и черными вследствие полного от-

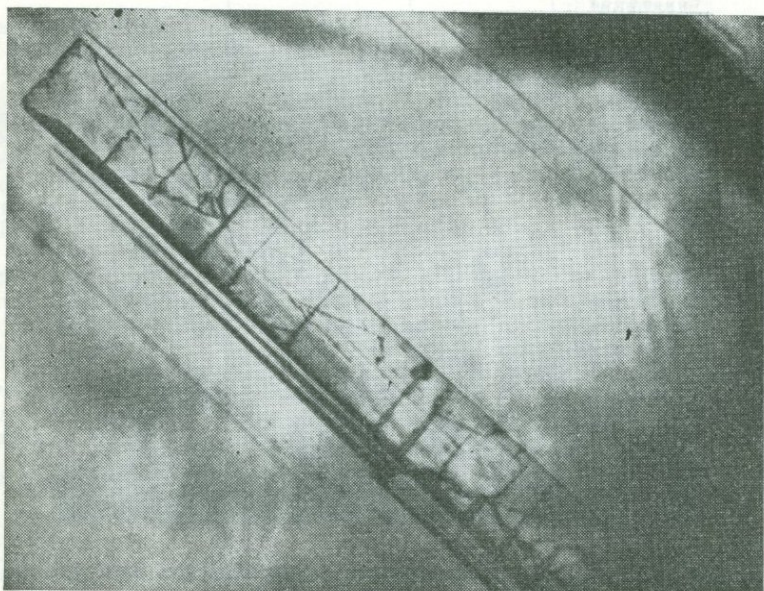


РИС. 13.2. Кристаллы актинолита в уральском изумруде.

ражения в некоторых направлениях. В трансваальских изумрудах основным включением является слюда, в индийских изумрудах встречаются гексагональные пустоты («отрицательные кристаллы»), лежащие параллельно главной оси кристалла. В профиль они имеют прямоугольные очертания, часто с небольшим выступом на одном конце, и содержат маленький пузырек газа в жидкости, т. е. относятся к типу двухфазных включений. Часто присутствует также слюда (рис. 13.3).

Изумруды месторождения Сандавана в Зимбабве играют важную роль в мировой торговле с момента их открытия в 1956 г. Они богаты хромом и поэтому имеют очень густой и яркий зеленый цвет, который лучше всего проявляется в мелких камнях. Характерная особенность этих изумрудов — присутствие многочисленных игл тремолита, которые часто изогнуты и пересекаются (рис. 13.4). Аналогичные скопления игл встречаются в малоцен-

ных изумрудах из старого месторождения Хабахталь в Тироле, где до сих пор периодически ведутся незначительные разработки.

Недавно появились на мировом рынке темно-зеленые изумруды из Пакистана. Они содержат довольно неопределенные включения, среди которых можно обнаружить пластинки слюды и небольшие кристаллы фенакита.

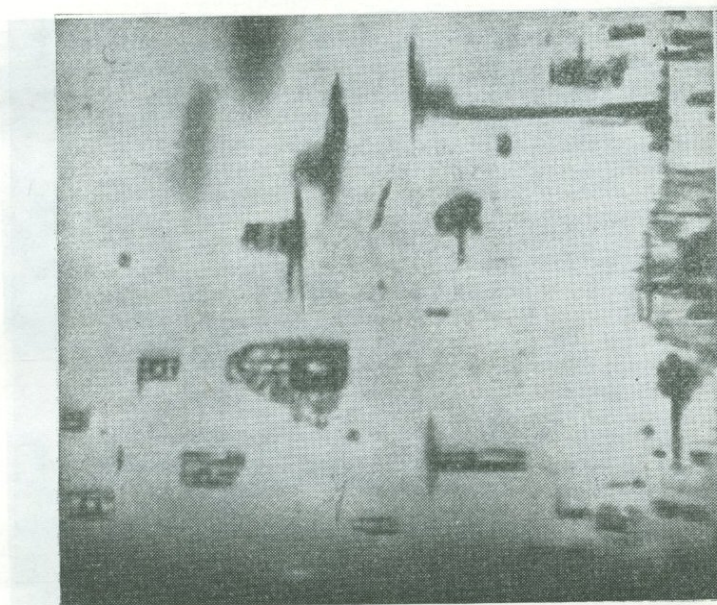


РИС. 13.3. Отрицательные кристаллы с жидкостью и пузырьком газа в индийском изумруде.

Самая последняя находка изумрудов, которые могут получить промышленно важное значение, была сделана вблизи озера Маньяра в Танзании. Эти изумруды были обнаружены в актинолитовых сланцах, содержащих хром в количестве, достаточном для образования не только изумруда, но и более редкой разновидности хризоберилла — александрита. Танзанийские изумруды имеют довольно высокие физические константы: удельный вес в среднем 2,74, показатели преломления 1,578 и 1,585 для необыкновенного и обыкновенного лучей соответственно. Основные включения представлены слюдой и плоскостями, заполненными жидкостью. Лучшие образцы по цвету напоминают камни Сандаваны и Колумбии, являющиеся самыми лучшими изумрудами в мире. Кстати, интересно отметить, что в изумрудах Танзании отсутствует ванадий.

**Синтетические изумруды**, которые в течение многих лет изготавливались только Кэрролом Чэтемом, химиком из Сан-Фран-

циско, теперь выпускаются рядом фирм-производителей; их получают несколькими способами. Подробное их описание уже было дано в гл. 7 (о синтетических камнях), но основные моменты будут обобщены ниже.

Чэтем, Жильсон и Церфасс применили метод выращивания из раствора в расплаве, заключающийся в кристаллизации берилла

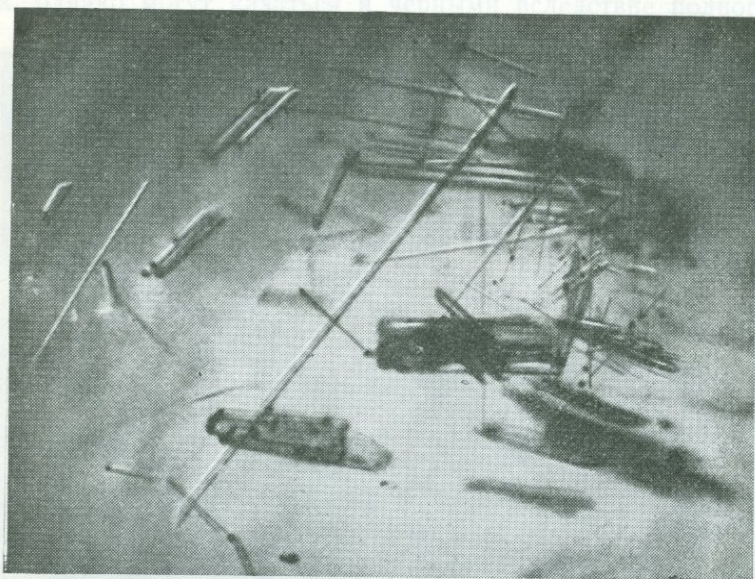


РИС. 13.4. Включения тремолита в изумруде из Сандаваны (Африка) (фото Р. Вебстера).

из расплава в подходящем растворителе, таком, как молибдат свинца. Получающиеся камни обычно имеют характерные вуалеобразные включения, которые хорошо видны на микрофотографиях, приведенных в гл. 7, и на рис. 13.5. Кроме того, такие камни имеют заметно более низкие по сравнению с природными изумрудами константы — показатели преломления, двупреломление и удельный вес, более яркую красную окраску под фильтром Челси и более интенсивную красную флюоресценцию в скрещенных фильтрах и ультрафиолетовом свете.

Недавно Пьер Жильсон путем введения железа в состав изумруда изготовил синтетические изумруды, имеющие более высокие физические константы (показатель преломления 1,574—1,580, удельный вес 2,70) и очень слабую люминесценцию. Однако они дают полосу поглощения при 4270 Å в фиолетовой части спектра, обусловленную железом, которая близка к полосе, наблюдаемой

в аквамарине. Характерными признаками этих синтетических изумрудов остаются перекрученные вуали.

Кроме указанных камней, полученных методом выращивания из раствора в расплаве, существуют изумруды, выращенные гидротермальным способом. Первыми появились камни, полученные остроумным способом Лехлейтнера: синтетический изумруд нара-



РИС. 13.5. Перекрученные вуали в недавно синтезированном изумруде Церфасса.

шивали на ограненный дешевый бледный берилл. Такие камни обычно слегка полировали (главным образом площадку), чтобы удалить следы кристаллизации. Они характеризовались трещиноподобными линиями в поверхностном слое, а сам слой можно было видеть как тонкий интенсивно-зеленый ободок на камне при погружении последнего в близкую по светопреломлению жидкость, например в бромбензол. Показатели преломления варьировали, но, находясь в пределах, известных для природных изумрудов, удельный вес также менялся в зависимости от типа берилла, использованного в качестве подложки для наращивания слоя изумруда.

Лехлейтнер передал свой метод американской фирме «Линде», однако вскоре эта фирма стала выпускать гидротермальные изумруды, изготавливаемые по собственному методу. Камни фирмы «Линде» имеют прекрасный цвет, а их свойства почти не отличаются от свойств природных камней. Они не содержат вуалей, ти-

пичных для изумрудов, полученных методом выращивания из раствора в расплаве, и характеризуются специфическими включениями, похожими на «гвозди» и «мазки кисти». Отличительная их особенность — сильная красная флюоресценция под всеми видами облучения, в том числе и под видимым светом.

Все существующие методы получения синтетических изумрудов постоянно совершенствуются, что обеспечивает изготовление синтетических камней с улучшенными характеристиками. Поэтому можно предположить, что геммологи часто будут попадать в трудные положения при решении вопроса, с каким изумрудом — природным или синтетическим — они имеют дело.

Даже дублеты нередко доставляют геммологу неприятности, поскольку изобретательные деятели теперь собирают камни из двух отдельных изумрудов, не говоря уже о классических дублетах, составленных из двух бериллов, склеенных изумрудно-зеленым клеем, придающим камню необходимый цвет. Чтобы сделать камень более похожим на настоящий изумруд, ограненный бледный изумруд распиливают по рундисту, а затем вновь соединяют в том же положении, но уже с тонким слоем зеленого клея между верхней и нижней частями камня. Это позволяет наблюдать под микроскопом включения, как бы продолжающиеся на всю глубину камня без явного нарушения, что создает впечатление однородности. В закрепленном камне с закрытым рундистом такие дублеты выявить очень трудно.

Чтобы продажа дублетов была прибыльной, изготовитель должен использовать природные слабоокрашенные изумруды, а это дает геммологу ключ к решению вопроса, поскольку в таких камнях линии хрома будут едва различимы при работе со спектро스코пом, чего не наблюдалось бы в том случае, если бы камень действительно имел такой густой цвет, как это кажется. Более того, если смотреть на дублет через спектроскоп под надлежащим углом, то полосы поглощения в оранжевой части спектра выявят присутствие искусственного красителя в плоскости соединения отдельных деталей дублета.

По сравнению с такими камнями старые кварцевые дублеты и новые дублеты из синтетической шпинели, применяемые для имитации изумруда, очень просты для определения. Показания рефрактометра сразу же укажут на подделку.

Нередко встречаются имитации изумруда из стекла, которые могут обмануть неопытный глаз. Обычно их делают из свинцовых стекол, имеющих показатели преломления от 1,60 до 1,66 и удельный вес от 3,40 до 4,00. Наличие «жидких включений» придает таким имитациям более «правдоподобный» вид, однако под микроскопом видно, что включения представляют собой всего лишь скопления или цепочки пузырьков. Изредка встречаются имитации из бериллового стекла, окрашенного хромом. Они необычно тверды для стекла, однако их удельный вес (2,42) и показатель

преломления (1,52) значительно ниже, чем у кристаллического берилла.

Из природных камней, похожих по внешнему виду на изумруд, только три минерала достойны серьезного внимания. Одним из них является изумрудно-зеленый **флюорит** из Намибии (а возможно, и из других месторождений, поскольку материал подобного типа встречается иногда в китайских резных изделиях). Как уже было отмечено выше, он слегка краснеет под фильтром Челси. Под микроскопом иногда заметно некоторое сходство флюорита и изумруда, так как в зеленом флюорите могут присутствовать трехфазные включения с газовым пузырьком и кубиком соли, напоминающие общеизвестные включения колумбийских изумрудов. Распознать этот камень геммолог может по ряду признаков. Показатель преломления флюорита равен всего 1,434. Будучи изотропным, флюорит не имеет дихроизма. Если камни не закреплены в оправе, более высокой удельный вес флюорита (3,18) быстро обнаруживается при погружении камня в бромформ, в котором он моментально тонет, тогда как изумруд, наоборот, быстро всплывает на поверхность. Кроме того, облучение длинноволновым ультрафиолетовым светом с длиной волны 3650 Å вызывает у флюорита сиреневую флюоресценцию. Твердость флюорита равна 4 по шкале Мооса (у изумруда она 7,5), и это в сочетании с низким показателем преломления придает флюориту гораздо более слабый блеск, чем у берилла.

**Зеленый турмалин** по внешнему виду очень похож на изумруд; по любопытному совпадению он также происходит из Юго-Западной Африки. Добываемый там материал имеет темный синезеленый цвет, однако после соответствующего обжига он приобретает более светлую и более чистую зеленую окраску, близкую к цвету изумруда; при этом исчезает и сильный дихроизм, свойственный необработанному турмалину. Необходимо отметить недавнюю находку замечательных зеленых турмалинов в Танзании. Окраска некоторых из них вызвана, очевидно, ванадием, других — хромом, третьих, вероятно, обоими этими элементами, как это часто бывает в изумрудах. Зеленые хромсодержащие турмалины дают узкую полосу поглощения в красной части спектра, а не ясно выраженную группу линий, столь характерную для изумруда. Такие турмалины имеют красный цвет под фильтром Челси, и это обстоятельство может привести к ошибке, если камни исследовались недостаточно внимательно. И здесь рефрактометр обеспечит точное определение, поскольку значения 1,620 и 1,638, характерные для турмалина, сразу его «выдадут». Маловероятно, чтобы эксперт ошибся, изучая такой камень, поскольку цвет турмалина все-таки не совсем такой, как у изумруда.

Третьим камнем, который может быть принят за изумруд, является **жадеит**, цвет которого также определяется хромом и иногда почти идентичен цвету изумруда. Однако жадеит никогда не

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ЗЕЛЕННЫХ КАМНЕЙ

Таблица 13.2

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Показатели преломления	Двупреломление
Изумруд	7,5	2,71	1,57—1,58	0,006
Циркон	6,5	4,0 <sup>1</sup>	1,82 <sup>1</sup>	0,01 <sup>1</sup>
Сапфир	9	4,00	1,76—1,77	0,009
Демантоид	6,5	3,85	1,89	Нет
Хризолит	6,5	3,34	1,65—1,69	0,037
Жадит	7	3,33	1,65—1,67	—
Флюорит	4	3,18	1,43	Нет
Турмалин	7	3,05	1,62—1,64	0,018
Берилловое стекло	7	2,49	1,52	Нет

<sup>1</sup> Константы для зеленого циркона колеблются в широких пределах.

бывает прозрачным, поэтому спутать его можно лишь с плохим изумрудом, почти непригодным для использования в ювелирном деле. О некотором сходстве между спектрами поглощения этих двух минералов уже говорилось выше. Все сомнения помогут разрешить вид под микроскопом и более высокий показатель преломления жадеита (для кабошонов может быть применен метод дистанционного наблюдения).

Характерная особенность жадеита — легкая рябь или зернистость его полированной поверхности, обусловленная небольшими местными различиями в твердости.

Можно упомянуть еще несколько зеленых камней. **Демантоид** — разновидность граната, часто содержит небольшие количества хрома, придающего ему прекрасный зеленый цвет, правда, более желтовато-зеленый, чем у изумруда. Его характерный признак — яркий блеск и игра, волокнистые включения типа «лошадиного хвоста», изотропность и спектр поглощения. **Зеленый сапфир** и **зеленый циркон** едва ли можно спутать с изумрудом; их свойства приведены в табл. 13.2 только ради ее полноты. То же самое можно сказать и о **хризолите**, который имеет очень характерный желтовато-зеленый цвет.

Перед тем как закончить главу об изумруде и способах его идентификации, предупредим читателя еще об одном обстоятельстве. Неприятной, хотя и редко упоминаемой в книгах особенностью торговли изумрудами является практика промасливания трещиноватых камней с целью замаскировать трещины, выходящие на поверхность обработанного камня. После погружения на несколько дней в подогретое подходящее жидкое масло поверхностные трещины становятся совершенно невидимыми и качество камня (а значит, и его мнимая ценность) значительно повышается. Если в масло не добавлен зеленый краситель, это, к сожалению, не считается незаконным делом; однако конечный результат

для покупателя и, возможно, для ювелира, который снабдил его украшением с такими камнями, может оказаться плачевным. Стоит только погрузить промасленный камень в воду, содержащую растворитель жира (например, стиральный порошок), как масло вымывается и присутствие трещин в камне обнаруживается с ужасающей очевидностью. Чистка украшения с таким камнем в ультразвуковой ванне приводит к аналогичному результату.

Ювелиры должны проявлять осмотрительность, покупая партии изумрудов для украшений. Нужно внимательно исследовать любые трещины, достигающие поверхности. Умеренный подогрев камня настольной лампой приведет к вытеканию масла из трещины (если оно там присутствует), и его можно увидеть при осмотре поверхности камня с помощью лупы. Если в масло был добавлен краситель, то его можно обнаружить, приложив к камню кусочек белой фильтровальной бумаги.

Для улучшения цвета и внешнего вида сходным образом обрабатывают и некоторые другие камни, особенно рубин и сапфир, если в них имеются трещины, достигающие поверхности. Понятно, что трещина сразу бросается в глаза из-за присутствующего в ней слоя воздуха и отражения света от границы раздела воздух—камень. Заполнение трещины маслом гасит такое отражение до тех пор, пока масло из нее не вытечет.

## АКВАМАРИН И АЛЕКСАНДРИТ

Берилл цвета морской волны, широко известный под названием «аквамарин», является одним из наиболее популярных драгоценных камней, и несколько замечаний о его идентификации могут быть полезны для ювелира. Только два природных минерала по цвету похожи на аквамарин. — **голубой циркон** и **голубой топаз**.

Циркон легко узнать по его игре, блеску и сильному дупреломлению, но топаз в тех редких случаях, когда он имеет отчетливый голубой оттенок, по внешнему виду едва ли можно отличить от аквамарина. Кроме этих двух природных минералов существуют синтетические материалы, которые также очень похожи на аквамарин. Это различные **имитации из стекла**, а также **синтетическая голубая шпинель**, подобная той, которая используется для имитации циркона; возможны также **дублеты**.

Тренированный глаз синтетическую шпинель узнает сразу — ее голубой цвет несколько кричащий, а блеск и игра ярче, чем у берилла, имеющего стеклянный блеск и низкую дисперсию. **Имитации из стекла** без использования приборов часто определить трудно. Сферические блестящие пузырьки, свидетельствующие о том, что образец является стеклом, поскольку в природных минералах такие пузырьки не встречаются, иногда можно заметить уже с помощью лупы. В синтетической шпинели пузыри имеют «профилированную» форму или настолько малы, что необходим микроскоп, чтобы их различить.

Стекло — плохой проводник тепла, и поэтому все имитации из него на ощупь кажутся теплыми в отличие от настоящего аквамарина. Перед проведением этого опыта камень нужно очистить, довести до комнатной температуры, затем, удерживая его пинцетом (если камень не в изделии), прикоснуться к нему кончиком языка. Эталопами для сравнения могут служить кусочки горного хрусталя и обычного стекла. Говорят (мы надеемся, что это неправда), ювелиры до сих пор иногда используют напильник, чтобы определить, не стекло ли это. Однако следует иметь в виду, что некоторые «аквамариновые» стекла характеризуются высокой твердостью. Кроме того, даже стеклянное украшение может высоко цениться его владельцем, и он отнюдь не станет радоваться, если ему возвратят его с большой царапиной поперек камня.

**Синтетическую шпинель**, даже не принимая во внимание ее излишне сверкающий вид, можно сразу отличить от аквамарина, если посмотреть на нее через фильтр Челси при ярком освещении.

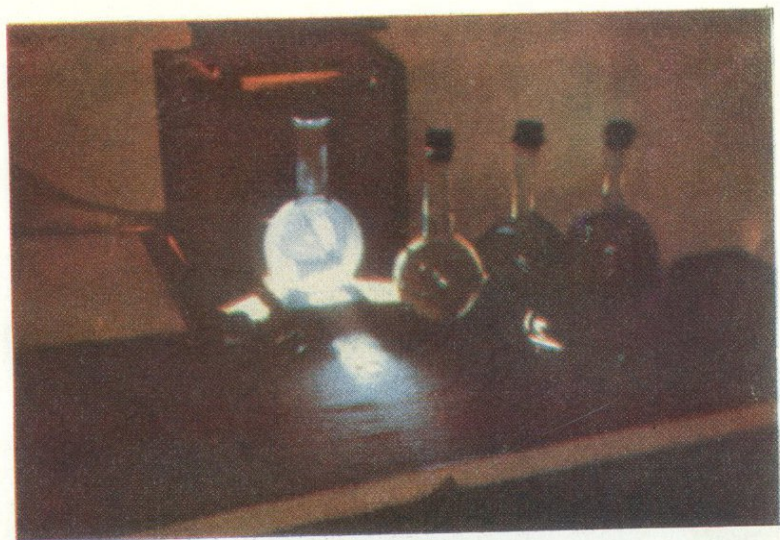


ФОТО 1. Вверху: оборудование для работы методом скрещенных фильтров и для спектроскопии. Свет от проекционной лампы в 500 Вт, заключенной в корпус, конденсируется на образце через фильтр из раствора медного купороса. Внизу: флюоресценция необработанных кристаллов алмаза в ультрафиолетовом свете (фото Р. Вебстера).

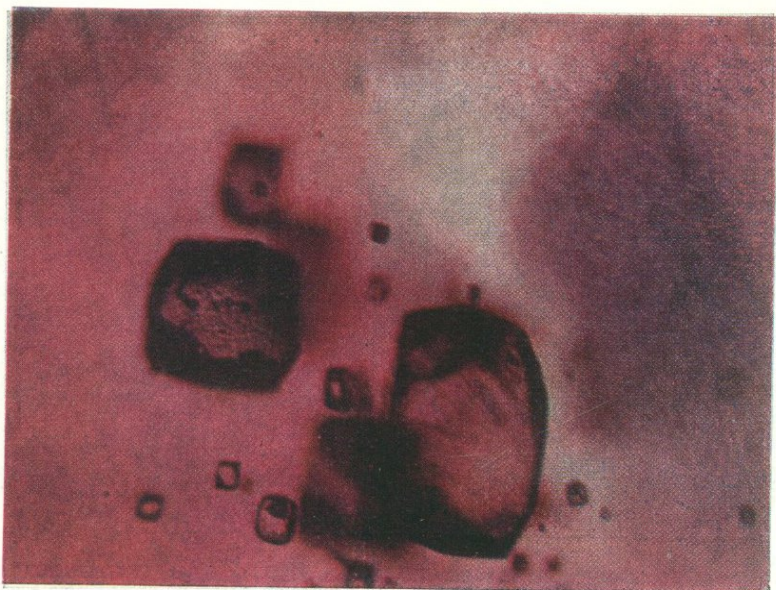


ФОТО 2. Типичные включения в бирманском рубине.

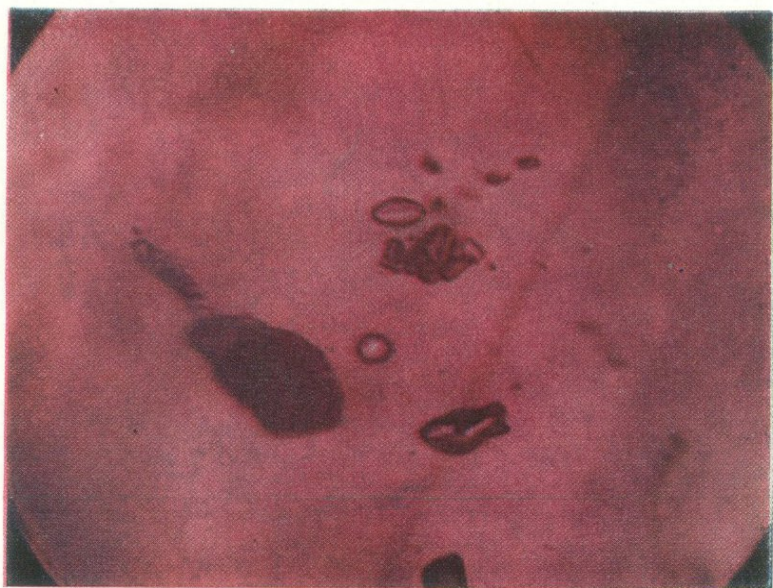


ФОТО 3. Типичное распределение окраски в бирманском рубине.

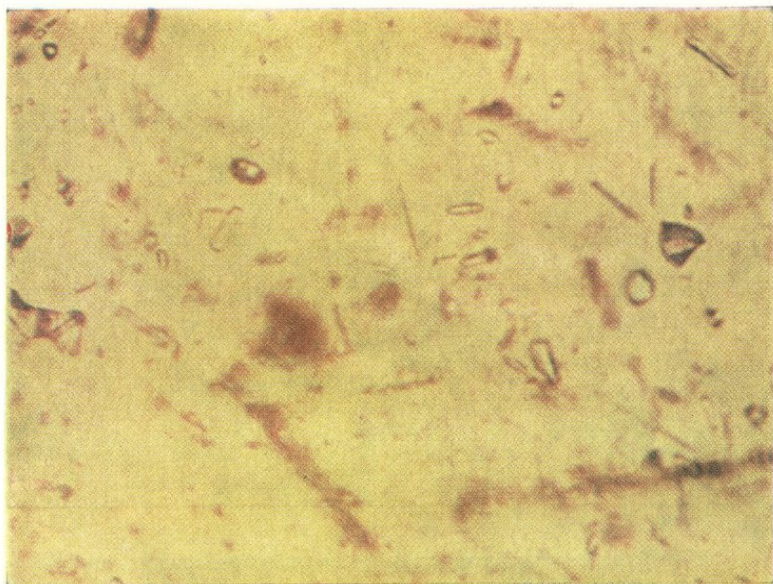


ФОТО 4. Включения диопсида в гессоните.

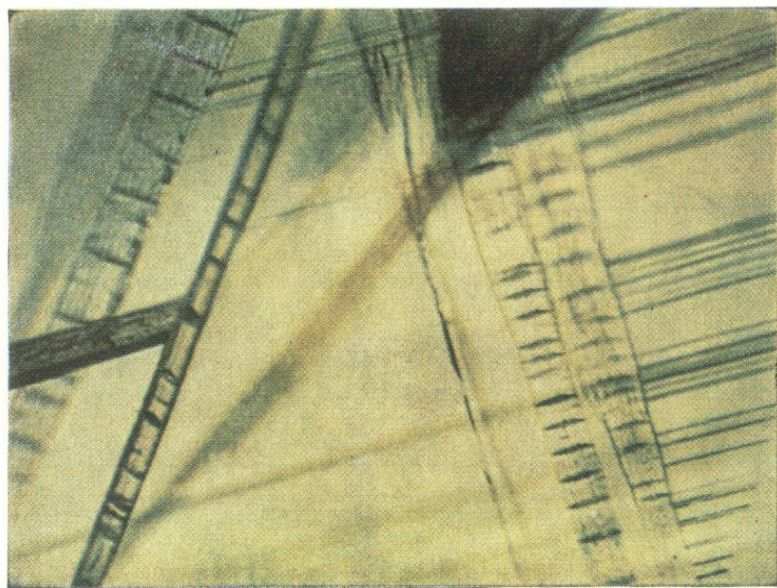


ФОТО 5. Включения актинолита в зеленом турмалине.



ФОТО 6. Кристаллы и ограненные цирконы различного цвета.



ФОТО 7. Топаз и турмалин: кристаллы, окатанная водой галька и ограненные камни.

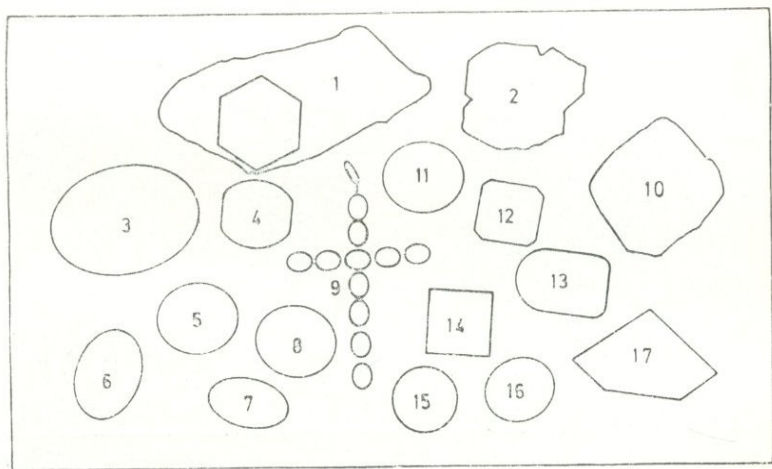


ФОТО 8. Хризоберилл и шпинель: 1 — двойник александрита в слюдяном сланце; 2 — двойник хризоберилла; 3, 4, 5 — ограненные хризобериллы; 6 — хризоберилловый кошачий глаз; 7, 8 — хризобериллы; 9 — крест из хризобериллового кошачьего глаза; 10 — октаэдр шпинели; 11—17 — шпинель различного цвета.

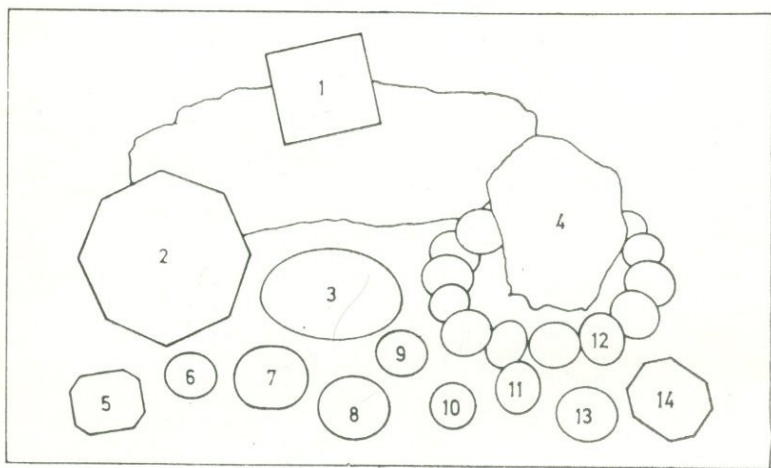
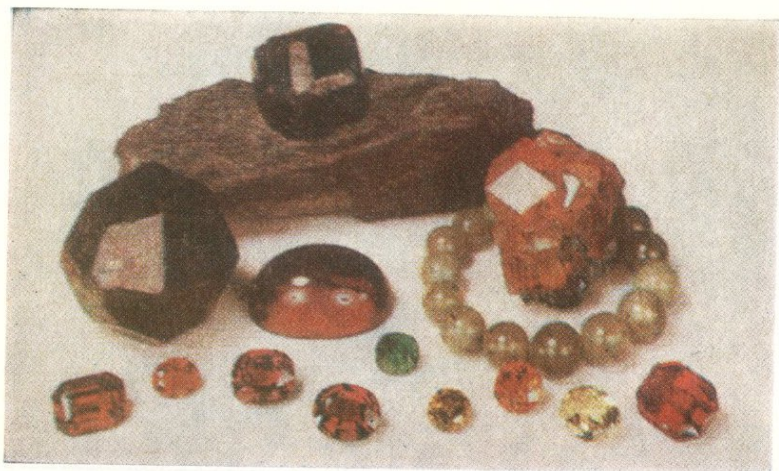


ФОТО 9. Гранаты: 1 — кристалл альмандина в слюдяном сланце; 2 — икоситетра-  
эдр альмандина; 3 — альмандиновый карбункул; 4 — друза кристаллов гессонита;  
5 — спессартин-альмандин; 6 — спессартин; 7 — пироп-альмандин; 8 — альмандин;  
9, 10 — демантоид; 11 — гессонит; 12 — бусы из гидрогроссуляра; 13 — гроссуляр;  
14 — гессонит.

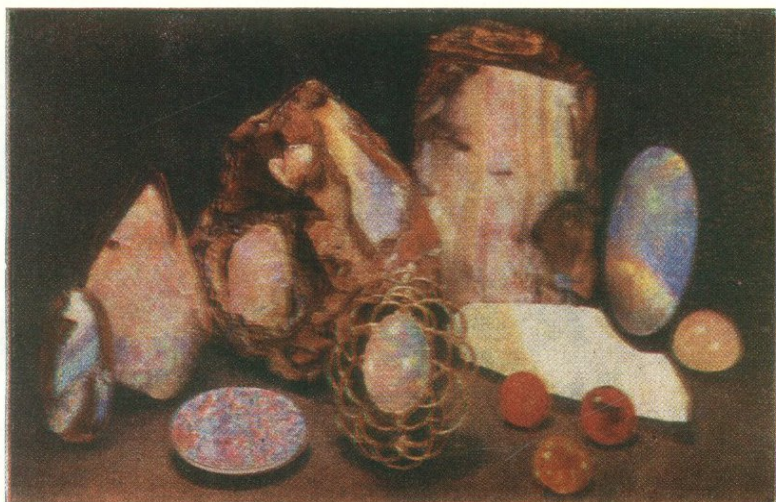


ФОТО 10. Разновидности обработанных и необработанных опалов.



ФОТО 11. Ваза и диск из нефрита, разрезанная нефритовая галька, жадентовые бусы и полированные образцы жадента различного цвета.



ФОТО 12. Структура синтетического опала Жильсона с эффектом «кожи ящерицы» (фото Пьера Жильсона).  
(ФОТО 6—11 воспроизведены с любезного разрешения директора Института геологических наук. Авторское право принадлежит издательству «Краун».)

Голубая синтетическая шпинель будет казаться ярко-оранжевой или красной, тогда как аквамарин выглядит зеленым; он очень эффектно отрезает дальнюю красную область спектра. Были получены синтетические голубые шпинели, не содержащие кобальта и поэтому не «краснеющие» под фильтром. Однако в ювелирной практике такие камни встречаются очень редко.

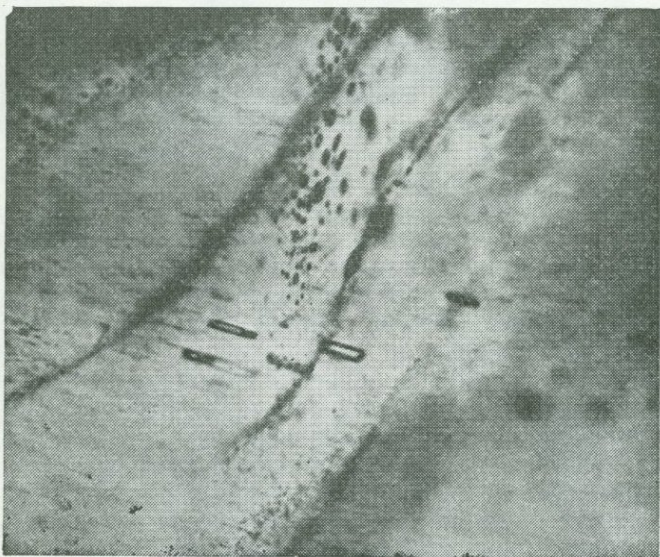
С дублетами, имитирующими аквамарин, едва ли придется когда-нибудь столкнуться, однако при осмотре любого камня всегда следует иметь в виду возможность встречи с дублетами.

Из всего вышесказанного следует, что принять за аквамарин можно лишь минералы, имеющие близкий цвет, — циркон, топаз, синтетическую шпинель, а также имитации из стекла. Циркон по сильному двупреломлению и многие стекла (по пузырькам) легко определяются с помощью лупы, тогда как синтетическую голубую шпинель позволяет выявить фильтр Челси. Однако если камень не имеет явных отличительных признаков, то мы остаемся в сомнении, с чем же в действительности имеем дело — с аквамарином, голубым топазом или стеклом, не содержащим ясно видимых пузырьков. И на этот раз точные методы, рекомендованные и описанные в этой книге, позволят быстро прийти к определенному решению.

Прежде всего обратимся к рефрактометру. Показатель преломления аквамарина 1,58, двупреломление 0,006. Всякий камень, имеющий показатель преломления меньше 1,56 или больше 1,60, безусловно, не является аквамарином. Показатель преломления топаза (1,62) заметно выше, чем у аквамарина, двупреломление топаза 0,01. Большинство имитаций из стекла имеет только один показатель преломления в области 1,50—1,51 или (у свинцовых стекол) около 1,64. Однако существуют стекла, у которых и показатель преломления, и удельный вес почти такие же, как у бериллов. На шпинелевом рефрактометре с использованием света натриевой лампы распознать их не составит труда, поскольку у аквамарина будет отчетливо видно двупреломление, которого нет у стекол. На обычном рефрактометре не удастся измерить двупреломление в белом свете, так как оно слишком мало. Поэтому, даже получив показатель преломления 1,58, рекомендуется исследовать камень под микроскопом или с помощью дихроскопа, чтобы окончательно убедиться, что это не стекло.

Дихроскоп, пожалуй, обеспечивает самый простой способ определения даже закрепленных в оправе камней, если задняя сторона камней не закрыта и свет может свободно проходить через них. Дихроизм аквамарина выражен достаточно сильно: у зеленых образцов одно изображение в дихроскопе будет выглядеть более зеленым, чем образец, а другое будет практически бесцветным. У голубого образца одно изображение также будет бесцветным, а второе — более голубым, чем образец. Особенно замечательный голубой цвет в дихроскопе обнаруживают мадагаскар-

ские камни. К сожалению (замечание для подготовленных читателей), голубой цвет принадлежит необыкновенному лучу, и, следовательно, в ограненном камне он всегда «разбавляется» бесцветным обыкновенным лучом, когда на него смотрят невооруженным глазом. У синего берилла типа «машише», описанного ниже, наблюдается противоположная картина — для обыкновенного луча камень окрашен интенсивнее.



**РИС. 14.1.** Включения в аквамарине: «дождь», двухфазные включения, параллельные главной оси, и слои дисков, перпендикулярные к ним.

При определении дихроизма необходимо помнить, что камень следует рассматривать под разными углами, чтобы получить наиболее четкий эффект. Кроме того, лучше пользоваться светом, отраженным от белой стены или облака, поскольку безоблачное небо само по себе слегка дихроично и наблюдатель может прийти к ложному выводу, что этот небольшой дихроизм свойствен образцу.

И в этом случае может с успехом применяться микроскоп, являющийся очень ценным инструментом всегда, когда необходимо различить природные и искусственные камни по их внутренним характерным признакам. Имитации из стекла обычно содержат один или два пузырька, хотя они могут быть слишком малы, чтобы их можно было обнаружить с помощью карманной лупы. Наблюдаются также свили — результат недостаточно однородного перемешивания компонентов. Аквамарин же, будучи природным

Таблица 14.1

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ, ПОЛЕЗНЫЕ  
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ АКВАМАРИНА

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Показатель преломления	Двупреломление
Аквамарин	7,5	2,70	1,574—1,580	0,006
Циркон	7,5	4,69	1,926—1,985	0,059
Синтетическая шпинель	8	3,63	1,727	Нет
Топаз	8	3,56	1,610—1,620	0,010
Твердое стекло	6	2,37	1,50	Нет
Берилловое стекло	7,5	2,44	1,52	Нет

*Примечание.* Имитации из свинцового стекла (пасты) могут иметь удельный вес от 2,63 до 3,85, показатель преломления от 1,57 до 1,64 или выше, твердость около 5.

минералом, может содержать слои мелких кристаллов («перья»), тонкие игольчатые кристаллические включения, тонкие каналы с жидкостью и, возможно, пузырьком газа. Такие каналы расположены параллельно главной кристаллографической оси исходного гексагонального кристалла (рис. 14.1).

Если рефрактометр недоступен, а камень не закреплен в оправе, его можно испытать в тяжелой жидкости. С помощью этого метода путем простого погружения камня или камней в бромформ (2,9) или иодистый метилен (3,3) можно отличить аквамарины от топаза, циркона, синтетической шпинели или тяжелых стекол. Аквамарин будет плавать, тогда как все другие указанные материалы будут тонуть в этих жидкостях. Бледно-голубой образец, который плавает в бромформе или иодистом метиле и, кроме того, обладает дихроизмом, можно с уверенностью считать природным аквамарином. Но и без этого испытания опытный ювелир, постоянно имеющий дело с аквамаринами, обычно узнает среди них голубой топаз, когда взвешивает камни по отдельности, поскольку топаз более чем на 30% тяжелее аквамарина такого же размера.

Следовательно, можно сделать вывод, что единственным надежным методом определения аквамарина является тщательное измерение показателя преломления в свете натриевой лампы (или на шпинелевом рефрактометре в обычном свете), когда можно учесть не только средний показатель преломления, но и двупреломление. Если же этого сделать нельзя, тогда нужно определить средний показатель преломления и удельный вес, а затем сопоставить их с данными, полученными при исследовании камня с помощью дихроскопа.

В заключение можно отметить, что *синтетические аквамарины на ювелирном рынке отсутствуют*. Образцы, продающиеся под таким названием, в действительности представляют собой синтетическую голубую шпинель или стекло. Иногда встречается стекло,

полученное при плавлении берилла и поэтому имеющее такой же *химический состав*, как и аквамарин, но, будучи некристаллическим материалом, оно резко отличается по свойствам от берилла, как можно видеть из табл. 14.1, в которой физические константы всех камней и имитаций, рассмотренных в этой главе, представлены в форме, удобной для сравнения. Приведены также физические константы специального твердого стекла, имитирующего аквамарин.

### БЕРИЛЛЫ ТИПА «МАШИШЕ»

В начале 70-х годов на рынках Нью-Йорка и Лондона появились удивительные кобальтово-синие бериллы в виде прекрасных ограненных камней, стоивших весьма дорого. Строго говоря, их нельзя называть аквамаринами, однако упомянуть о них в этой главе нужно. Помимо необычного цвета они имели и необычные оптические свойства: у этих камней в отличие от аквамарина большая интенсивность цвета из двух положений, видимых в дихроскопе, обеспечивалась обыкновенным лучом (у аквамарина — необыкновенным), что позволяло наивыгоднейшим образом использовать цвет камня при огранке, если площадку расположить перпендикулярно оптической оси. Для них характерна также (только для обыкновенного луча) серия интенсивных полос поглощения в дальней красной области спектра при 6970 и 6550 Å и серия более слабых полос ближе к желтой части спектра.

Эти бериллы по своим свойствам напоминают синие бериллы, найденные на руднике Машише в шт. Минас-Жерайс (Бразилия) около сорока лет назад; так же как и бериллы с рудника Машише, они заметно выцветают на солнце. Камни были тщательно изучены доктором К. Нассау и другими специалистами. Нассау нашел, что при облучении нейтронами или применении других источников проникающей радиации цвет таких камней часто восстанавливается. По данным другой работы, исходным цветом камней является, вероятно, розовый; синий же появился в результате какой-то неизвестной обработки. Учитывая все эти моменты, любые темно-синие бериллы, обладающие оптическими свойствами берилла типа «машише», следует оберегать от продолжительного воздействия света, поскольку они, как отмечено выше, склонны к выцветанию.

### АЛЕКСАНДРИТ

Александрит представляет собой разновидность минерала *хризоберилла*; последний встречается также в виде камней зеленовато-желтого или коричневого цветов, отличающихся от цвета турмалина, и медово-желтых камней с эффектом кошачьего глаза, которые после обработки в форме *кабошона* дают узкий шелковистый луч.

Александрит не обладает особой красотой, но привлекает внимание характерный для него эффект изменения окраски с тускло-

го зеленого цвета при дневном свете на малиново-красный при искусственном освещении, что придает камню определенную прелесть; это свойство в сочетании с редкостью хороших образцов ставит его в ряд наиболее дорогих драгоценных камней.

По внешнему виду за александрит, по-видимому, не может быть принят ни один природный драгоценный камень, за исключением, пожалуй, не менее редкого **андалузита** с его красноватыми отблесками, идущими изнутри камня, имеющего в целом зеленый цвет, которыми он обязан сильному плеохроизму. Очень распространенные так называемые синтетические александриты являются чаще всего **синтетическим корундом**, но иногда могут представлять собой **синтетическую шпинель**.

Совсем недавно к списку синтетических драгоценных камней был добавлен настоящий **синтетический александрит**. Образцы этой редчайшей формы хризоберилла были получены методом выращивания из раствора в расплаве и методом Чохральского, о чем уже говорилось в гл. 7. Эффект изменения цвета у синтетических камней выражен резче, чем у природных, кроме, пожалуй, лучших сибирских камней, исключительно редко сейчас встречающихся и почти всегда дефектных. При дневном свете они имеют интенсивный зеленый цвет, а при свете электрической лампы становятся малиново-красными, что очень ценится в этом камне. Окраска синтетического александрита обусловлена хромом, причем из-за отсутствия в образцах железа искусственные камни характеризуются более чистыми цветами, чем природные.

Александриты, полученные методом выращивания из раствора в расплаве, содержат специфические перекрученные вуалеподобные жидкие включения, а также случайные металлические включения треугольных или шестиугольных очертаний. В камнях, выращенных методом Чохральского, могут наблюдаться изогнутые линии роста. В спектрах камней обоих типов видны четкие линии поглощения хрома, а в ультрафиолетовом свете наблюдается интенсивная красная флюоресценция.

Значительно чаще приходится иметь дело с так называемыми «синтетическими александритами», которые в действительности представляют собой синтетические корунды, окрашенные ванадием в следовых количествах. Они имеют характерный серовато-голубой цвет при дневном свете и интенсивный сиреневый цвет при электрическом освещении. Эти камни часто покупают легковверные люди, не имеющие ни малейшего представления о чрезвычайной редкости природного камня, крупные прозрачные экземпляры которого вообще неизвестны. Наблюдающаяся у таких имитаций узкая четкая линия при  $4750 \text{ \AA}$  в синей области спектра служит доказательством их искусственного происхождения. На этот признак можно полностью полагаться: ни один природный камень не дает в спектре такой линии. Александритоподобная синтетическая шпинель встречается редко, но по цвету она больше по-

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ, ПОЛЕЗНЫЕ  
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ АЛЕКСАНДРИТА

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Показатель преломления	Плеохроизм
Александрит (природный или синтетический)	8,5	3,71	1,745—1,754	Сильный
Синтетический корунд	9	3,99	1,761—1,770	Сильный
Синтетическая шпинель	8	3,63	1,727	Отсутствует
Андалузит	7,5	3,15	1,635—1,645	Сильный

хожа на александрит, чем корунд, о котором шла речь выше.

Существует несколько простых способов, которые позволяют отличить настоящий александрит от синтетического корунда или шпинели.

Прежде всего их можно быстро отличить друг от друга на рефрактометре, поскольку они относятся к различным видам минералов с разными свойствами (см. табл. 14.2).

Показатель преломления александрита лишь немного ниже, чем показатель преломления корунда, и необходимы тщательные измерения, чтобы уловить различие между показателями преломления этих двух минералов. Синтетические шпинели легко отличаются от александрита по заметно более низкому показателю преломления и отсутствию двупреломления.

Под микроскопом в синтетических корундах часто видны обычные для них сферические пузырьки; если же их трудно обнаружить, то помогут изогнутые неизменно присутствующие линии роста, которые хорошо заметны, если на камень смотрят под нужным углом. Имитации из шпинели иногда не содержат пузырьков, однако отсутствие раздвоения ребер задних граней при осмотре камня под микроскопом через площадку свидетельствует об изотропности материала. Кроме того, между скрещенными поляроидами наблюдается типичное для шпинели муаровое погасание.

Наконец, настоящий александрит легко узнать, наблюдая прошедший сквозь него свет через окуляр дихроскопа или спектроскопа, особенно последнего. Внимательное изучение под разными углами с помощью дихроскопа выявит в александрите три различные окраски кристалла: зеленую, фиолетовую и оранжевую, хотя конечно, они могут наблюдаться одновременно лишь попарно в двух соседних окнах дихроскопа. Корунд окрашивается в коричневый и лиловый цвета, а шпинель, как изотропный минерал, совсем не имеет дихроизма.

Спектр поглощения александрита отличается своеобразным равновесием между красным и зеленым цветом, что обусловлено присутствием в этой разновидности хризоберилла небольших количеств окиси хрома. Спектр можно узнать по двум интенсивным

темным линиям, расположенным близко одна от другой (т. е. по так называемому дублету) в дальней красной области, двум более слабым линиям в оранжево-красной части и широкой полосе поглощения, захватывающей желтую и часто зеленую области спектра. У синтетического александритоподобного корунда цвет определяется добавкой ванадия, и спектр не дает ни одной из упомянутых линий, однако предательская узкая линия поглощения при  $4750 \text{ \AA}$  в синей области сразу же выдает его корундовую природу. Он также флюоресцирует характерным горчичным цветом в длинноволновых ультрафиолетовых лучах. Шпинель дает неясный спектр кобальта с тремя широкими полосами в оранжевой, желтой и зеленой областях спектра.

Все перечисленные особенности александрита говорят о том, что его лучше всего определять путем тщательного изучения показателя преломления на рефрактометре. Если показатель преломления камня отличается от средних значений 1,745 и 1,754, характерных для нижнего и верхнего показателей преломления, больше чем на несколько цифр в третьем знаке после запятой, то этот камень наверняка не является александритом. Если показатель преломления соответствует характерному для хризоберилла, то не исключается возможность того, что камень представляет собой настоящий синтетический александрит. В этом случае решающим должно быть чрезвычайно четкое изменение цвета при смене типа освещения.

Наиболее заметное изменение цвета обнаруживают уральские александриты, хотя с ними, возможно, соперничают александриты, найденные недавно близ озера Маньяра в Танзании. Цейлонские александриты хотя и слабее изменяют цвет, но встречаются в виде более крупных и менее дефектных образцов. Если изменение цвета настолько мало, что возникает вопрос, следует ли называть камень хризобериллом или можно применить к нему более популярное название «alexandrit», то в качестве арбитра можно призвать на помощь спектроскоп. Если в красной области спектра линии хрома видны отчетливо, камень имеет право называться александритом.

Александрит дает красную флюоресценцию между скрещенными фильтрами, когда мощный пучок света направляют на камень через раствор медного купороса, а затем рассматривают камень через хороший красный фильтр. Хризоберилл, не дающий в этих условиях красной флюоресценции, не может классифицироваться как александрит. Лаборатории иногда сталкиваются с необходимостью сделать такое различие, поскольку название «alexandrit» весьма популярно на ювелирном рынке, тогда как простое название «хризоберилл» мало что говорит ювелиру и широкой публике средней квалификации.

Свойства александрита, андалузита и синтетических корунда и шпинели приведены в табл. 14.2.

## ЦИРКОН

Циркон (или, как его часто называли, «жаргон») известен как драгоценный камень уже несколько столетий, однако он не пользовался особой популярностью до тех пор, пока 50 лет назад на европейском ювелирном рынке не появились замечательные голубые сиаемские цирконы, цвет которых был изменен в результате нагревания. Позднее из того же источника стали поступать золотисто-коричневые и чистые бесцветные цирконы, причем высокое качество огранки, которого добивались немецкие мастера, работающие в Бангкоке, значительно повышало красоту камней.

Кристаллы и окатанная водой галька циркона из нескольких месторождений вблизи реки Меконг и ее притоков в Индокитае окрашены в неинтересный коричневый цвет, который, однако, может быть изменен на голубой, золотистый или белый путем нагревания в примитивных печах в восстановительных или окислительных условиях. К сожалению, полученные таким образом небесно-голубые камни редко надолго сохраняют свой восхитительный цвет, и только благодаря прекрасному виду и сравнительно высокой стоимости они все-таки находят широкое применение в ювелирном деле. Белые цирконы также склонны терять свой цвет, хотя он, как и голубой цвет, может быть восстановлен повторным осторожным нагреванием.

До массового появления на рынке этих красивых разновидностей циркона практически единственным источником поступления этого драгоценного камня был остров Шри Ланка (Цейлон), причем в знаменитых галечниках этого благодатного острова он встречался довольно часто. Для цейлонских цирконов характерна широкая палитра тонов от желто-оранжевого через коричневые и зеленовато-коричневые до оливково-зеленых. Уже в древности было известно поразительное сходство хорошо ограненных бесцветных цирконов (возможно, подвергавшихся тепловой обработке) с алмазами. Они даже продавались под названием «матура-» или «матара-алмазы» по названию поселка на Цейлоне, где они добывались.

Циркон представляет собой силикат циркония, хотя до 4% элемента циркония замещено в нем другим сходным с цирконием по свойствам элементом гафнием. Изоморфизм соединений урана и тория с соединениями циркония приводит к тому, что большинство цирконов содержат следы этих радиоактивных элементов и поэтому проявляют небольшую радиоактивность, оказывающую в ряде

случаев существенное влияние на их структуру и свойства, как будет показано ниже.

Циркон несколько тверже кварца, однако он обладает своеобразной хрупкостью, проявляющейся у ограненных образцов «потертыми» ребрами. Большинство торговцев знакомы с этой особенностью камня и если хранят образцы в пакетах, то предварительно каждый камень по отдельности заворачивают в кусочек бумаги. Удельный вес нормального циркона (4,68) выше, чем других распространенных драгоценных камней, и это создает в руке ощущение тяжести при оценке веса камня. Иногда полезно вспомнить, что вес алмаза, ограненного в виде бриллианта, составляет только три четверти веса бесцветного циркона такого же размера. Показатели преломления циркона также высоки — 1,926 и 1,985. Эти значения, конечно, лежат вне пределов шкалы стандартного рефрактометра, на котором циркон (за исключением немногих низкопреломляющих типов) не может быть определен. Достаточно высокими и поэтому характерными особенностями циркона являются его двупреломление (0,059) и дисперсия (0,038). При наблюдении с помощью лупы задних граней камня через площадку хорошо заметно раздвоение их ребер. Благодаря высокой дисперсии циркон по «игре» приближается к алмазу.

Чтобы свет не проходил через задние грани камня, на колете циркона, имеющего бриллиантовую огранку, часто делают восемь дополнительных граней (так называемая цирконовая огранка).

Отличительная особенность циркона — его замечательный спектр поглощения. Он состоит из равномерно распределенных узких линий, причем двенадцать из них наиболее интенсивны. Эти линии впервые наблюдал А. Г. Черч в 1866 г., а Сорби правильно объяснил их появление присутствием в цирконе урана. Только немногие цирконы не дают самых интенсивных линий, видимых в красной области при 6535 Å. Вообще говоря, у всех белых, голубых и золотистых цирконов, полученных при нагревании исходных камней, т. е. у камней, которые наиболее часто используются в ювелирном деле, квалифицированный специалист с помощью спектроскопа может обнаружить линию при 6535 Å и группу более слабых линий при 6590 Å. Спектральные линии цирконов более заметны в отраженном свете, чем в проходящем. Поэтому камень кладут площадкой на черную ткань под сильный пучок света, и свет, отраженный от внутренней поверхности площадки, анализируют с помощью спектроскопа.

Почти все цейлонские ювелирные цирконы желтого, коричневого и зеленого цветов дают более десяти линий различной четкости. Аномалии, свойственные некоторым низкопреломляющим зеленым цирконам, уже были обсуждены. Бирманские цирконы, которые обычно имеют зеленые и коричневые оттенки, можно узнать по их интенсивному спектру, в котором между основными

четкими линиями располагается много слабо выраженных линий.

Этих линий нет лишь в спектрах красных, оранжевых или бледно-коричневых цирконов, не подвергавшихся нагреванию; получение спектра цирконов, как правило, является самым быстрым методом их определения.

Цирконы практически не обладают дихроизмом. Исключение составляет голубой циркон, у которого по неясной пока причине этот эффект проявляется очень сильно. Отсутствие дихроизма может помочь отличить циркон от сфена или касситерита, которые весьма похожи на него, но имеют очень сильный дихроизм.

Многие цирконы флюоресцируют. В частности, белые камни всегда дают желтоватую флюоресценцию при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом или рентгеновскими лучами. Характерная особенность этой флюоресценции обнаруживается при наблюдении ее через спектроскоп, поскольку она дает в спектре яркие линии, образующие две группы в желтой и синей частях спектра. «Линейная» люминесценция такого типа присуща некоторым редкоземельным элементам. У цирконов она обусловлена присутствием европия. На практике это испытание следует проводить с осторожностью, поскольку белые цирконы при облучении ультрафиолетовым светом окрашиваются в их исходный коричневый цвет. К счастью, нагревание до темно-красного каления снова делает их бесцветными. Нагревая цирконы на горячей плите в темноте, можно наблюдать эффект термофосфоресценции, причем через спектроскоп можно видеть тот же самый спектр, что и в случае флюоресценции.

Еще одно свойство циркона, не имеющее, однако, практического значения, заключается в увеличении его показателя преломления при повышении температуры. Из других драгоценных камней такая удивительная особенность наблюдается только у берилла.

## МЕТАМИКТНЫЙ ЦИРКОН

В течение многих столетий основным поставщиком ювелирных цирконов был остров Шри Ланка (Цейлон), и начиная с XIX в. цейлонские камни стали объектами пристального внимания исследователей в связи с оригинальностью их свойств. В частности, были обнаружены большие различия в удельных весах и показателях преломления, которые не могут быть объяснены различиями в химическом составе. Наибольший удельный вес цирконов 4,69 или около того. Эти самые тяжелые камни имели показатель преломления 1,926 для обыкновенного луча и 1,985 для необыкновенного и двупреломление 0,059. Минимальное значение удельного веса цирконов составляет 3,95; у таких камней нет двупреломления, а единственный показатель преломления равен 1,78. Между этими двумя крайними типами находится ряд цирконов, имеющих промежуточные свойства. Было замечено, что низкопре-

ломляющие цирконы почти всегда имеют зеленый цвет. Цирконы из других (не цейлонских) месторождений, как правило, отличаются достаточно постоянными физическими константами, соответствующими первым из указанных выше. Они могут рассматриваться как типичные для «нормального» циркона.

В течение более чем пятидесяти лет необычные колебания в свойствах цейлонских цирконов представляли одну из загадок минералогии и являлись предметом многочисленных научных статей. Решение проблемы пришло в 1936 г., когда Худоба и Штакельберг, используя методы рентгеноструктурного анализа кристаллов, установили, что в цейлонских цирконах происходит постепенное разрушение тетрагональной кристаллической решетки под влиянием длительной бомбардировки альфа-частицами радиоактивных атомов урана и тория, которые почти всегда в небольших количествах присутствуют в минерале. Цейлонские цирконы связаны с древними породами, так что воздействие радиоактивного излучения на решетку кристалла продолжается здесь в течение примерно 800 млн. лет. В результате этого низкопреломляющие камни превратились в почти аморфную смесь окислов кремния и циркония. Это и приводит к значительному снижению удельного веса и показателя преломления камней. Когда кристаллическая структура камня полностью исчезает, двупреломление падает до нуля.

Минералы, содержащие радиоактивные атомы как основной компонент или как примесь и потерявшие поэтому исходную кристаллическую структуру, известны как метамиктные минералы, и низкопреломляющие цирконы с завершенным или почти завершенным процессом разрушения справедливо могут быть названы метамиктными цирконами. Редкий минерал эканит, недавно обнаруженный среди цейлонских драгоценных камней, также является метамиктным вследствие большого содержания тория. Эканит известен только в метамиктном виде и очень радиоактивен.

Метамиктные цирконы, как отмечено выше, почти всегда имеют зеленый цвет. Встречаются, однако, не очень красивые цирконы коричневого оттенка. Изредка находят совершенно очаровательные оранжевые метамиктные цирконы. Не все зеленые цирконы метамиктны. В частности, зеленые бирманские цирконы имеют полностью кристаллическую структуру и относятся к типу нормальных.

Природа и расположение полос поглощения в спектрах минералов в сильнейшей степени обусловлены их кристаллической структурой, и цирконы служат этому хорошим примером. У цейлонских цирконов степень внутренней разупорядоченности структуры отражается не только на удельном весе (в сторону снижения), но и на четкости характерных полос поглощения. В спектре метамиктных цирконов наблюдается лишь довольно размытая широкая полоса в красной области. Иногда заметна также узкая по-

лоса в зеленой области при 5200 Å, отсутствующая в спектре нормальных цирконов.

При нагревании до красного каления промежуточных цирконов с нормальным, но нечетким спектром полосы поглощения становятся гораздо более четкими, а продолжительное нагревание приводит к повышению показателя преломления. Нагревание до ярко-красного каления (800 °С) полностью метамиктных цирконов, не имеющих нормального спектра, вызывает другой, еще более уди-

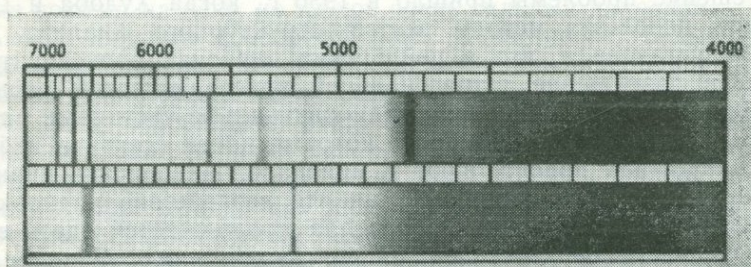


РИС. 15.1. Вверху: аномальный спектр обожженного метамиктного циркона. Внизу: типичный спектр метамиктного циркона до обжига.

вительный эффект. Хотя внешне оба спектра очень похожи, в спектре нагретых цирконов некоторые группы интенсивных полос поглощения дают совершенно иную картину по сравнению с нормальным спектром. Вместо обычной интенсивной линии в красной области при 6535 Å появляются три интенсивные полосы при 6870, 6685 и 6525 Å. Из семи других полос такого аномального спектра ни одна не соответствует полосам нормального спектра. Особенно выделяются две интенсивные полосы в синей области спектра при 4735 и 4510 Å. Оба спектра для сравнения показаны на рис. 15.1. Эти удивительные изменения в спектре метамиктных цирконов после их нагревания сопровождаются *уменьшением* и без того низких значений удельного веса и показателя преломления. Граница между цирконами, показатели преломления которых увеличиваются при нагревании или уменьшаются (последние к тому же дают аномальный спектр), лежит (по удельному весу) около значения 4,02. Однако при нагревании в течение длительного времени при более высоких температурах (более 1100 °С) даже наиболее метамиктные цирконы превращаются в нормальные.

При исследовании рентгеновскими методами цирконов, дающих аномальный спектр поглощения, было доказано, что этот спектр обусловлен присутствием урана в решетке тетрагональной  $ZrO_2$ , которая представляет собой кристаллическую фазу, образующуюся при сильном нагревании метамиктного циркона. Можно ду-

мать, что цирконы с аномальным спектром — это в действительности камни, подвергавшиеся искусственному или, что менее вероятно, естественному воздействию высоких температур.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦИРКОНА

Выше были описаны свойства циркона. Теперь остается рассмотреть, какими методами можно определить этот популярный камень и как отличить его от других, чем-то похожих на него камней.

Вероятно, ни один камень, за исключением опала и алмаза, нельзя определить так легко, как циркон, невооруженным глазом или с помощью простой карманной лупы. Его особенный блеск, несколько напоминающий алмазный (он обусловлен высоким показателем преломления) и в то же время жирный или смоляной блеск (вследствие своеобразного воздействия полировки на его поверхность), в сочетании с достаточно характерной цветовой гаммой часто позволяют узнать камень с первого взгляда. Используя лупу, можно увидеть потертые ребра граней, легкую молочность и заметное раздвоение ребер задних граней при наблюдении через верхнюю часть камня (рис. 15.2). Способность видеть этот эффект раздвоения и умение хотя бы приблизительно определить величину двупреломления у ограненного камня дают геммологу огромное преимущество даже перед опытными ювелирами или торговцами, не обладающими геммологическими познаниями.

Природными камнями, имеющими близкое двупреломление и такую же окраску, являются сфен и сингалит. Оба этих минерала редки и ценятся гораздо выше циркона, и их определение, даже с помощью приборов, требует известной квалификации.

**Сфен** обычно окрашен в разные оттенки желтого цвета, а иногда в зеленый и коричневый цвета. Его двупреломление вдвое выше, чем у циркона, и уже одного этого достаточно для его идентификации. Камень имеет исключительно сильную «игру» и в отличие от циркона такого же цвета проявляет заметный дихроизм. Его показатели преломления (1,90—2,03) находятся вне пределов шкалы рефрактометра (как и у циркона). В спектре поглощения сфена могут наблюдаться слабые линии в желтой области, обусловленные редкоземельными элементами — неодимом и празеодимом. Спектр поглощения сфена четко отличается от спектра поглощения циркона. Если камень не закреплен, то определить сфен можно по его низкому удельному весу (3,52).

**Сингалит**, получивший свое имя от древнего названия острова Шри Ланка, лишь недавно был зарегистрирован как самостоятельный минерал. В течение многих лет, с тех пор как были определены его свойства, сингалит принимали за коричневую или желтую разновидность оливина, имеющую более высокое содержание железа по сравнению с зеленой разновидностью. Нередко

он поступал на рынки в партиях хризобериллов или цейлонских цирконов, с которыми его объединяли только на основании сходства их внешнего вида. В действительности же сингалит вовсе не силикат, а борат магния и алюминия, содержащий то или иное количество железа. Его цвет варьирует от бледного соломенно-

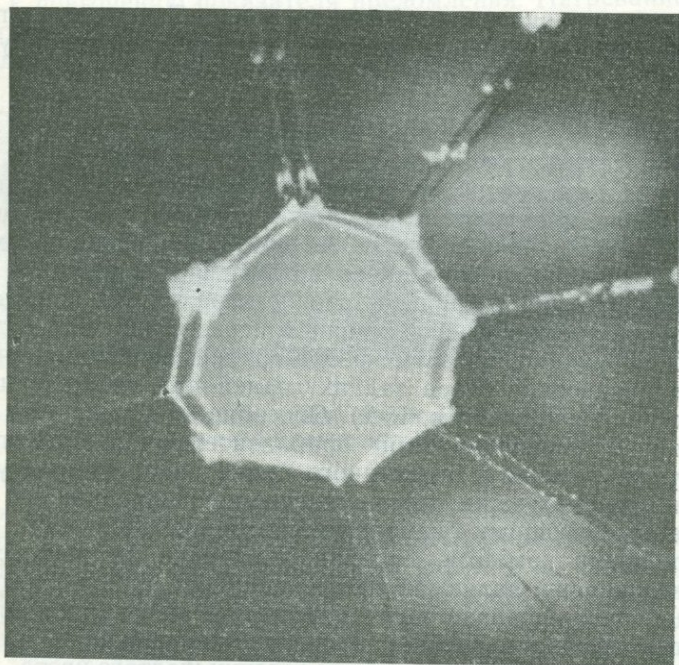


РИС. 15.2. Двупреломление, видимое через площадку циркона. Увеличение 18X.

желтого до невзрачного темно-коричневого. Наилучшие камни, как отмечено выше, имеют золотистый или зеленовато-коричневый цвет, очень напоминающий цвет хризоберилла или циркона.

Двупреломление сингалита 0,038, т. е. не столь высокое, как у циркона, но достаточное для того, чтобы наблюдалось раздвоение ребер задних граней у камней достаточного размера. Показатели преломления сингалита 1,670—1,708, что позволяет использовать рефрактометр для его определения. Удельный вес сингалита около 3,48, спектр поглощения очень похож на спектр поглощения хризолита, однако его характерной особенностью является лишняя полоса в синей части (4630 Å). Твердость минерала 6,5, «игра» слабая.

Касситерит, или оловянный камень, очень редко настолько прозрачен, что имеет смысл его гранить; он, как правило, окрашен в

Таблица 15.1

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ НЕКОТОРЫХ ЦИРКОНОВ

Образец	Удельный вес	Показатели преломления	Двупреломление
Золотисто-коричневый, Бирма	4,711	1,933—1,992	0,0588
Золотистый, Индокитай	4,697	1,926—1,985	0,0594
Коричневый, Бирма	4,693	1,926—1,984	0,0580
Бесцветный, Шри Ланка	4,687	1,926—1,985	0,0590
Голубой, Индокитай	4,690	1,927—1,986	0,0590
Красно-коричневый, темный, Шри Ланка	4,618	1,925—1,976	0,0510
Зеленый, Шри Ланка	4,546	1,920—1,962	0,042
Коричневый, Шри Ланка	4,472	1,910—1,938	0,028
Желто-зеленый, Шри Ланка	4,43	1,900—1,925	0,025
Зеленый, Шри Ланка	4,30	1,870—1,888	0,018
Зеленый, Шри Ланка	4,24	1,870—1,884	0,014
Зеленый, Шри Ланка	4,12	1,832—1,849	0,017
Оранжевый, Шри Ланка	4,008	1,823	Нет
Зеленый, Шри Ланка	3,99	1,830	Нет
Зеленовато-коричневый, Шри Ланка	3,98	1,818	Нет
Зеленый, Шри Ланка	3,965	1,792—1,796	0,004

темно-коричневый цвет. Однако благодаря сильному блеску и большому двупреломлению (0,10) он может весьма напоминать коричневый циркон, что и заставило нас упомянуть его именно здесь. Темноокрашенные камни из-за их высокой дисперсии, превышающей дисперсию алмаза, имеют очень живой вид. Незакрепленный камень кажется в руке тяжелым даже по сравнению с цирконом из-за большого удельного веса (6,9). В отличие от циркона он обладает дихроизмом, но в темных образцах один из лучей настолько сильно поглощается, что при осмотре камня через лупу раздвоения ребер можно не заметить. В спектре касситерита нет каких-либо характерных линий.

**Хризолиту** также свойственно высокое двупреломление, хотя по цвету и блеску он отличается от зеленого циркона. В случае каких-либо сомнений установить истину помогут рефрактометр или спектроскоп.

Иногда вследствие сильного блеска и «игры» за изотропный зеленый циркон можно принять **демантоид**. Поскольку демантоид стоит значительно дороже циркона, нужно уметь различать эти камни. Демантоид легко определить с помощью лупы по волокнистым включениям типа «лошадиного хвоста», которые неизменно в нем присутствуют. Кроме того, он имеет характерный спектр с интенсивной полосой в фиолетовой части при 4430 Å.

Из синтетических камней, похожих на циркон, **синтетический рутил** отличается от него гораздо большим раздвоением ребер задних граней и сильной игрой. Опытный глаз сумеет заметить разницу и в том случае, когда в качестве имитации голубого цир-

кона используется **голубая синтетическая шпинель**, которая не дает раздвоения ребер задних граней и выглядит красной под фильтром Челси; кроме того, в ее спектре поглощения проступают линии кобальта.

Различия, которые легко обнаружить у достаточно крупных камней, менее заметны в мелких образцах. Так, небольшие цирконы (иногда ограненные розой) могут сильно напоминать алмаз, а мелкие синтетические белые шпинели в кольцах иногда выдадут за цирконы. В таких случаях максимальную пользу принесет спектроскоп, поскольку даже мельчайшие белые цирконы в отраженном свете будут давать в спектре отчетливую линию в красной области при 6535 Å. В табл. 15.1 приведены свойства отдельных типовых образцов циркона, характеризующие весь ряд в целом.

Следует отметить, что все цейлонские метамиктные цирконы в большинстве случаев имеют зеленый цвет. Последний образец в табл. 15.1 был получен от проф. Худобы для выяснения причины странных колебаний в свойствах цирконов, о которых мы говорили выше.

№	Вид	Цвет	Спектр	Прозрачность	Свойства
1	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
2	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
3	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
4	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
5	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
6	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
7	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
8	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
9	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона
10	Циркон	Белый	Линия при 6535 Å	Прозрачный	Свойства циркона

Хризопраз также свойственно высокое двулучепреломление, хотя по твердости и блеску он уступает алмазу. В спектре поглощения хризопраза, установленного с помощью дифракционной решетки, можно обнаружить следующие линии: 4100, 4150, 4200, 4250, 4300, 4350, 4400, 4450, 4500, 4550, 4600, 4650, 4700, 4750, 4800, 4850, 4900, 4950, 5000, 5050, 5100, 5150, 5200, 5250, 5300, 5350, 5400, 5450, 5500, 5550, 5600, 5650, 5700, 5750, 5800, 5850, 5900, 5950, 6000, 6050, 6100, 6150, 6200, 6250, 6300, 6350, 6400, 6450, 6500, 6550, 6600, 6650, 6700, 6750, 6800, 6850, 6900, 6950, 7000, 7050, 7100, 7150, 7200, 7250, 7300, 7350, 7400, 7450, 7500, 7550, 7600, 7650, 7700, 7750, 7800, 7850, 7900, 7950, 8000, 8050, 8100, 8150, 8200, 8250, 8300, 8350, 8400, 8450, 8500, 8550, 8600, 8650, 8700, 8750, 8800, 8850, 8900, 8950, 9000, 9050, 9100, 9150, 9200, 9250, 9300, 9350, 9400, 9450, 9500, 9550, 9600, 9650, 9700, 9750, 9800, 9850, 9900, 9950, 10000.

Хризопраз также свойственно высокое двулучепреломление, хотя по твердости и блеску он уступает алмазу. В спектре поглощения хризопраза, установленного с помощью дифракционной решетки, можно обнаружить следующие линии: 4100, 4150, 4200, 4250, 4300, 4350, 4400, 4450, 4500, 4550, 4600, 4650, 4700, 4750, 4800, 4850, 4900, 4950, 5000, 5050, 5100, 5150, 5200, 5250, 5300, 5350, 5400, 5450, 5500, 5550, 5600, 5650, 5700, 5750, 5800, 5850, 5900, 5950, 6000, 6050, 6100, 6150, 6200, 6250, 6300, 6350, 6400, 6450, 6500, 6550, 6600, 6650, 6700, 6750, 6800, 6850, 6900, 6950, 7000, 7050, 7100, 7150, 7200, 7250, 7300, 7350, 7400, 7450, 7500, 7550, 7600, 7650, 7700, 7750, 7800, 7850, 7900, 7950, 8000, 8050, 8100, 8150, 8200, 8250, 8300, 8350, 8400, 8450, 8500, 8550, 8600, 8650, 8700, 8750, 8800, 8850, 8900, 8950, 9000, 9050, 9100, 9150, 9200, 9250, 9300, 9350, 9400, 9450, 9500, 9550, 9600, 9650, 9700, 9750, 9800, 9850, 9900, 9950, 10000.

## ТОПАЗ И ДРУГИЕ ЖЕЛТЫЕ КАМНИ

Раньше название «топаз» (с различными определениями и без них) применялось для обозначения нескольких разновидностей желтых драгоценных камней. Особенно упорной была тенденция использовать термины «дымчатый топаз», «топаз-кварц» или «кварц-топаз» как удобные торговые названия для желтого кварца или цитрина, которые очень напоминают топаз по внешнему виду<sup>1</sup>.

В течение последних десятилетий среди геммологов всего мира получило распространение движение за установление международной номенклатуры драгоценных камней, основанной на здравых принципах и направленной на то, чтобы каждый драгоценный камень имел правильное, вполне определенное собственное название, неприменимое к камням других видов. По крайней мере в Англии все споры на этот счет прекратились с тех пор, как был составлен Атлас торговых описаний камней и было запрещено применять название «топаз» для обозначения любого желтого камня, за исключением настоящего минерала, называвшегося «бразильским» или «драгоценным» топазом.

Обратимся теперь к описанию самого топаза. Природный минерал чаще всего бесцветен, хотя иногда попадаются камни, имеющие различные оттенки желтого и, реже, голубого и бледно-зеленого цветов. Некоторые камни винного цвета из Оуро-Прето (Бразилия) при осторожном нагревании приобретают красивый розовый цвет, и именно такие нагретые камни составляют большую часть розовых топазов, имеющих хождение на ювелирном рынке. Топаз относится к твердым камням — его твердость по шкале Мооса равна 8.

Показатель преломления и удельный вес изменяются очень слабо независимо от цвета камня. Для желтых и розовых камней, наиболее часто используемых в ювелирном деле, средний показатель преломления составляет 1,63—1,64, двупреломление 0,008, удельный вес 3,53; для бесцветных и голубых камней соответствующие значения равны 1,61—1,62, 0,010 и 3,56. Дихроизм отчетлив в розовых камнях; в желтых камнях он выражен хуже. Топаз исключительно легко полируется, и некоторые считают, что ограненный топаз можно определить на ощупь по его характерной

<sup>1</sup> Уральские камнерезы термин «топаз» («дымчатый топаз») употребляли только для обозначения светлого дымчатого кварца (мориона), тогда как настоящий топаз они всегда называли «тяжеловесом». — *Прим. ред.*

«скользкости». Известный геммолог прошлого сэр Артур Черч вспоминает в своих мемуарах, как он извлекал топазы из мешка с различными ограненными камнями, продававшимися за бесценок в одной из торгующих старьем лавок, погружая руку в мешок и определяя топазы на ощупь хорошо натренированным большим пальцем.

Топазы золотисто-желтого или винного цвета из Оуро-Прето содержат следы хрома и дают оранжевую флюоресценцию при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом или между скрещенными фильтрами. В полученных из них розовых обожженных камнях флюоресценция, как правило, более интенсивна и более красновата по цвету, поскольку хром при нагревании входит в кристаллическую решетку. При анализе с помощью спектроскопа эта флюоресценция может давать слабую линию при 6820 Å, отличающуюся по виду и расположению от четкой яркой линии, наблюдаемой в спектре флюоресценции сапфира.

Когда исследуют большую партию желтых камней или желтые камни в ювелирных изделиях, знание флюоресценции топаза может оказаться полезным для диагностики, однако всегда следует помнить о том, что при облучении ультрафиолетовым светом или в скрещенных фильтрах желтый цейлонский сапфир дает оранжево-желтую флюоресценцию, а синтетический желтый или оранжевый сапфиры (часто используемые в качестве имитаций топаза) флюоресцируют красным светом.

Что же касается камней, которые могут быть приняты за топаз, то наилучшей его имитацией несомненно является желтый кварц (цитрин), упомянутый выше. По внешнему виду их часто вообще невозможно различить, хотя цвет топаза обычно богаче и нежнее, чем цвет кварца, а качество полировки, как правило, выше. Для того чтобы показать, насколько различны по своим характеристикам (за исключением внешнего вида) кварц и топаз, мы приведем их свойства в табл. 16.1.

Таблица 16.1  
ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ТОПАЗА И КВАРЦА

Минерал	Состав	Система	Твердость по Моосу	Удельный вес	Показатели преломления
Топаз	$Al_2(F, OH)_2SiO_4$	Ромбическая	8	3,53	1,630—1,638
Кварц	$SiO_2$	Тригональная	7	2,65	1,544—1,553

Величины, указанные в табл. 16.1 для топаза, относятся к камням желтого или розового цвета, используемым в ювелирном деле. Различие в форме кристаллов кварца и топаза можно видеть на рис. 16.1, где также показаны типичные, окатанные водой гальки

бесцветного топаза, которые в изобилии встречаются в Нигерии и других африканских странах. Часто их ошибочно принимают за алмазы, ссылаясь при этом на довольно высокую твердость и удельный вес, близкий к удельному весу алмаза.

Если камень не закреплен в оправе, то высокий удельный вес топаза можно ощутить, взвесив камень в руке, однако для боль-

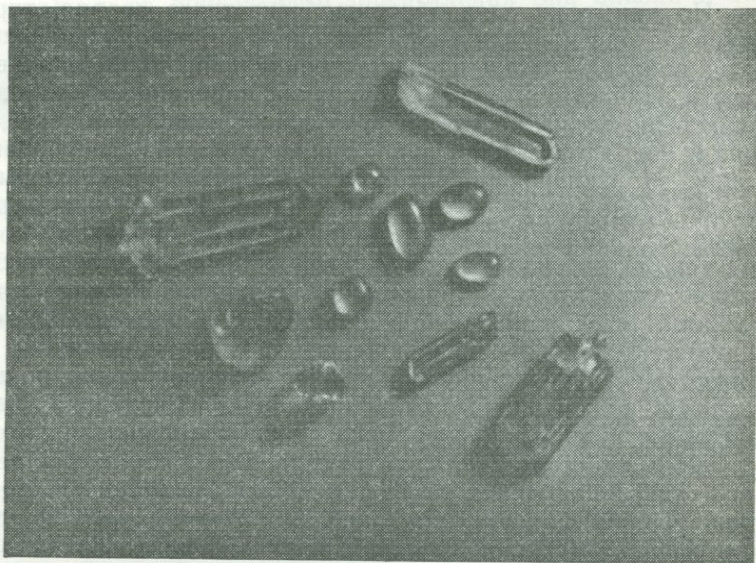


РИС. 16.1. Кристаллы и галька топаза. Вверху — два кристалла кварца.

шей надежности лучше погрузить камень в бромформ или иодистый метилен: кварц будет плавать, топаз утонет. Кварц имеет настолько постоянную плотность (чего нельзя сказать о его цвете), что имеет смысл приготовить раствор бромформа, разбавленного бензолом, толуолом или бромнафталином до плотности 2,65, используя в качестве индикатора кусочек кварца, который должен находиться в этом растворе во взвешенном состоянии. В такой жидкости аметисты, бесцветные или желтые разновидности кварца, будут взвешены или станут очень медленно тонуть или всплывать. Кстати, эта же жидкость дает возможность легко распознавать кашачий глаз из кварца и хризоберилла и служит для определения синтетического изумруда.

Если камень закреплен в оправе, самые лучшие результаты дает, как обычно, исследование на рефрактометре. Это, пожалуй, *единственное* надежное средство для распознавания желтых камней, очень сходных по внешнему виду. Кроме кварца это могут быть желтые сапфир, турмалин, берилл и, менее вероятно, хризо-

**берилл** или **циркон**. Розовый топаз похож на розовый **турмалин** или **сапфир**. Голубой или бледно-зеленый топаз часто ошибочно принимают за **аквамарин**, на который он действительно очень похож. Появившиеся недавно темно-синие топазы похожи на **сапфир** (см. гл. 12).

Бесцветный топаз не пользуется на рынке большой популярностью, хотя хорошо ограненные камни могут быть весьма красивыми. По внешнему виду образцы бесцветного кварца, турмалина, берилла или корунда различить очень трудно. К этому списку можно добавить **пасты** и **синтетический сапфир** соответствующего цвета. Дублеты, имитирующие топаз, появляются редко, хотя возможность встречи с ними исключать не следует.

Топаз и все упомянутые выше камни, сходные с ним по внешнему виду, за исключением циркона могут быть определены по показателю преломления, измеряемому на рефрактометре. Циркон вследствие его высокого двупреломления легко определить с помощью лупы. Как можно видеть из табл. 16.2, турмалин представляет собой единственный природный минерал, напоминающий топаз (кроме редко встречающихся апатита и данбурита), показатель преломления которого находится в тех же пределах, что и у топаза. Поскольку двупреломление турмалина вдвое больше, чем у топаза, оба камня можно определить, тщательно измеряя максимальный и минимальный показатели преломления. Повернув турмалин на столике рефрактометра до образования максимального расстояния между границами области затенения, можно отчетливо увидеть обе границы даже в обычном свете на стандартном рефрактометре. У топаза в этих условиях обе границы лежат настолько близко друг к другу, что практически сливаются, хотя при повороте камня на столике и наблюдается их некоторое перемещение.

Часто встречаются **пасты**, которые имеют такой же, как и топаз, показатель преломления, но более высокую, чем он, дисперсию. На рефрактометре такие пасты дают только одну довольно резкую границу области затенения. Чтобы различить три указанных материала с полной гарантией, рекомендуется применять натриевый свет (бросив щепотку поваренной соли в пламя газовой горелки в затемненной комнате) или яркий свет лампы накаливания в сочетании с подходящим цветным фильтром. Идеальным прибором для измерения показателей преломления в этой области служит специальный шпинелевый рефрактометр фирмы «Рейнер», который позволяет получать четко очерченные границы области затенения при обычном белом свете для природных камней и радужную каемку для паст, обладающих более высокой дисперсией (обратная картина наблюдается при измерении на стандартном рефрактометре, где применяется полусфера или призма из свинцового стекла). На рефрактометре может быть получено только одно приблизительное значение показателя преломления 1,63, поэто-

му определить камень можно только с помощью микроскопа. Топаз при этом кажется обычно очень «чистым», тогда как турмалин редко не имеет жидких включений, похожих на трещины; для паст характерно наличие сферических газовых пузырей или свилей.

**Данбурит и апатит**, хотя и не используются в промышленных масштабах, могут давать при огранке прозрачные желтые камни. Поскольку по показателям преломления они близки к топазу, о них следует здесь кратко упомянуть. На шпинелевом рефрактометре можно определить, что двупреломление у данбурита (0,006) гораздо ниже, чем у топаза (0,008), а у апатита еще ниже (0,002). На стандартном рефрактометре даже в натриевом свете разницу в этих величинах заметить трудно. Поэтому в сомнительных случаях необходимо применять спектроскоп или тяжелые жидкости. В отличие от топаза как данбурит, так и апатит в иодистом метиле не плавают, тогда как в жидкости с плотностью 3,06 будет плавать только данбурит. Желтый апатит имеет весьма интенсивный спектр редких земель (см. гл. 8), спектр данбурита подобен ему, но настолько слаб, что едва заметен.

Рефрактометр позволяет легко отличить **биррилл**, желтый **сапфир** и **хризоберилл** от топаза. Желтый или желто-зеленый хризоберилл является живым, ярким камнем, который почему-то не завоевал популярности в ювелирном деле. Он часто содержит включения других минералов и дает широкую полосу поглощения в сине-фиолетовой части спектра, позволяющую уверенно отличить его от корунда (гл. 8).

Следует также упомянуть о том, что топаз обладает совершенной спайностью, т. е. способностью раскалываться вдоль плоскостей, параллельных основанию природного кристалла. Это обстоятельство вызывает необходимость аккуратно обращаться с камнем, поскольку резкие сотрясения могут привести к образованию трещин по спайности и даже к разрушению камня. Автор однажды видел, как серьги с длинными каплеобразными топазами раскололись по плоскости спайности, когда их уронили на стекло, покрывающее туалетный столик.

Сделаем краткие выводы о простейших методах определения топаза. Чаще всего за желтый топаз принимают кварц (цитрин). Если камень не закреплен, то простое испытание в бромформе немедленно даст правильный ответ: кварц будет плавать, а топаз тонуть. Для отличия желтого, розового, голубого или бесцветного топаза от всех других камней, похожих на него по внешнему виду, необходимо только тщательно определить на рефрактометре показатель преломления. Если величина светопреломления отличается от 1,63, камень не может быть топазом; если она близка к 1,63, то это может быть топаз, турмалин или паста. Если различимы оба края затененной области и величина двупреломления равна примерно 0,02, камень является турмалином. Для уверен-

Таблица 16.2

## ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ТОПАЗА И ПОХОЖИХ НА НЕГО КАМНЕЙ

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Средний показатель преломления	Двупреломление	Дихроизм
Топаз	8	3,53	1,63	0,008	Отчетливый
Циркон	7,5	4,69	1,95	0,059	Слабый
Корунд	9	3,99	1,76	0,008	Слабый
Хризоберилл	8,5	3,72	1,74	0,008	Отчетливый
Пасты <sup>1</sup>	5	3,7	1,63	Нет	Нет
Апатит	5	3,20	1,64	0,002	Сильный
Турмалин	7	3,10	1,63	0,018	Отчетливый
Данбурит	7	3,00	1,63	0,006	Слабый
Берилл	7,5	2,68	1,57	0,006	Слабый
Кварц	7	2,65	1,55	0,009	Слабый <sup>2</sup>
Ортоклаз	6	2,56	1,53	0,005	Слабый

<sup>1</sup> Различные пасты сильно различаются по показателю преломления и удельному весу. Здесь даны средние величины.

<sup>2</sup> Большинство образцов желтого кварца, находящихся в обращении на ювелирном рынке, подвергалось нагреванию. Поэтому они практически не имеют дихроизма. Необработанный цитрин или дымчатый кварц обнаруживают совершенно отчетливый дихроизм.

ного отличия на рефрактометре топаза с его низким двупреломлением (0,008) от изотропных паст необходимо монохроматическое освещение, хороший цветной фильтр или специальный шпинелевый рефрактометр. Если выявлен дихроизм и образец царапает полированную поверхность кварца, он не может быть пастой. Под микроскопом в пастах обычно наблюдаются 1—2 пузырька или свиля. В топазе, даже если он не содержит кристаллических включений, под микроскопом всегда видно раздвоение ребер задних граней. Следует помнить, что быстрый метод проверки желтого топаза — выявление флюоресценции между скрещенными фильтрами. Если флюоресценции нет, камень не топаз. Слабое красное или оранжевое свечение указывает на топаз или сапфир (синтетический или природный).

В табл. 16.2 приведены физические константы топаза и похожих на него камней. Для полноты картины в таблицу включены такие редко встречающиеся в практике камни, как данбурит (желтый или бесцветный), желтый или голубой апатит и желтый мадагаскарский ортоклаз.

## ДРУГИЕ ЖЕЛТЫЕ КАМНИ

Выше при описании желтых камней основное внимание было уделено топазу, и другие желтые камни рассматривались лишь в связи с ним, как возможные его имитации. Однако существует несколько важных для ювелирного дела желтых камней, которые, конечно, не должны рассматриваться как имитации топаза, и сейчас мы перейдем к их описанию.

**Желтый сапфир.** Прекрасным драгоценным камнем может быть желтый сапфир. Он, конечно, имеет твердость, свойственную всем корундам (9 по Моосу), и замечательный цвет. Чаще всего встречаются цейлонские камни. Как правило, они имеют очень бледную окраску и поэтому сравнительно дешевы. Однако густо окрашенные камни являются, по-видимому, одними из наиболее красивых среди корундов. Обычно они содержат многочисленные включения: жидкие в виде отпечатков пальцев, кристаллы циркона, окруженные кольцевыми трещинами или «гало», свидетельствующими об их метамиктной природе, и т. д. При облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом такие камни дают зеленовато-желтую флюоресценцию. В их спектре поглощения практически не наблюдается линии при 4750 Å, характерной для спектра всех природных сапфиров, содержащих железо. В то же время желтые сапфиры из Таиланда и Австралии неизменно содержат железо, дают группу интенсивных полос поглощения в сине-фиолетовой части спектра и не обладают флюоресценцией. Эти камни гуще окрашены, чем цейлонские сапфиры, и могут быть очень красивыми.

**Синтетические желтые сапфиры** практически не имеют признаков, характерных для синтетических камней. Обычно их получают методом Вернейля, однако в отличие от синего и красного корундов були желтого цвета растут медленно, в связи с чем изогнутые линии роста в них практически отсутствуют. Даже фотометод, рекомендованный в гл. 7, не дает положительных результатов. Исследователя должно настораживать отсутствие флюоресценции, полос поглощения или включений, так же как следы грубой обработки на автоматах в сочетании, как правило, с широким рундистом и точными размерами по высоте и диаметру.

Следует помнить, что бледные цейлонские сапфиры после нескольких минут облучения рентгеновскими лучами приобретают более темный и густой оттенок. Этот цвет, однако, быстро выгорает на солнце. К сожалению, лишь такое выгорание служит доказательством того, что желтая окраска сапфира была получена путем облучения.

Замечательным драгоценным камнем является желтый **хризоберилл** высокого качества. Большая твердость (8,5) обеспечивает камню хорошую полировку, которая сохраняется длительное время. Гамма окрасок желтого хризоберилла варьирует от бледного соломенно-желтого или (наиболее популярного) золотистого оттенка до зеленого или коричневого цветов в зависимости от содержания железа. Показатели преломления хризоберилла (1,747—1,756) лишь немного ниже, чем у корунда, а его двупреломление почти такое же, тем не менее при тщательном измерении показателей преломления на рефрактометре можно уверенно различить эти камни. Удельный вес хризоберилла достаточно стабилен и составляет 3,72. Очень полезна для диагностики камня полоса по-

глощения при 4440 Å в фиолетовой части спектра. Она заметно отличается от полосы в спектре сапфира, так как представляет собой одну полосу, а не группу из трех полос, захватывающих и синюю часть спектра. Желтый хризоберилл не дает флюоресценции, поскольку железо подавляет ее. В ювелирных украшениях викторианского века нередко встречаются мелкие, невысокого качества, бледные хризобериллы, вероятно происходящие из России. В прошлом они были известны как «хризолиты». Лучшие образцы желтого хризоберилла в настоящее время поступают из Бразилии и с острова Шри Ланка. Очень редко, когда хризоберилл не содержит примесей, он совершенно бесцветен. Такие камни находят иногда в ассоциации с алмазом при добыче последнего из аллювиальных месторождений.

Высококачественный **желтый берилл** отличается большой красотой, а его высокая твердость обеспечивает прекрасную зеркальную полировку. Как и все другие бериллы, за исключением изумруда, он выделяется особой прозрачностью — свойством, наиболее привлекательным в этом камне. Необходима исключительная прозрачность, чтобы камень заиграл с наибольшим эффектом. Бледные желтые бериллы весьма невзрачны. Наиболее высоко ценятся золотистые бериллы, так называемые гелиодоры. Желтые бериллы не отличаются какими-либо особыми свойствами, и самым простым методом их определения является измерение показателей преломления с помощью рефрактометра (типичные значения 1,570 и 1,575). Камень оптически отрицателен. Удельный вес обычно равен 2,68 — максимально низкое значение для ювелирных бериллов. Следует, пожалуй, отметить, что полевым шпатом **лабрадор** иногда встречается в виде прозрачных бледно-желтых обломков и по удельному весу и показателям преломления может быть близок к бериллу. Однако его двупреломление вдвое больше, чем у берилла, и на рефрактометре, тщательно изучая светопреломление, можно заметить, что при вращении камня почти посередине между крайними значениями наблюдается граница затенения от промежуточного луча. Таким образом, при тщательном измерении показателей преломления можно определить, что минерал двуосный. Цвет полевого шпата непривлекательный, и этот камень является скорее объектом коллекционирования, чем коммерческим драгоценным камнем.

Иногда встречающийся **желтый турмалин** можно легко определить на рефрактометре. Как показатели преломления, так и удельный вес этого камня несколько превышают соответствующие величины для большинства прозрачных турмалинов. Типичные значения: 1,623—1,643 для показателей преломления и 3,10 для удельного веса. Камень одноосный отрицательный.

Желтый цвет характерен для **сфена**. Часто такой же цвет имеет **циркон**. У обоих камней наблюдается сильное раздвоение ребер задних граней, и для обоих нельзя определить светопреломление

на рефрактометре. Удельный вес сфена 3,53, что лишь ненамного превышает удельный вес алмаза. Плотность желтых цирконов (4,65÷4,70) достигает значений, максимальных для этого минерала. Циркон может быть определен по его спектру поглощения, хотя у обожженных камней он может состоять лишь из линий при 6534 и 6590 Å. В спектре сфена единственными линиями являются слабые линии редких земель в желтой области. В спектре **желтого апатита** наблюдаются линии редких земель в виде двух групп линий в желтой и зеленой областях. Его показатели преломления (1,634—1,637) и низкое двупреломление (0,003) служат хорошими отличительными признаками.

**Желтый данбурит** с показателями преломления 1,630 и 1,636 близок к апатиту; он содержит кальций и поэтому может давать в спектре слабые линии редких земель. Для определения этих камней необходимо испытать их в соответствующих тяжелых жидкостях, так как удельный вес апатита 3,21, данбурита 3,00. Оба камня являются объектами коллекционирования и редко используются в ювелирных целях.

## РОЗОВЫЕ, ЛИЛОВЫЕ И СИРЕНЕВЫЕ КАМНИ

Выше были рассмотрены способы, позволяющие определять бесцветные, красные, синие, зеленые, светлые сине-зеленые и желтые камни. Теперь обратимся к розовым, лиловым и сиреневым камням, с которыми иногда сталкиваются ювелиры. К ним относятся **кунцит** (сиреневый сподумен), **морганит** (розовый берилл), **розовый топаз**, **розовый турмалин**, **розовый сапфир** и бледно-лиловые образцы **аметиста** и **шпинели**. В эту же группу должны быть включены синтетический корунд и синтетическая шпинель соответствующих цветов, пасты и дублеты.

Некоторые из этих камней очень трудно узнать по внешнему виду, хотя приводимые ниже сведения могут отчасти помочь в этом.

**Кунцит** является скорее сиреневым, чем розовым камнем. При осмотре кунцита с помощью лупы у камня обнаруживается отчетливое раздвоение ребер задних граней, поскольку его двупреломление достаточно высоко (0,015). Хорошая спайность затрудняет огранку кунцита. По этой же причине он требует аккуратного обращения. В руках опытного гранильщика камни получают яркими и блестящими. В длинноволновом ультрафиолетовом свете кунцит дает характерную оранжевую флюоресценцию. Другой отличительный признак — дихроизм, необычайно сильный для такого бледноокрашенного камня.

Цвет красивого розового берилла, называемого **морганитом**, скорее розовый, чем сиреневый. Как и кунцит, он обычно имеет бледную окраску и, подобно другим бледноокрашенным бериллам, отличается исключительной прозрачностью и чистотой. Двупреломление у морганита невелико и его нельзя определить с помощью лупы, но крупные камни составляют в этом отношении исключение. Морганит часто содержит примеси редкого щелочного металла цезия и, как следствие этого, имеет заметно более высокую плотность, чем другие бериллы, и более высокий показатель преломления. **Розовый топаз**, получаемый при обжиге некоторых коричневато-желтых бразильских камней, имеет более нарядный по сравнению с кунцитом или морганитом цвет и хорошо полируется. Ограненные топазы кажутся скользкими на ощупь. Чаще всего они гранятся в форме удлиненного овала в соответствии с вытянутой формой кристаллов.

**Розовый турмалин** очень похож на топаз и по той же причине гранится в виде удлиненных камней, однако совершенно чистые

камни встречаются редко. Розовый турмалин нередко можно легко отличить по типичным трещиноподобным включениям (рис. 21.2). Кроме того, из-за сильного двупреломления (0,018) раздвоение ребер задних граней у него более заметно, чем у топаза. Розовый корунд, обычно называемый **розовым сапфиром**, есть не что иное, как бледноокрашенный рубин, поскольку оба этих минерала представляют собой корунды, окрашенные окисью хрома.

Почти все розовые сапфиры поступают с острова Шри Ланка, причем в их «цвет» входит некоторое количество синего цвета, что придает им истинный розовый цвет даже в глубоких по тону камнях, заметно отличающийся от рубиново-красного цвета рубинов. Граница между «розовым сапфиром» и «рубином» условна и часто устанавливается субъективно. Разграничивать эти камни следует всегда при дневном освещении. К сожалению, на субъективное мнение влияют еще конъюнктурные соображения, поскольку название «рубин» более престижно. Аналогичные трудности, нередко связанные с ценой камня, возникают при определении границы между «изумрудом» и «зеленым бериллом», а также между «александритом» и «зеленым хризобериллом». Поскольку решающими при определении принадлежности камня к той или иной из указанных разновидностей должны быть научно обоснованные критерии, то следует ориентироваться в данном случае на содержание хрома в образцах, которое устанавливается с помощью спектроскопа. Светлые аметисты гранят редко, так как значительно красивее выглядят темные камни. Тем не менее некоторые светлые аметисты очень похожи по цвету на кунцит, хотя и блестят не так сильно, как он. Аметисты часто имеют неравномерную окраску, распределяющуюся в виде зон и пятен.

**Синтетический корунд** различных оттенков розового цвета применяют для имитации розового топаза; при этом он выглядит «слишком хорошо, чтобы быть настоящим топазом». Порой трудно установить, синтетическим или природным является очень чистый розовый сапфир. В этом случае сотрудники лабораторий должны помнить, что у синтетического корунда наблюдается продолжительная фосфоресценция после облучения рентгеновскими лучами. **Синтетическая шпинель**, если она хорошо огранена, очень эффектна и красива, но она несколько отличается по внешнему виду от камней, описанных выше. Природная же шпинель иногда имеет бледно-лиловый или бледно-сиреневый цвет. Поэтому целесообразно проверить камень на рефрактометре (см. табл. 17.1). Цвет синтетической розовой шпинели обусловлен, как это ни удивительно, трехвалентным железом, вследствие чего в спектре камня наблюдаются две характерные полосы поглощения: одна в желтой области при 5800 Å и другая, более сильная, в зеленой при 5550 Å. Наконец, нередко встречаются розовые пасты и дублеты, которые на первый взгляд могут показаться натуральными

Таблица 17.1

## ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ РОЗОВЫХ, ЛИЛОВЫХ И СИРЕНЕВЫХ КАМНЕЙ

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Средний показатель преломления	Двупреломление	Дихроизм
Розовый корунд	9	3,99	1,76	0,008	Слабый
Синтетическая шпинель	8	3,63	1,727	Нет	Нет
Природная шпинель	8	3,59	1,715	Нет	Нет
Розовый топаз	8	3,53	1,63	0,008	Отчетливый
Кунцит	7	3,18	1,67	0,015	Отчетливый
Розовый турмалин	7	3,04	1,63	0,018	Отчетливый
Морганит	7	2,80	1,59	0,008	Слабый
Аметист	7	2,65	1,55	0,009	Слабый

камнями, вводя наблюдателя в заблуждение; однако более внимательное изучение обычно позволяет сделать правильный вывод.

Рассмотрим простейшие приемы, посредством которых похожие по внешнему виду камни могут быть разграничены и надежно определены. Для облегчения задачи приводится таблица физических констант, в которой камни расположены в порядке уменьшения удельного веса (табл. 17.1).

Анализ табл. 17.1 сразу показывает, что, если камень не закреплен, последовательное испытание в бромформе и иодистом метиле позволит отделить морганит и аметист от всех других похожих камней, а кунцит и турмалин — от топаза, шпинели и корунда. Если имеем раствор бромформа с плотностью 2,65, то он поможет узнать аметист. Корунд легко выявить в жидкости Клеричи соответствующей концентрации.

Точно идентифицировать камни без удаления их из оправы можно с помощью рефрактометра. В том случае, когда есть возможность применить монохроматический (натриевый) свет или белый свет в сочетании с хорошим фильтром, рефрактометр позволяет определить практически все вышеупомянутые камни. Природный и синтетический корунды имеют одинаковые показатели преломления, и для их распознавания необходимы микроскопические исследования; синтетическая шпинель имеет гораздо больший показатель преломления, чем бледно-сиреневые природные шпинели, и дает аномальное двупреломление между скрещенными поляроидами.

Если показания рефрактометра находится вблизи значения 1,63, необходимо внимательно определять двупреломление, чтобы отличить турмалин с его высоким двупреломлением (0,018) от топаза (только 0,008) и стекла, которое изотропно и дает на шкале прибора только одну границу затененной области. Почти все без исключения дублеты имеют показатель преломления 1,79, харак-

терный для альмандина, образующего площадку камня. В то же время нижняя часть, если представится возможность ее изучить, даст величину 1,62 или около того в соответствии с примененным типом стекла. У кунцита границы затененной области на шкале рефрактометра располагаются достаточно далеко друг от друга, и по этому признаку его легко отличить от стекла — единственно-го похожего на него розового материала, показатель преломления которого находится в той же части шкалы. Морганит имеет более высокие по сравнению с другими бериллами показатели преломления и двупреломление, а его плотность гораздо выше благодаря присутствию в нем редких щелочных металлов. Значения, приведенные в табл. 17.1 для мorganита, типичны, но могут колебаться, поэтому ювелир не должен тревожиться, если показания его прибора будут несколько отличаться от приведенных нами величин. Что же касается других простых способов определения, то следует помнить и о твердости — наибольшей у сапфира и наименьшей у стекла.

Различие в дихроизме у бледноокрашенных образцов заметить трудно, однако если оно есть, то можно быть уверенным в том, что исследуемый камень не является стеклом, дублетом или какой-либо шпинелью.

В заключение можно сказать, что кунцит и аметист чаще, чем какие-либо другие розовые камни, окрашены в различные оттенки сиреневого или фиолетового цвета. *Кунцит* легко определить по непропорционально большой высоте камня, отчетливому дихроизму и высокому двупреломлению, *турмалин* — по типичным для него включениям и двупреломлению, *синтетическую шпинель* — по сверканию и прозрачности, *розовый сапфир* — по «шелку» и жидким включениям, *розовый топаз* — по удлиненной форме и скользкой поверхности. Наиболее надежно эти камни определяются с помощью рефрактометра с последующим осмотром их под микроскопом, если возникает необходимость отличить природный корунд от синтетического. Если камни не закреплены в оправе, то для их определения очень полезно испытание в тяжелых жидкостях. Иногда хорошим ориентиром служит флуоресценция, которая в ряде случаев позволяет точно идентифицировать камень.

## КОРИЧНЕВЫЕ И ОРАНЖЕВЫЕ КАМНИ

В предыдущих главах, посвященных практическим методам диагностики отдельных камней, мы уже рассказали о камнях почти всех цветов, но коричневые и оранжевые камни еще не рассматривались. Поскольку они образуют группу, в которую входят несколько распространенных камней, целесообразно посвятить им отдельную главу. *Оранжевым* практически является только один драгоценный камень — огненный опал. К камням, цвет которых можно определить как *оранжево-коричневый*, относятся гранат гессонит (или коричный камень), часто называемый гиацинтом, и довольно близкий к нему по цвету циркон, который правильнее называть гиацинтом. В группу *коричневых* камней помимо кварца и топаза (они описаны в гл. 16) входят турмалин, хризоберилл и более редкие спессартин, сингалит, сфалерит и сфен. К этой же цветовой категории можно отнести идокраз, андалузит, касситерит и бурый алмаз.

Все эти камни не очень дорогие. Поэтому их имитации встречаются редко. Необходимо упомянуть и о синтетическом корунде особого коричневатого-оранжевого цвета, получившем название «падпарадшах» (произносится по-разному), хотя намерение применять его для имитации граната, топаза и циркона не совсем понятно. Автору однажды довелось увидеть целое ожерелье из таких синтетических камней, ограненных и оправленных в золото. Природные корунды с оранжевым оттенком встречаются очень редко.

**Огненный опал** в отличие от остальных опалов обычно не имеет ни «игры» цветов, ни блеска, и вся его прелесть заключается в замечательном пламенно-красном цвете. Лучшие образцы огненного опала почти совершенно прозрачны. При обработке опала применяются ступенчатые или смешанные виды огранки, причем площадку делают слегка выпуклой. Опал как аморфное вещество не имеет дихроизма и двупреломления, и в этом отношении его свойства совпадают со свойствами имитаций из **стекла** или пластмасс, например **бакелита**.

Если камень вызывает подозрение, лучше всего извлечь его из оправы и измерить показатель преломления и удельный вес, которые у настоящего опала достаточно постоянны и характерны. Методом дистанционного наблюдения можно получить показатель преломления камня даже с выпуклой площадкой, хотя такие измерения легче выполняются в случае камней, имеющих большую

кривизну. В стекле под микроскопом можно, как правило, увидеть пузырьки и свили, а пластмассы дают стружку под лезвием перочинного ножа. Степень вязкости при этом зависит от типа пластмассы.

Наиболее распространенные пластмассы имеют удельный вес от 1,25 до 1,45, что заметно ниже удельного веса опала (2,00). В то же время показатель преломления у них намного выше — от 1,49 до 1,65, тогда как у опала он равен 1,45. Следует отметить, что такие имитации встречаются редко, кроме, пожалуй, дешевой бижутерии. Другие методы определения огненного опала будут описаны в гл. 19.

Оба камня, за которыми издавна закрепилось неудачное название «гиацинт», а именно оранжево-коричневый гранат **гессонит** и **циркон** (жаргон), очень схожи по внешнему виду. Коричневый гессонит можно узнать по множеству мелких включений, придающих камню характерный зернистый вид (рис. 20.3), тогда как циркону присущи характерный смолисто-алмазный блеск и сильное дву-преломление. Дихроскоп в данном случае бесполезен, поскольку гранат представляет собой изотропный материал и, следовательно, не имеет дихроизма, а дихроизм цирконов, за исключением голубых камней, выражен очень слабо. На рефрактометре гессонит обычно дает значение показателя преломления около 1,743, однако примесь алмандиновой молекулы может несколько поднять эту величину. Гессониты с большим содержанием алмандиновой молекулы имеют отчетливый красноватый оттенок и легко узнаваемый спектр поглощения алмандина.

Нельзя исключить возможности того, что камень, считающийся гессонитом, в действительности является **спессартином** — другим представителем большого семейства гранатов. Хорошие образцы этого марганцевого граната настолько редки, что ценятся коллекционерами довольно высоко. Показатель преломления и удельный вес спессартина очень близки к соответствующим константам алмандина (т. е. 1,79 и 4,10), но его цвета относятся к совершенно иной гамме. Спессартины — желтые, оранжевые и оранжево-коричневые, алмандины имеют глубокий пурпурно-красный цвет. В синей и фиолетовой областях спектра поглощения этого камня наблюдаются полосы, обусловленные марганцем (гл. 8). Иногда встречаются гранаты, содержащие гессонитовую и спессартиновую (или алмандиновую и спессартиновую) молекулы. **Циркон** с его высоким показателем преломления дает «отрицательное» показание на обычном рефрактометре, т. е. граница затененной области от камня заходит за границу, которую дает контактная жидкость. В сочетании с внешним видом этот признак достаточен для определения циркона, однако как возможный вариант необходимо иметь в виду коричневый **сфен**, поскольку он также дает «отрицательное» показание на рефрактометре и имеет даже более высокое, чем циркон, двупреломление, которое, впро-

чем, иногда трудно определить из-за полного поглощения одного из лучей. И только дихроскоп поможет отбросить все сомнения, поскольку коричневый сфен сильно дихроичен, а у циркона такого же цвета дихроизм отсутствует. Надежно идентифицировать материал позволяет спектр поглощения циркона.

Коричневые хризолиты редко используются в ювелирном деле, хотя коричневые, богатые железом экземпляры не редкость среди преобладающей зеленой гальки, добываемой в шт. Аризона. Эти камни имеют высокие показатели преломления и удельный вес (см. табл. 18.1). По внешнему виду и свойствам их легко принять за сингалит, который впервые стали рассматривать в качестве нового минерала в 1952 г. Это был второй случай, когда новый минеральный вид был открыт при исследовании ограненных камней. Первым минералом, открытым таким неожиданным способом, оказался таффеит (1945 г.). Сингалит — борат магния и алюминия, и, следовательно, по составу он совершенно отличен от минералов группы хризолита, который представляет собой силикат магния и железа. Тем не менее оба минерала имеют одинаковую ромбическую структуру, и этим объясняется близкое сходство их физических свойств. У сингалита они более стабильны, чем у хризолита, поскольку его химический состав более постоянный, в особенности по содержанию железа.

Таблица 18.1  
ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ КОРИЧНЕВЫХ И ОРАНЖЕВЫХ КАМНЕЙ

Камень	Твердость по Моосу	Удельный вес	Средний показатель преломления	Двупреломление	Дихроизм
Касситерит	6,5	6,9	2,04	0,10	Отчетливый
Шеелит	5	6,0	1,93	0,017	Отчетливый
Циркон	7,5	4,69	1,95	0,059	Очень слабый
Спессартин	7	4,16	1,80	Нет	Отсутствует
Сфалерит	3,5	4,09	2,37	Нет	Отсутствует
Корунд	9	3,99	1,76	0,008	Слабый
Хризоберилл	8,5	3,71	1,75	0,009	Отчетливый
Гессонит	7,25	3,65	1,74	Нет	Отсутствует
Топаз	8	3,53	1,63	0,008	Отчетливый
Сфен	5	3,53	1,96	0,12	Сильный
Алмаз	10	3,52	2,42	Нет	Отсутствует
Сингалит	6,5	3,48	1,69	0,038	Слабый
Везувиан	6,5	3,38	1,70	0,005	Отчетливый
Андалузит	7,5	3,15	1,64	0,010	Сильный
Турмалин	7	3,07	1,63	0,018	Сильный
Кварц	7	2,65	1,55	0,009	Слабый
Огненный опал	5,5	2,00	1,45	Нет	Отсутствует

Минимальные значения показателей преломления для сингалита, полученные при изучении золотисто-коричневого образца весом 17,5 карата, составляли 1,667, 1,697 и 1,705. Минимальное значение удельного веса для того же камня 3,465. Максимальные

значения — 1,676, 1,704 и 1,712 для показателей преломления и 3,52 для удельного веса — были определены у коричневато-зеленого камня. «Набор» минимальных констант сингалита очень близок к «набору» констант коричневого аризонского хризолита, показатели преломления которого равны 1,668, 1,674 и 1,704, а удельный вес 3,43. В этом случае распознавание камней с помощью измерения показателей преломления должно опираться на определение величины перемещения границы затененной области, соответствующей максимальному показателю преломления. У сингалита  $n_m$  гораздо ближе к  $n_g$ , чем к  $n_p$ , тогда как у хризолита  $n_m$  лежит почти посередине между крайними значениями. К счастью, разрешить все сомнения в тех немногих случаях, когда они возникают, помогает изучение спектров поглощения этих двух минералов. В спектре хризолита имеются три равномерно распределенные полосы в зеленой и синей областях при 4930, 4730 и 4530 Å. В спектре поглощения сингалита наблюдаются полосы при 4930, 4750, 4630 и 4500 Å. «Лишняя» полоса при 4630 Å является характерной для сингалита.

Высококачественные образцы сингалита дают прекрасные золотисто- или зеленовато-коричневые камни, чистые и нередко значительных размеров. После публикации сообщения об открытии сингалита его образцы стали находить в партиях хризобериллов и цирконов такого же, как и он, цвета. Лишь сравнительно невысокая твердость (6,5 по шкале Мооса) не позволяет этому камню занять достаточно почетное место в ряде наиболее ценных камней.

Если рассматривать все возможные случаи, то следует упомянуть алмаз и касситерит, которые дают «отрицательные» показатели на рефрактометре и имеют соответствующий цвет. Коричневый алмаз с его алмазным блеском, отсутствием двупреломления и исключительной твердостью легко отличить от других камней, хотя его цвет может быть обусловлен облучением заряженными частицами с последующим нагреванием. Методы определения облученных алмазов обсуждаются в гл. 10. Касситерит — ценная оловянная руда, в образцах, пригодных для огранки, встречается крайне редко и представляет интерес только для коллекционеров.

Распространенные драгоценные камни — коричневый турмалин и коричневый хризоберилл очень трудно отличить друг от друга на основании внешнего вида. Оба камня имеют более густой коричневый цвет по сравнению с вышеописанными камнями и не очень красивы. Турмалины этого типа сильно поглощают свет, чем объясняется их совершенно «мертвый» вид. Двупреломление, которое можно наблюдать у большинства турмалинов с помощью лупы, в данном случае незаметно, поскольку один из двух расщепленных лучей (обыкновенный) полностью поглощается в камне и в дихроскопе его изображение выглядит практически черным в сравнении с другим изображением, имеющим коричневый цвет.

Определять эти два минерала лучше всего с помощью рефрактометра: турмалин дает две узкие границы затененной области вблизи значений 1,62 и 1,64 при их максимальном удалении друг от друга, тогда как хризоберилл имеет более высокие показатели преломления (1,74 и 1,75), причем двупреломление у него настолько низкое, что обнаруживается только в монохроматическом свете. При изучении этих камней можно встретиться с приятной, хотя и маловероятной неожиданностью—минералом **андалузитом**, гранищимся очень редко, который имеет близкие к турмалину свойства и внешне на него похож, хотя по составу представляет собой совершенно другой минерал. Турмалин относится к тригональной сингонии, андалузит к ромбической, и это обстоятельство позволяет минералогу уверенно их различать с помощью оптических методов. Для этого пригоден даже обычный рефрактометр, поскольку турмалин «андалузитового» цвета (коричневый или коричнево-зеленый с красноватым оттенком) всегда дает вдвое большую величину двупреломления, чем андалузит. Мы так подробно останавливаемся на этом в связи с тем, что иногда коллекционер рассчитывает купить андалузит, а ему пытаются навязать турмалин такого же цвета, не отдавая себе отчета в том, что покупатель — человек сведущий и хочет приобрести именно андалузит, а не какой-либо другой внешне похожий на него камень.

К коричневым или оранжевым камням, которые в ограненном виде являются предметом коллекционирования, относятся **сфалерит**, **везувиан** и **шеелит**. Сфалерит — минерал кубической сингонии, имеющий показатель преломления почти такой же, а дисперсию значительно выше, чем у алмаза. Низкая твердость и хорошая спайность затрудняют его огранку и приводят к быстрому износу камня при использовании в ювелирных изделиях. Своим высоким показателем преломления в сочетании с изотропностью он отличается от всех минералов, за исключением алмаза, за который его, однако, едва ли можно принять, учитывая его внешний вид. Прозрачные образцы сфалерита имеют замечательный золотисто-коричневый цвет. В спектре поглощения сфалерита имеется одна или несколько узких полос в красной области. Весьма сходные полосы отмечаются в спектре циркона, и начинающим следует быть внимательными, чтобы не принять спектр сфалерита за спектр циркона.

Красивые камни, имеющие достаточную твердость, чтобы легко полироваться и сохранять полировку, получаются из высококачественных образцов **везувиана**. Камни с Лаврентийских гор в Канаде имеют чистый золотисто-коричневый цвет. Их можно определить по показателю преломления (чуть выше 1,70) и очень низкому двупреломлению (0,005). Некоторые образцы могут давать слабый спектр поглощения дидима.

И наконец, опишем **шеелит** — ценную вольфрамную руду. Его прозрачные образцы желтого и оранжевого цвета иногда гранят

для коллекционеров, получая при этом замечательно красивые камни. Низкая твердость шеелита мешает его широкому применению в ювелирном деле. Двупреломление шеелита достаточно высоко и его можно наблюдать с помощью лупы (этим шеелит отличается от алмаза), но в то же время оно не столь велико, чтобы камень можно было принять за циркон. В спектре поглощения шеелита часто видна группа тонких линий в желтой области спектра, связанных с присутствием в нем редкоземельных металлов; это свидетельствует о том, что перед нами — кальциевый минерал. Методы отличия природного шеелита от его искусственного аналога описаны в главе, посвященной алмазу, а также в гл. 7.

Свойства рассмотренных в этой главе камней приведены в табл. 18.1. Камни в ней перечисляются в порядке уменьшения их удельного веса.

## КВАРЦ, ХАЛЦЕДОН И ОПАЛ

Кварц является самым распространенным, но тем не менее одним из наиболее красивых минералов. Он представляет собой чистую окись кремния ( $\text{SiO}_2$ ), соединение, которое само по себе или в составе силикатов слагает около 60% земной коры. Кварц — очень стойкий минерал как в химическом, так и в механическом отношении, вследствие чего при разрушении горных пород в ходе длительных геологических процессов зерна кварца сохраняются и в виде песка образуют мощные наносы по берегам рек, на морских побережьях и в пустынях.

Ювелирам известно несколько разновидностей кварца, хотя далеко не все знают, что это, по существу, один и тот же минерал. Минералы группы кварца можно разделить на две большие подгруппы:

1. Кристаллический кварц, встречающийся в виде отдельных шестигранных кристаллов, например горный хрусталь, аметист, цитрин и т. д.
2. Скрытокристаллический кварц, например халцедон, агат, кризоприз, сердолик и др.

Камни, относящиеся ко второй подгруппе, сложены такими мелкими зернами или волокнами, что их невозможно различить как отдельные элементы структуры. Разнообразие разновидностей в обеих подгруппах столь велико, что их детальное обсуждение не представляется возможным, да в этом нет и никакой необходимости, во всяком случае для целей их идентификации. Кристаллический кварц, используемый в ювелирном деле, как правило, прозрачен и обладает очень постоянными свойствами: твердость по шкале Мооса 7, удельный вес 2,651, показатели преломления 1,544 и 1,553.

Если читатель располагает раствором бромформа, разбавленным до плотности кварца (способ его приготовления был описан выше), то для него не составит никакого труда определить незакрепленный образец кристаллического кварца только с помощью этой жидкости. Если имеется рефрактометр и камень огранен, то он может быть определен и по показателю преломления.

Кварц имеет спиральную внутреннюю структуру, которая часто проявляется внешне в виде небольших дополнительных граней на поверхности кристалла, по которым можно определить, является ли кристалл «левым» или «правым». Для диагностики это свойство не представляет никакого интереса, поэтому здесь подробно

не рассматривается. Но спиральная структура оказывает особое действие на лучи поляризованного света, проходящего через камень в направлении оптической оси: она вращает плоскость поляризации. Это в свою очередь дает интерференционную фигуру, которая уникальна и у других драгоценных камней не встречается. Поэтому в том случае, когда такую фигуру удастся наблюдать, она служит прекрасным диагностическим признаком кварца.

Для наблюдения интерференционной фигуры в двупреломляющих минералах образец следует рассматривать в направлении его главной оптической оси в сходящемся пучке света между скрещенными поляроидами. В том случае, когда имеется плоская правильно ориентированная пластинка материала, все, что необходимо для наблюдения фигуры, — это держать образец, зажатый между скрещенными поляроидами, близко к глазам и смотреть через этот «бутерброд» на окно или на хорошо освещенный лист белой бумаги. Лучи, достигающие глаза при таком коротком фокусном расстоянии, будут сходящимися, и фигура будет хорошо видна без применения лупы. Наиболее простой способ проверки предложенного метода заключается в наблюдении листочка мусковита или биотита, помещенного между скрещенными поляроидами: должна быть отчетливо видна интерференционная фигура двусосного минерала с двумя характерными «глазами».

Этот простой способ, как правило, неприемлем для ограненных камней. В этом случае интерференционную фигуру часто можно наблюдать при повороте камня пинцетом между скрещенными поляроидами полярископа со встроенным освещением типа «Микин» или «Рейнер», описанного в гл. 3, однако непосредственно над образцом необходимо держать карманную лупу или небольшой полый стеклянный шарик, наполненный иодистым метиленом, чтобы создать сходящийся пучок света. (Для той же цели служит свободная от внутренних напряжений сфера из стекла на конце стеклянной палочки. Такие сферы изготавливаются фирмой Ханнемана.) Наблюдение фигур требует определенных навыков. Если исследуются сферы из кварца или кварцевые бусы, увидеть интерференционную фигуру не составляет труда — нужно **лишь** вращать камень между скрещенными поляроидами. Лупа в данном случае не нужна, поскольку сама сфера сужает световой пучок. Все, что необходимо сделать, — это найти для сферы нужное положение. При этом наблюдается темный крест с полым окрашенным центром на фоне едва заметных радужных колец. Интерференционные фигуры, полученные на двух кварцевых бусинах ожерелья, показаны на рис. 19.1. Своеобразие этой фигуры для кварца заключается в светлой окраске центра фигуры. У бусины из турмалина или аквамарина, например, центр креста будет черным, лишенным светлого кольца. Те, кто заинтересуется этим вопросом, могут найти более подробное описание с рисунками интерференционных фигур в любом учебнике по минералогии. Минер-

ралогии, однако, для своих наблюдений используют микроскоп, что для геммолога в большинстве случаев неприемлемо.

Перед тем как приступить к описанию разновидностей кварца и других минералов, внешне похожих на него, необходимо еще раз напомнить об их общих отличиях от имитаций из стекла. Кварц вследствие его низкого показателя преломления имеет стеклянный блеск и поэтому по внешнему виду практически не отличим от

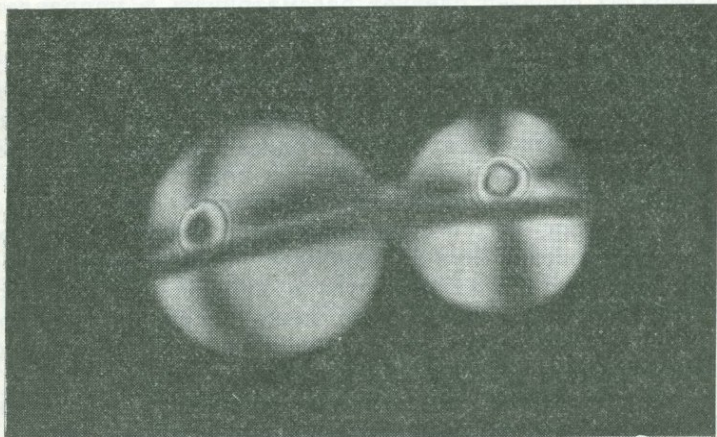


РИС. 19.1. Две сферические бусины из ожерелья, дающие уникальную интерференционную картину между скрещенными поляроидами.

стекла. Для отличия кварца от стекла можно применить простой, но достаточно эффективный, если он правильно применяется, способ, основанный на низкой теплопроводности стекла. Если к кварцу и стеклу прикоснуться языком, кварц покажется заметно более холодным, чем стекло, что, впрочем, характерно и для других кристаллических драгоценных камней, поскольку все они отводят тепло от языка с большей скоростью, чем стекло. В то же время янтарь и другие смолы отводят тепло медленнее стекла и поэтому кажутся теплыми при прикосновении к ним. Естественно, что проводить это испытание необходимо с некоторыми предосторожностями. Этого требуют правила гигиены. Исследуемый образец должен быть чистым. Кроме того, он не должен быть теплым от недавнего контакта с руками. Камень необходимо держать пинцетом и полученный эффект непосредственно сравнить с эффектом от известного образца кварца, потому что само по себе стекло также кажется холодным при прикосновении к нему языком. Теплым оно покажется только в сравнении с кварцем. Другие особенности, по которым можно узнать стекло (пузыри, свиля и т. п.), описаны в гл. 7.

Рассмотрим некоторые кристаллические разновидности кварца, сравнивая их с похожими на них по внешнему виду камнями. Бесцветный кварц, называемый **горным хрусталем**, неинтересен и некрасив, однако он служит прекрасным материалом для изготовления различных изделий, бус, шаров и т. п. Единственной возможной имитацией горного хрусталя является бесцветное стекло. Большие шары из горного хрусталя, не имеющие трещин, ценятся довольно высоко. Если через шар, положенный на шрифт, наблюдается «раздвоение» букв, то, без сомнения, шар изготовлен из кварца. Желтый кварц, который правильно называть **цитрином**, хотя его часто продают под дезориентирующим названием «топаз»<sup>1</sup>, действительно легко принять по внешнему виду за этот более дорогой минерал. В этом случае точный ответ может дать определение удельного веса и показателей преломления. Большинство цитринов получают из аметистов путем их обжига<sup>2</sup>, причем возникающая при этом окраска не меняется с течением времени. Такие камни практически лишены дихроизма, тогда как у природного желтого кварца дихроизм хорошо заметен. Другой общей особенностью цитринов, получаемых из обожженных аметистов, является их «полосатость». К цитринам относятся также темно-коричневый кернгорм и дымчатый морион. Прозрачная зеленая разновидность кварца, недавно появившаяся на рынке, носит название «**празиолит**». Этот кварц получают путем обжига некоторых типов аметистов из шт. Минас-Жерайс (Бразилия). Камни по внешнему виду несколько напоминают берилл или турмалин, однако их диагностические признаки типичны для кварца. Цвет аметиста варьирует от бледно-сиреневого до густого фиолетового. От стекла его легко отличить по пятнистой и зональной окраске в сочетании с эффектом раздвоения ребер задних граней при наблюдении их с помощью лупы через площадку. Уникальная особенность аметиста — своеобразное «тигровое» включение, наблюдаемое довольно часто (рис. 19.2). Иногда встречается фиолетовый сапфир (неправильно называемый восточным аметистом) такого же цвета, как и аметист, однако он ярче и тверже аметиста и имеет к тому же более высокие по сравнению с ним показатели преломления и удельный вес. При интенсивном освещении сапфиры такого типа дают флюоресцентную линию рубина.

**Розовый кварц** никогда не бывает совершенно прозрачным. Для него характерна некоторая молочность, а зачастую наличие трещин и включений. Из густо окрашенных камней получают красивые бусы; это прекрасный материал для небольших резных из-

<sup>1</sup> Выше уже отмечалось, что уральские гранильщики и любители камня желтый или дымчатый кварц называют дымчатым топазом; настоящий топаз носит название «тяжеловес». — *Прим. ред.*

<sup>2</sup> Аметист встречается реже цитрина, и хорошие образцы этого минерала стоят дороже. На Урале цитрин получают, запекая в хлебе дымчатый кварц или морион. — *Прим. ред.*

делий и украшений. При соответствующей ориентировке кабошоны из розового кварца нередко дают шестилучевую звезду, хотя и не очень отчетливо выраженную. Этот эффект остроумно усилен в дублетах, в которых полусфера из кварца с астеризмом наложена на отражающую подложку. Готовый дублет с сильно выраженным астеризмом производит очень яркое впечатление.

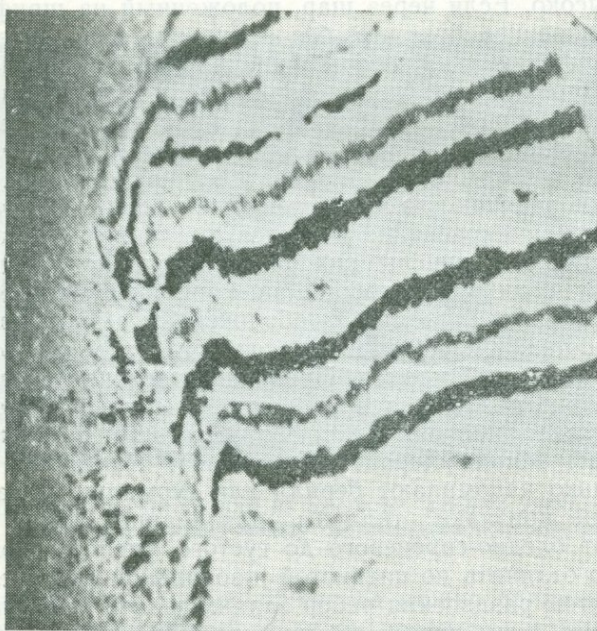


РИС. 19.2. Типичная структура «тигровых» включений в аметисте.

Эффект астеризма обусловлен чрезвычайно тонкими иглами рутила, ориентированными в трех направлениях под прямым углом к оси кристалла (рис. 24.4).

Звездчатый кварц зрительно легко отличается от звездчатого сапфира не только по большей яркости звезды, но и по появлению в центре звезды отчетливого отражения электролампы, при которой смотрят на камень, чего никогда не наблюдается у настоящих звездчатых камней без подложек. Более поздние дублеты труднее узнать по внешнему виду, хотя лучи звезды менее отчетливы, чем в настоящем звездчатом сапфире, и розовый цвет кварца можно видеть, наблюдая камень сбоку.

Кварцевый кошачий глаз содержит параллельные волокна или каналы, в которых когда-то были волокна. Цвет его обычно желтовато-коричневый, зеленоватый или желтоватый. Отсвет у

такого камня хотя и отчетливый, но не такой яркий или шелковистый, как у хризобериллового кошачьего глаза, поскольку отражающие волокна здесь более грубые. Лучшие образцы кварцевого кошачьего глаза похожи по внешнему виду на низкосортный хризоберилловый кошачий глаз, однако их легко распознать по удельному весу. Иногда плохие сорта кошачьего глаза подкрашивают искусственно и полученный материал продают под названием венгерского кошачьего глаза<sup>1</sup>. Замечательный, с золотисто-коричневым отливом, **тигровый глаз** первоначально был голубым крокидолитовым асбестом, волокна которого впоследствии заместились кварцем. Нередко за таким измененным материалом сохраняется название «крокидолит». Бесцветный кварц часто «пропитан» волокнами красновато-коричневого рутила, ориентированными в различных направлениях. Такой кварц называется волосатиком или волосами Венеры. Продолжая список кварцев, содержащих включения, необходимо упомянуть **авантюрин**, цвет и сверкание которого обусловлены присутствием мелких пластинок фуксита — минерала из группы слюд. Авантюрин более правильно рассматривать как разновидность кварцита, поскольку он образован из множества мелких кристаллов кварца. Известен также красновато-коричневый авантюриновый кварц, содержащий блестящие гематита. В изделиях часто встречается искусственное золотисто-коричневое **авантюриновое стекло** с плотностью и показателями преломления почти такими же, как у кварца, однако вид у него значительно более «сверкающий», чем у любого природного авантюрина (рис. 19.3).

Бусины из горного хрусталя иногда подвергают своеобразной обработке — нагревают, а затем быстро погружают в холодную воду, содержащую краситель, который входит в образующиеся трещинки, в результате чего получают красиво окрашенные камни. **Яшма** в большинстве случаев представляет собой непрозрачный поликристаллический кварц, содержащий различные примеси, придающие ей ту или иную окраску, преимущественно красноватых и коричневых тонов. Яшма искусственно подкрашивается берлинской лазурью с целью получения имитаций лазурита, известных под названием швейцарского или немецкого лазурита. Многие яшмы представляют собой разновидность халцедона.

Перейдем теперь к подгруппе халцедона. Здесь также существует множество названий, обозначающих, по существу, один и тот же материал. Различие между камнями в основном заключается в окраске и сложении. Криптокристаллический просвечивающий и не имеющий полос кварц называется **халцедоном**. Удель-

<sup>1</sup> Такие камни в СССР часто называют соколиным глазом. И кошачий, и тигровый глаз представляют собой крокидолит-асбест, замещенный кварцем. — *Прим. ред.*

ный вес (около 2,60) и показатель преломления (1,535) у него несколько ниже, чем у кристаллического кварца. Плоская полированная поверхность халцедона, как с полосами, так и без них, часто дает на шкале рефрактометра две границы затененной области, обуславливающие величину двупреломления около 0,006, причем положение границ на шкале прибора не меняется при повороте камня на столике. Такое «двупреломление» возникает в тех



РИС. 19.3. Кристаллы меди в авантюриновом стекле.

случаях, когда одно вещество погружается в другое с несколько отличающимся показателем преломления; в данном случае волокна кварца содержатся в опаловидной окиси кремния. Скрытокристаллическая структура халцедона лучше всего видна в тонких шлифах под микроскопом между скрещенными поляроидами. На рис. 19.4 показан халцедоновый сталактит, сфотографированный в этих условиях. В отличие от кристаллического кварца скрытокристаллические разновидности обычно несколько пористы и поэтому могут окрашиваться, что используется для улучшения их цвета. Природный цвет халцедона обычно голубоватый или серый, и голубые разновидности камня иногда неправильно называют голубым лунным камнем. В зеленый цвет халцедон окрашивается солями хрома, поэтому через фильтр Челси такой камень выглядит розовым. Кроме того, в проходящем свете обычно видна слоистая структура. Все это позволяет отличать окрашенный халцедон от хризопраза и от жадеита, за которые его порой выдают.

В спектре поглощения окрашенного под хризопраз халцедона видны слабые узкие полосы, обусловленные присутствием хрома. Недавно в Зимбабве был найден природный халцедон, окрашенный хромом в приятный зеленый цвет. В спектре такого материала видна единственная четкая линия в красной части вместо трех размытых линий в спектре искусственно окрашенного зеленого халцедона.

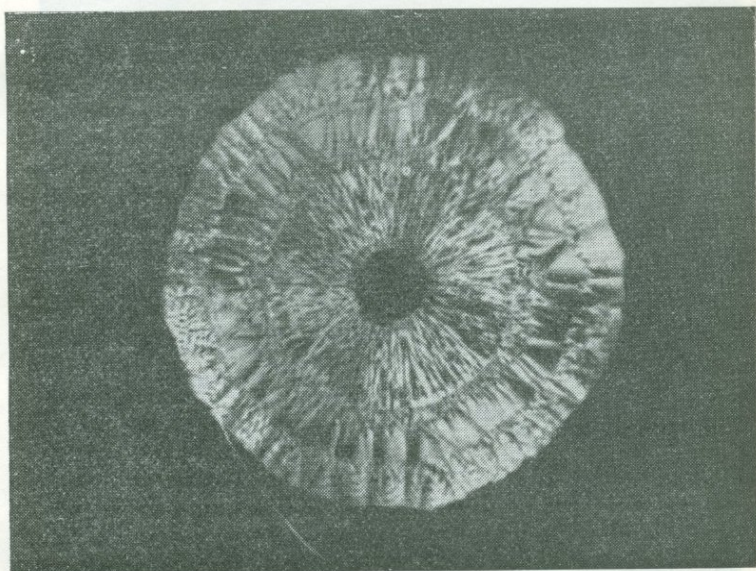


РИС. 19.4. Халцедон между скрещенными поляроидами.

Яблочно-зеленый цвет настоящего хризопраза обусловлен соединениями никеля. Хотя низкосортный хризопраз довольно широко распространен, материал высокого качества встречается редко и ценится дорого. В спектре поглощения хризопраза нет линий хрома, но может быть видна слабая линия никеля при 6320 Å в оранжевой части. Наиболее известным камнем из полосатых халцедонов является агат. Слои его обычно изогнуты и соответствуют контурам полости, в которой откладывался кремнезем в виде серии последовательных слоев. Агат широко применяется в промышленности для изготовления весов, ступок, пестиков и т. д., причем в этом случае сохраняется его природный цвет. Когда агат применяется для изготовления украшений, он окрашивается различными способами с целью усиления контраста чередующихся полос. Когда полосы прямые, агат называется ониксом (черные и белые полосы), сардом (красные полосы) или сардониксом (красные и белые полосы). Из такого материала часто

делают камни: изображения вырезают из белого слоя, а черные или красные слои создают эффектный фон. **Черный оникс** получают, насыщая природный сероватый материал раствором сахара или меда с последующей обработкой серной кислотой. Сахар превращается в уголь, откладывающийся в порах камня. Темно-зеленый халцедон с яркими красными пятнами называется **крово-виком** или, по-старинному, гелиотропом.



РИС. 19.5. Любопытный образец мохового агата.

**Сердоликом** (корнеолом) считают желтоватый или желтовато-красный халцедон, имеющий полосчатую структуру в проходящем свете. Название «моховой агат» применяют для обозначения молочно-белых просвечивающих халцедонов, пронизанных черными дендритами двуокиси марганца и часто лишь слабослоистых (рис. 19.5)<sup>1</sup>. Эти включения нередко очень похожи на настоящий мох или другие растения. Для обозначения других разновидностей халцедона предложено еще несколько названий, однако здесь они не приводятся, поскольку в ювелирном деле такие камни применяются гораздо реже.

## ОПАЛ

Великолепная и очень яркая игра при отражении света от хорошего опала совершенно необычна, и любители опалов утверждают, что опал — самый красивый из всех камней. Однако опал

<sup>1</sup> Часто моховой агат пронизан не дендритами марганца, а сходными зелеными дендритовидными выделениями хлорита или селадонита. Такие выделения еще больше напоминают мох. — *Прим. ред.*

имеет сравнительно низкую твердость, его легко повредить и поэтому он больше подходит для брошей, кулонов и подобных украшений, чем для колец, где камень ежедневно подвергается опасности. Кроме того, украшения с опалом выглядят эффектно только тогда, когда они изготовлены из высококачественного материала. Посредственный образец может быть достаточно красивым,

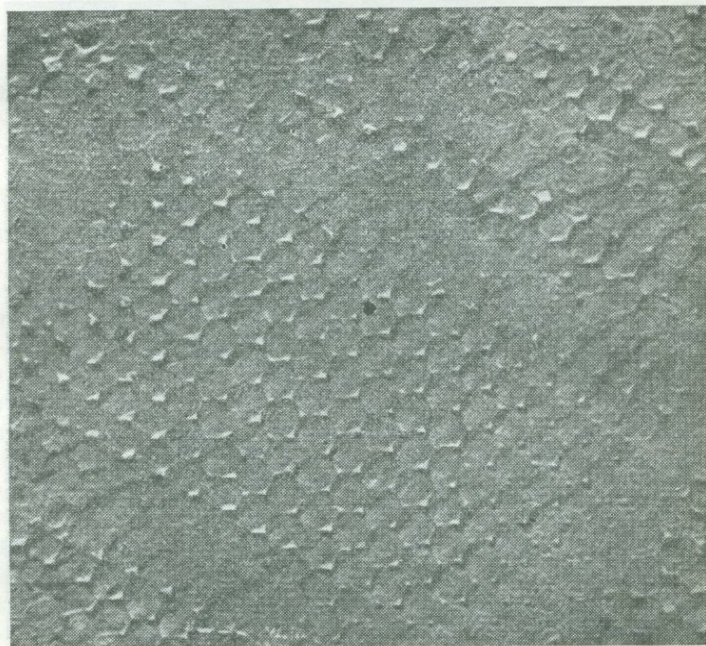


РИС. 19.6. Структура благородного опала под электронным микроскопом (с любезного разрешения С. S. I. R. O.).

когда его рассматривают при ярком свете, но в украшении он может «потеряться».

В отличие от большинства других драгоценных камней опал не является кристаллическим материалом, а представляет собой затвердевший гель окиси кремния. Опалы содержат воду, причем в различных количествах (в некоторых случаях до 10%). Обычный опал имеет молочно-белый цвет, просвечивает и лишен игры цветов. Из таких опалов лишь зеленая разновидность, напоминающая хризопраз, представляет интерес для ювелиров. Совершенно прозрачная разновидность опала — гиалит также не пользуется спросом на рынке. Название «благородный опал» применяется для обозначения ювелирного опала, обладающего игрой цветов. Твердость опала около 6 по шкале Мооса, показатель преломле-

ния 1,45. Опал изотропен, поэтому у него только один показатель преломления. Удельный вес варьирует от 2,00 для огненного опала до 2,11 для черного и белого опалов. Цветовые вспышки у благородного опала обладают почти спектральной чистотой. И действительно, цвета связаны с интерференцией света, а не с абсорбцией. Природа структуры опала, обуславливающей усиление не-

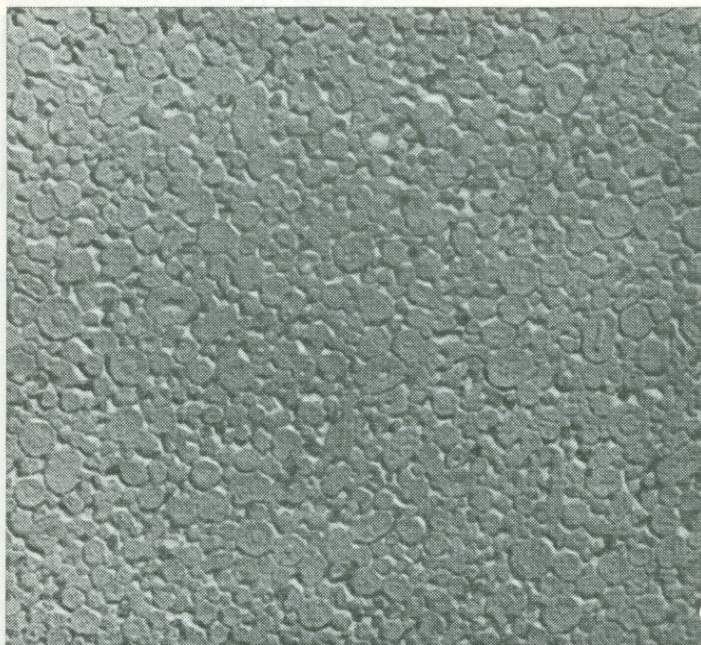


РИС. 19.7. Структура обычного опала под электронным микроскопом (с любезного разрешения С. S. I. R. O.).

которых цветов (длин волн) падающего света и подавляющей другие, выявлена лишь недавно. Уже более столетия предпринимались попытки объяснить это явление. Применяя громадные увеличения, создаваемые электронным микроскопом, Байер в ФРГ и Сандерс в Австралии показали, что у благородного опала присутствуют участки плотноупакованных сфер аморфной окиси кремния (рис. 19.6). В том случае, когда сферы имеют одинаковый размер, соизмеримый с длиной волны видимого света, они вызывают его дифракцию, приводящую к игре цвета. Когда размер сфер различен, дифракция отсутствует и в результате образуется молочный опал (рис. 19.7). Было найдено, что наибольшая длина волны цветных вспышек должна быть равна двум диаметрам сфер. Таким образом, сферы диаметром 3000 Å могут дать красный, а

также зеленый, желтый и синий цвета, тогда как сферы меньшего размера дают лишь голубые отблески.

Опалы, применяемые в ювелирном деле, подразделяются на **черный**, **белый**, **огненный** и **водяной**, или **студенистый**, опалы. Во всех этих опалах (за исключением огненного) игра цвета на поверхности или в глубине камня служит главным признаком «благородного» опала. В торговле для описания размеров цветных пятен применяются специальные термины, такие, как **пинфайе** (pinfire), **флейм** (flame), **флеш** (flash), **арлекин** (harlequin), однако для геммолога, задача которого сводится к идентификации камня, эти термины не имеют большой ценности. **Черный опал** — самая дорогая разновидность опала, что определяется его редкостью и исключительной красотой игры иризирующих цветов на темно-сером или черном фоне. Каждый образец индивидуален и красив по-своему. Все это делает опал одним из наиболее любимых и наиболее дорогих драгоценных камней. В **белом опале** цвета «играют» на белом или беловато-молочном фоне, что снижает эффект. Однако белый опал — это традиционный цвет, по которому опал получил известность, и даже в течение десяти или более лет после первой находки черного опала в Лайтнинг-Ридж в Новом Южном Уэльсе он оставался самым популярным.

**Огненный опал**, добываемый главным образом в Мексике, прозрачен или лишь слегка замутнен. Красота огненного опала заключается в его интенсивном оранжевом цвете, который, к сожалению, не гармонирует с цветом других цветных камней. В редких случаях в глубине камня могут наблюдаться вспышки иризирующих цветов. **Водяной**, или **студенистый**, опал прозрачен, и игра цвета придает ему вид застывших мыльных пузырей.

Для того чтобы выявить игру с наибольшей силой, черные или белые опалы неизменно обрабатывают в виде кабошонов, причем кабошоны из черных опалов, у которых иризирующий слой часто очень тонкий, обычно делают с почти плоской верхней поверхностью. Высокие кабошоны хороши только из водяных опалов (или триплетов с верхом из кварца). Огранка применяется лишь для огненных опалов, но даже и в этом случае площадку нередко делают выпуклой.

До недавнего времени серьезные затруднения возникали лишь при идентификации опаловых дублетов (обсуждаются ниже в этой главе). В последнее десятилетие положение дел резко изменилось в связи с промышленным производством **синтетических опалов** (как белого, так и черного) Пьером Жильсоном в Па-де-Кале и очень похожих на опал имитаций из стекла, полученных Джоном Слокумом из Мичигана (США) после многолетних экспериментов. Синтетический опал уже был описан в гл. 7, однако, пожалуй, стоит добавить несколько замечаний. Камни Жильсона, несомненно, очень красивы, и часто требуется большое искусство и опыт, чтобы отличить их от природного материала. Как и в случае дру-

гих синтетических камней, геммологам следует достать образцы для изучения, несмотря на их значительную стоимость. Внимательное исследование синтетических опалов с помощью микроскопа (при небольших увеличениях) часто позволяет увидеть на участках поверхности с наиболее яркими вспышками цвета картину «кожи ящерицы», которая в природных опалах никогда не встречается (см. фото 12). Черные опалы Жильсона, как правило, более прозрачны, чем природные камни, и у них преобладают красные вспышки, редкие в природных камнях. Кроме того, в отличие от природного опала они пропускают довольно много длинноволнового ультрафиолетового света. Этот эффект можно продемонстрировать в лаборатории, положив «подозрительные» камни (вместе с эталонными образцами) в темной комнате на фотобумагу, прикрывающую дно наполненной водой кюветы, осветив их в течение нескольких секунд ультрафиолетовым светом и проявив бумагу обычным способом.

Черные жильсоновские опалы, исследованные автором, имели несколько меньшую по сравнению с природными плотность (в среднем около 2,06 по сравнению с 2,11 — типичной для австралийских камней). Поскольку опалы пористы, испытание в иммерсионных жидкостях может плохо повлиять на их игру, однако после промывки камней чистым спиртом или дистиллированной водой с небольшими добавками растворителя жира и высушивания игра света восстанавливается. Если жильсоновский опал опустить в бромформ и последний разбавлять бензолом при постоянном помешивании до тех пор, пока образец не будет находиться во взвешенном состоянии, то утонувший в таком растворе образец природного опала служит подтверждением того, что взвешенный опал является синтетическим. Поскольку некоторые жильсоновские черные опалы слегка пористы и даже прилипают к языку, то было бы желательно перед погружением камня в иммерсионную жидкость определить его пористость, применяя чистую воду.

Для отличия белого природного опала от синтетического опала Жильсона может оказаться полезной длинноволновая ультрафиолетовая лампа. Австралийские белые опалы дают беловатую флюоресценцию и довольно продолжительную фосфоресценцию. У синтетического белого опала фосфоресценция практически отсутствует. Следует, однако, отметить, что бразильские опалы так же инертны к ультрафиолетовому свету.

Часто блестящая игра цветов, характерная для белого и особенно черного опалов, у природных камней наблюдается лишь в очень тонких слоях. Поэтому тонкие слои нередко отделяют от породы и приклеивают к подложке из темной опаловой породы или черному синкису, создавая дублеты, которые могут продаваться по сравнительно низкой цене. Дублеты могут быть так же прекрасны, как и сплошные черные опалы, но, естественно, они

значительно дешевле. С целью маскировки такие камни часто крепятся в глухую оправу, закрывающую место склейки опала с подложкой. В таких случаях в геммологических лабораториях нередко трудно решить, является ли данный камень дублетом, или нет.

«Предупреждающий знак» дублета — совершенно плоская или лишь слегка искривленная верхняя поверхность камня. Если нижняя часть камня доступна для наблюдения и видно, что она представляет собой черный оникс, то камень несомненно является дублетом. Если нижняя часть — серый опал и нет намека на цветные блики, то это еще не служит доказательством дублетного камня, однако это очень подозрительно. Иногда при внимательном исследовании камня с помощью лупы можно обнаружить место соединения слоя опала с подложкой. Лупа, а еще лучше микроскоп (при небольшом увеличении) помогут обнаружить под просвечивающейся пластинкой благородного опала пузыри в слое клея, который соединяет эту пластинку с подложкой. Эти пузыри могут быть видны как слой уплощенных дисков или же как изолированные сверкающие сферы. Если пузыри увидеть не удастся, можно попробовать направить на камень мощный пучок света. Если камень просвечивает, то почти наверняка он является природным черным опалом. В случае дублетов могут быть видны отдельные светлые точки, которые под микроскопом выглядят как пузыри.

Когда камень закреплен с помощью крапанов и виден его край, то о наличии дублета свидетельствует резкая граница сверкающего слоя. Кроме того, даже наиболее удачная склейка едва ли может имитировать совершенство природного перехода от одного слоя к другому, и тщательное исследование границы в настоящем опале почти всегда позволяет обнаружить один или несколько участков, где цветное пятно заходит в менее благородную область.

Наряду с традиционной формой дублета, описанной выше, в настоящее время в больших масштабах выпускаются изящные опаловые триплеты, в которых на дублет наклеивается кабашон из прозрачного кварца. Такие вещи едва ли могут обмануть, и осмотр с помощью лупы уже достаточен, чтобы выявить их природу.

Следующая проблема для ювелира и геммолога связана с «облагораживанием» («улучшением») опала, когда низкокачественный опал из Андамуки (Австралия) пропитывают углеродными частицами, что значительно усиливает игру цветов. Способ этот едва ли можно назвать новым, поскольку он описан Джоном Мейвом в его знаменитой книге «Трактат об алмазах и драгоценных камнях», изданной в 1823 г. Мейв советует нагреть камень в масле или жире, а затем его выжечь. В наше время описана методика с использованием отработанного масла, которое затем вы-

жигают. Применяется также обработка опала способом, который зарекомендовал себя как наиболее удачный для получения черного оникса, т. е. нагреванием в растворе сахара с последующей «карбонизацией» в теплой серной кислоте.

Обработанные такими методами камни состоят из настоящего опала и имеют типичные значения удельного веса и показателя преломления. К счастью, их внешний вид имеет очень характерную особенность — своеобразную зернистую структуру, которая препятствует хорошей полировке. Цветные вспышки идут из многочисленных мелких участков, давая в целом эффект **клаузоне** (французская эмаль). Галтованные камни такого опала могут продаваться по цене 1—2 фунта, и всем, кто имеет дело с опалами, следует приобрести такой образец, для того чтобы научиться отличать его от дорогого настоящего черного опала, для которого очень характерны более крупные лентообразные вспышки цвета, заметные в лупу.

До недавнего времени единственными похожими на настоящие камни имитациями опала из **стекла** были имитации огненного опала, основным достоинством которых является цвет. Показатель преломления и удельный вес стеклянных имитаций всегда заметно выше, чем у природных опалов. Однако в середине 70-х годов эксперименты со специальным стеклом, проведенные Джоном Слокумом из Мичигана, привели к крупномасштабному производству многих различных имитаций опала. Эти имитации очень обманчивы для невооруженного глаза, хотя осмотр с помощью лупы или микроскопа сразу же показывает, что камень не может быть разновидностью опала. Стекло, используемое Слокумом, имеет показатель преломления около 1,50, удельный вес от 2,4 до 2,5. Более подробно «камни Слокума» описаны в гл. 7.

## СЕМЕЙСТВО ГРАНАТОВ

Название «гранат» используется для обозначения группы минералов, кристаллизующихся в кубической сингонии, которые сильно различаются по составу, но имеют один и тот же тип химической формулы и образуют одинаковые по форме кристаллы.

Гранаты, как правило, образуются в условиях высокого давления и поэтому встречаются в метаморфических породах в виде изометрических кристаллов — ромбододекаэдров (12 ромбических граней), икоситетраэдров (24 трапецевидные грани) и комбинаций указанных форм (рис. 20.1). Их также можно найти в гальке, образующейся при выветривании таких пород.

Общую формулу гранатов можно представить как  $3R^{2+}O \times \times R_2^{3+}O_3 \cdot 3SiO_2$ , где  $R^{2+}$  — двухвалентные магний, железо, марганец или кальций, а  $R^{3+}$  — трехвалентные алюминий, железо и хром.

Минералоги выделяют в семействе гранатов шесть самостоятельных минералов: пироп (Mg, Al), альмандин (Fe, Al), спессартин (Mn, Al), гроссуляр (Ca, Al), андрадит (Ca, Fe) и уваровит (Ca, Cr); пять из них относятся к драгоценным камням.

Ювелирными разновидностями гроссуляра и андрадита являются так называемые гессонит и демантоид. Уваровит, хотя и имеет прекрасный зеленый цвет, обусловленный хромом, очень редко встречается в крупных прозрачных кристаллах, которые можно было бы применить в ювелирном деле.

Первые три минерала образуют серию так называемых пиральспитов; они так близки по структуре, что могут смешиваться почти в любых соотношениях. Три других минерала, также взаимосмешивающиеся почти в любых количествах, образуют серию уграндитов. У этих минералов расстояние между атомами в кристаллической решетке заметно больше, чем у пиральспитов, поэтому гранаты этих двух серий смешиваются между собой лишь ограниченно. Гранаты, точно соответствующие своим формулам, в природе неизвестны. Свойства этих минералов меняются в широких пределах в соответствии с количеством присутствующих в смеси гранатовых молекул. Правда, недавно Дж. Коэс синтезировал чистые образцы каждого из гранатов, используя методы высоких давлений, а Б. Дж. Скиннер определил их свойства. Полученные величины физических констант близко совпали со значениями, рассчитанными ранее Фордом, Флейшером и др. на основании измерений констант многих проанализированных природных

гранатов. Определенные экспериментально физические константы чистых гранатов приведены в табл. 20.1. Они не имеют никакого значения для диагностики гранатов, но мы преследовали цель показать любознательному геммологу, какое влияние могут оказывать гранатовые молекулы на свойства реальных кристаллов граната, которые используются в ювелирных изделиях.

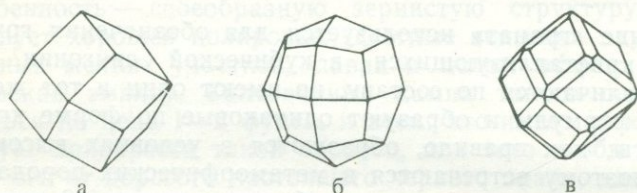


РИС. 20.1. Типичные габитусы кристаллов граната: ромбододекаэдр (а), икоситетраэдр (б), комбинация двух предыдущих форм (в).

Перейдем теперь от общего к частному и рассмотрим каждый из ювелирных гранатов в отдельности.

Таблица 20.1

СВОЙСТВА ЧИСТЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ГРАНАТОВ

Тип граната	Удельный вес	Показатель преломления	Межатомное расстояние, Å
Пироп	3,582	1,714	11,46
Альмандин	4,318	1,830	11,53
Спессартин	4,190	1,800	11,62
Гроссуляр	3,594	1,734	11,85
Андрадит	3,859	1,887	12,05

## ПИРОП

Разновидности гранатов обычно четко отличаются друг от друга по цвету, удельному весу и показателю преломления. Лишь альмандин и пироп дают непрерывный ряд смешанных кристаллов, внешний вид которых почти одинаков. Это дает основание использовать термин «пирандин» для обозначения промежуточных типов гранатов, которые нельзя отнести ни к пиропам, ни к альмандинам. Для обозначения промежуточных гранатов розово-красного цвета применяется название «родолит», однако оно не очень удачно из-за большого сходства по звучанию с названием марганцевого минерала родонита.

Вообще говоря, ювелиры не ощущают какой-либо необходимости в точной номенклатуре: если установлено, что данный красный камень является гранатом, то это все, что они хотят знать.

Красный гранат пироп, без сомнения, наиболее красив. К пиропам относятся сравнительно «чистые» камни, которые добываются в Кимберли (Африка), в шт. Аризона (США) и в Чехословакии. Цвет их так же, как цвет рубина и шпинели, обусловлен хромом. Кроме того, в природе существуют пиропы, содержащие относительно мало хрома. Их цвет связан с железом. «Чистый» пироп бесцветен. Этот тип пиропов дает довольно слабый алмандиновый спектр. Пиропы редко встречаются в виде крупных камней; цвет их часто бывает очень темным, и тогда они гораздо менее красивы. Обычно показатель преломления пиропов лежит близ значения 1,745, т. е. гораздо выше показателя преломления красных шпинелей, что дает возможность без труда различать эти камни. Верхний предел для красной шпинели составляет 1,730. Очень редко встречаются гранаты, имеющие показатель преломления 1,732, 1,731 и даже 1,730, тогда как один из недавно изученных образцов красной шпинели (вмонтированный в кольцо) содержал довольно много хрома и поэтому дал показатель преломления 1,7439.

В том случае, когда можно определить удельный вес камня, даже самый легкий пироп с удельным весом 3,65 нетрудно отличить от красной шпинели, верхний предел значения удельного веса которой равен 3,62. Исследованная недавно пироповая галька имела удельный вес 3,60, но по своему качеству была непригодна для использования в ювелирных изделиях.

Около 90% просмотренных красных шпинелей имеют показатель преломления 1,720 или ниже, и, следовательно, их никак нельзя принять за пироп. Кроме того, дополнительно можно сравнивать спектры поглощения обоих камней. Они различны, хотя на первый взгляд кажутся одинаковыми. Наиболее заметная особенность обоих спектров — широкая полоса вблизи середины спектра. У пироба она располагается при 5750 Å, т. е. в желто-зеленой области спектра, а у шпинели она расположена ближе к голубой области при 5400 Å. Пироп в сине-зеленой области при 5050 Å дает наиболее интенсивную из алмандиновых полос, которая, естественно, в спектре шпинели отсутствует. Простой способ выявления положения широкой полосы у пироба и шпинели с целью распознавания этих камней заключается в установке колбы с очень разбавленным раствором перманганата калия между источником света и камнем. При соответствующем разбавлении перманганат дает пять равномерно распределенных полос поглощения при 5700, 5450, 5240, 5040 и 4870 Å.

Раствор действует как «встроенная» шкала длин волн. То помещая камень в поле зрения, то убирая его, можно сравнить спектр камня со спектром перманганата и определить, где лежит полоса поглощения — при 5400 Å (шпинель) или при 5750 Å (пироп). С той же целью можно использовать стекло Крукса (часто применяется в светозащитных очках), поскольку в спектре такого

стекла наблюдаются четкие полосы, обусловленные неодимом и празеодимом. Наиболее интенсивная из них расположена при 5840 Å и служит хорошим эталоном для сравнения.

Но пожалуй, самым четким признаком, по которому красную шпинель можно отличить от пироба, является ее флюоресценция в ультрафиолетовых лучах или в скрещенных фильтрах (более чувствительный метод определения). Пироб вследствие высокого содержания в нем железа обычно не флюоресцирует. Свечение красной шпинели, которое происходит при интенсивном освещении ее пучком света, прошедшим через колбу с раствором медного купороса, можно наблюдать с помощью призменного спектроскопа. При этом будет видна группа узких ярких линий, похожих на трубы органа. Такой спектр является характерным признаком шпинели. Недавно, правда, были изучены красные гранаты с физическими константами, близкими к характерным для пироба; такие гранаты, как это ни странно, давали отчетливую красную флюоресценцию между скрещенными фильтрами.

## АЛЬМАНДИН

Кроме пироба, окрашенного хромом, существует серия красных гранатов, образующих альмандин-пиробовый ряд. В этом ряду показатель преломления и удельный вес минералов растут пропорционально увеличению содержания альмандиновой молекулы. Настоящий альмандин имеет характерный сиреневато-красный цвет, настолько густой в наиболее тяжелых камнях, что они кажутся почти черными, если под них не подложена отражающая фольга. Такие камни часто обрабатывают в виде полых кабашонов, которые в течение столетий назывались карбункулами. Наибольшие значения удельного веса и показателя преломления для красных гранатов составляют 4,20 и 1,81 соответственно. Такие гранаты содержат около 80% альмандиновой молекулы.

По цвету на альмандин больше всего похож сиамский рубин и сиреневато-красная шпинель. Последняя легко распознается по ее более низким физическим константам. Что же касается констант рубина, то они очень близки к значениям, характерным для некоторых альмандинов. Рубин обладает двупреломлением, которое можно измерить на рефрактометре в натриевом свете. Во многом может помочь дихроскоп, хотя дихроизм сиамских рубинов слабее, чем дихроизм бирманских камней. Быстрый и надежный результат дает спектроскоп, поскольку спектр альмандина, состоящий из трех широких полос (рис. 20.2), легко отличить от спектра рубина, имеющего одну широкую и ряд очень узких полос в красной и синей частях спектра. Альмандин, как правило, содержит игольчатые включения, параллельные додекаэдрическим граням исходного кристалла и пересекающиеся под углами 70 и 40° (4×70° плюс 2×40° равно 360°). Как доказал Меллис, эти вклю-

чения представлены рутилом и несколько похожи (только грубее) на тонкие рутиловые иглы, пересекающиеся под углом  $60^\circ$  и образующие характерный «шелк» в бирманских рубинах. Игольчатые включения часто видны в пластинке альмандина, используемой в качестве площадки дублета (рис. 7.29). Ниже, в месте соединения со стеклянной основой, виден пузырчатый слой. Если альмандин содержит много рутиловых игл, то при соответствующей огранке у него может проявляться звездчатый эффект. Полированная сфера из такого материала дает в отраженном

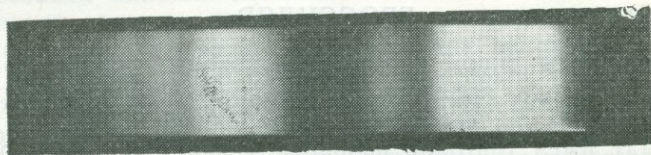


РИС. 20.2. Спектр поглощения альмандина.

свете четырех- и шестилучевую звезды. Как было отмечено выше, альмандиновый спектр часто виден в спектре пироповых гранатов, если содержание в них хрома настолько мало, что не маскирует широкую область поглощения в зеленой части спектра.

## СПЕССАРТИН

О редком и прекрасном марганцевом гранате спессартине мы уже говорили в главе о коричневых и оранжевых камнях. Петрологи для обозначения породы используют название «спессартит». Однако путаница при этом едва ли может возникнуть. Во всяком случае, она будет не больше той, которая наблюдается при использовании некоторыми минералогами терминов «альмандит» и «гроссулярит» вместо терминов «альмандин» и «гроссуляр», которым автор отдает предпочтение и использует в данной книге.

Цвет спессартина может варьировать от желтого через оранжевый до пламенно-красного. Часто по цвету спессартин очень похож на гессонит, однако от последнего он отличается отсутствием зернистых включений и сиропообразных «водоворотов». В том случае, когда марганцевый гранат содержит много альмандиновой молекулы, цвет может усилиться до цвета портвейна.

Самые чистые спессартини имеют показатель преломления около 1,80 и удельный вес от 4,16 до 4,19. Эти величины близки к значениям, свойственным альмандину, однако эти камни можно, конечно, различить по цвету. Кроме того, спессартин дает характерный спектр поглощения. Хотя в спектре многих образцов спессартина видны слабые альмандиновые полосы, наиболее интенсивные полосы, как и у других марганцевых минералов, приуро-

чены к фиолетовой и ультрафиолетовой областям. Имеются две слабые полосы в синей области спектра при 4950 и 4850 Å, более сильная при 4620 Å и очень интенсивная полоса при 4320 Å в фиолетовой области. Полосы при 4240 и 4120 Å можно видеть лишь у бледноокрашенных образцов. Эксперт часто может сделать однозначное заключение на основании включений в спессартине, состоящих из волнистых, заполненных жидкостью трещин, похожих на аналогичные включения в рубеллите. Ни в одном другом гранате подобных структур не наблюдается.

### ГРОССУЛЯР

Единственным типом гроссуляра, который нашел применение в ювелирном деле, является его оранжево-коричневая разновидность, известная как гессонит, или коричневый камень. В прошлом этот гранат имел торговое название «гиацинт», хотя правильнее так называть циркон такого же цвета. Своеобразная зернистая

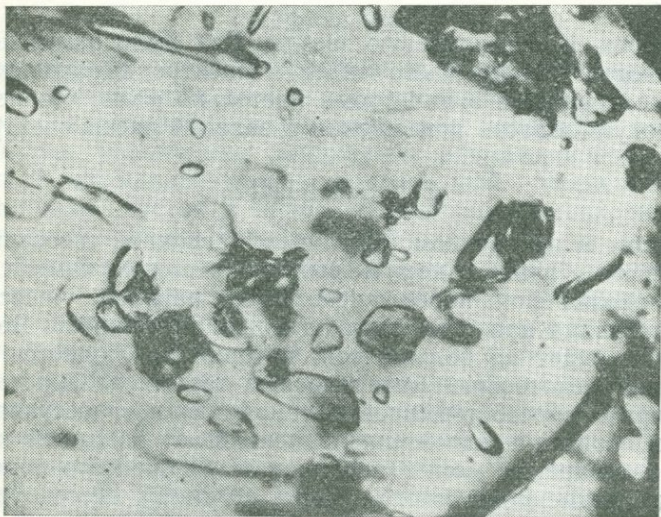


РИС. 20.3. Включения в гессоните.

структура гессонита, обусловленная многочисленными мелкими прозрачными включениями апатита и циркона, помогает исследователю узнать его с первого взгляда. Вид этих характерных включений под микроскопом показан на рис. 20.3 и фото 4. Кроме того, внутренняя структура гессонита имеет особый «сиропообразный» или оплавленный вид. Доктор Э. Гюбелин показал, что включения, первоначально определенные как диопсид (с которым

гроссуляра часто ассоциируется), в действительности представлены апатитом.

Гессонит поступает почти исключительно с острова Шри Ланка. Его наиболее типичные физические константы: показатель преломления 1,743, удельный вес 3,65. Дисперсия для интервала В—G составляет 0,027. Иногда гроссуляра содержит в заметном количестве спессартиновую молекулу, что приводит к увеличению значений констант и появлению полос поглощения в синей и фиолетовой частях спектра, обусловленных марганцем. В спектре чистого гессонита никаких полос поглощения не наблюдается.

Массивная зеленая разновидность гроссуляра, найденная в Баффельсфонтейне в Южной Африке, была неправильно названа трансваальским жадом. В последние годы были найдены розовые и розово-красные разновидности этого материала, из которых изготавливают бусы и кабошоны. Более правильно было бы назвать этот материал гидрогроссуляром, поскольку он содержит до 5% воды. Образцы гидрогроссуляра из Пакистана похожи на жадеит гораздо больше, чем трансваальский материал, особенно в тех кусках, где на фоне белой породы видны ярко-зеленые пятна<sup>1</sup>.

Плотность как трансваальских, так и пакистанских камней сильно варьирует от образца к образцу, что связано с присутствием в них массивного везувиана (калифорнита) в смеси с гидрогроссуляром. Оба минерала по составу близки друг к другу, являясь силикатами кальция и алюминия. Р. Вебстер нашел, что удельный вес трансваальских камней колеблется от 3,36 до 3,57, тогда как для пакистанского материала автор определил значения от 3,28 до 3,52. Образцы с более низким удельным весом состоят в основном из везувиана, причем дают спектр везувиана с интенсивной полосой поглощения при 4610 Å в синей области. Кроме того, более слабая полоса видна в зеленой части при 5300 Å. В зеленом гидрогроссуляре основным хромофором является хром, поэтому в его спектре заметна полоса при 6300 Å в оранжевой части, которая резко обрывается на стороне, прилегающей к зеленой части. Такие смеси интересны в научном плане, однако им трудно дать название, которое было бы достаточно точным и в то же время приемлемым для торговли.

Было исследовано также несколько прозрачных зеленых гроссуляров из Пакистана. Они имели показатель преломления 1,738, удельный вес 3,63 и давали спектр поглощения хрома. Дисперсия их составляла лишь половину дисперсии демантоида, т. е. они не составят ему серьезной конкуренции. Однако если эти камни по-

<sup>1</sup> В Советском Союзе используются оба термина — и «трансваальский жад», и «гидрогроссуляра». Следует, однако, отметить, что воды в этом минерале меньше, чем в настоящем гидрогроссуляре, где 2 частицы воды замещают одну частицу SiO<sub>2</sub>. Искусственно получены гроссуляры, в которых все 3 частицы SiO<sub>2</sub> замещены водой (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O). Это заставляет отдать предпочтение термину «трансваальский жад». — *Прим. ред.*

явятся на рынке в большем количестве, они могут стать очень популярными.

В коммерческом отношении более важен прозрачный зеленый гроссуляр, найденный в Восточной Африке в начале 70-х годов. Как и в случае открытия голубого цоизита в Танзании в 1967 г., фирма «Тиффани» первой осознала коммерческий потенциал этих красивых камней и дала им звучное название «цаворит» (или «цаволит») по названию национального парка Цаво, где были найдены камни. Прекрасный зеленый цвет камней обусловлен следовыми количествами ванадия и хрома, присутствующими совместно в наиболее ярких камнях. Показатель преломления (1,74) и удельный вес (3,68) такие же, как у большинства достаточно чистых гроссуляров, что позволяет довольно легко их идентифицировать.

### АНДРАДИТ

Зеленая разновидность андрадита, известная под названием **демантоида**, — наиболее дорогой из всех гранатов, используемых в ювелирном деле, причем хорошие образцы чрезвычайно трудно достать и цена их постоянно растет. Первоначально в торговле для обозначения этого зеленого граната применялось название «хризолит», что, конечно, было весьма неудачным, поскольку хризолитом минералоги называют совершенно другой минерал, ювелирная разновидность которого известна в Англии как перидот. Демантоид имеет высокий показатель преломления (1,89), дисперсия у него выше, чем у алмаза, и это придает ему живость и игру. Удельный вес демантоида равен 3,85, причем он лишь слегка варьирует, поскольку это единственный из ювелирных гранатов, который не особенно склонен к замещению другими гранатовыми молекулами. Цвет демантоида меняется от желтоватого до ярко-зеленого, постоянно сохраняя желтовато-зеленый оттенок в отличие от голубовато-зеленого оттенка, присущего изумруду. От последнего демантоид весьма сильно отличается по внешнему виду, так что те, кто знаком с обоими камнями, без труда узнают их. Только очень немногие камни могут быть приняты за демантоид. Соперником демантоида может быть прозрачная зеленая разновидность гроссуляра, но она не имеет такого прекрасного цвета и такой высокой дисперсии, как демантоид, и поэтому не обладает его живостью и игрой. Показатель преломления гроссуляра (1,74) можно измерить на рефрактометре, тогда как демантоид с его показателем 1,89 дает «отрицательное» показание.

По внешнему виду на демантоид похож синтетический иттрий-алюминиевый гранат в том случае, когда он окрашен хромом. Кстати, он также дает «отрицательные» показания на рефрактометре. Отличительный признак демантоида — волокнистые включения асбеста в виде «лошадиного хвоста». Кроме того, сильная

полоса поглощения в сине-фиолетовой части спектра, характерная для демантоида, естественно, отсутствует в синтетическом гранате.

Из природных камней на демантоид, пожалуй, больше всего похож **зеленый циркон**. По цвету он практически не отличается от демантоида, а его высокая дисперсия (0,038 против 0,057 у демантоида) придает камню особую живость и игру. Почти все цирконы зеленого цвета относятся к метамиктному или промежуточному

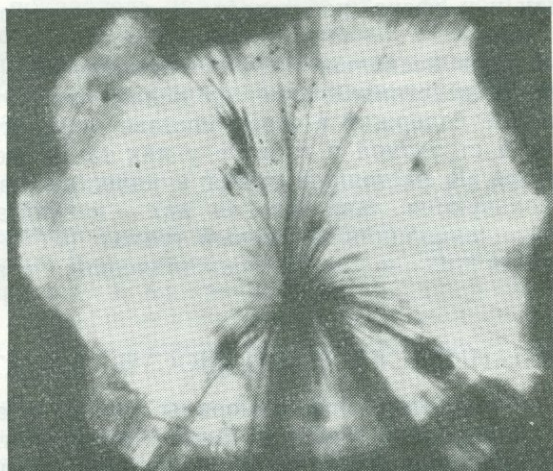


РИС. 20.4. Включения волокон асбеста в демантоиде.

типу (см. гл. 15), и двупреломление у них не всегда удается увидеть с помощью лупы, хотя в большинстве случаев наблюдается четкое погасание между скрещенными поляроидами. В спектре таких цирконов видны довольно размытые линии в красной области. В спектре некоторых демантоидов наблюдается дублет поглощения в дальней красной области и более слабые полосы в оранжевой; все они определяются присутствием окиси хрома, которая и окрашивает камень в прекрасный зеленый цвет. Наиболее постоянной особенностью спектра демантоида является интенсивная полоса при 4400 Å в фиолетовой области, которая видна как резко обрезанный край спектра.

Отличительная черта демантоида — природа его включений. Лупа или микроскоп позволяют обнаружить тонкие шелковистые волокна асбеста, часто расходящиеся из одного или нескольких центров.

Если внимательно просмотреть партию демантоидов, то можно обнаружить, что почти все образцы содержат по крайней мере отдельные волокна, которые и служат надежным диагностическим признаком. Микроскоп, конечно, позволяет исследовать включения

при большем увеличении; на рис. 20.4 показана микрофотография типичного образца демантоида с характерными волокнами асбеста.

**Сфен** по блеску и огню похож на демантоид, однако он редко имеет такой же цвет. Кроме того, с помощью лупы хорошо заметно сильное двупреломление сфена, по которому его легко отличить от демантоида. Цвет хризолита довольно близок к цвету демантоида, но этот камень лишен блеска и огня; кроме того, у него, так же как и у сфена, наблюдается раздвоение ребер нижних граней.

Следует сказать несколько слов о синтетических редкоземельных гранатах. В действительности их нельзя считать гранатами, поскольку они не содержат в своем составе окиси кремния, хотя кристаллическая структура и габитус у них такие же, как у природных гранатов. В настоящее время в качестве ювелирных материалов используются лишь два из них — иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ) и гадолиний-галлиевый гранат (ГГГ). Более подробное описание этих и других синтетических гранатов дано в гл. 7.

## СМЕШАННЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ГРАНАТОВ

Как уже отмечалось выше, минералы группы гранатов редко встречаются в природе в «чистом» виде. Обычно они состоят из смеси нескольких минералов этой группы. Проанализированные образцы гранатов могли содержать 96% гроссуляровой, 94% андрадитовой и 90% спессартиновой молекул; содержание альмандиновой и пироповой молекул ни в одном из образцов не превышало 81 и 70% соответственно. В течение последнего десятилетия в журналах время от времени появлялись сообщения о ювелирных камнях, представляющих собой смеси известных гранатов в новых количественных соотношениях. Как и некоторые другие новые разновидности драгоценных камней, эти гранаты, замечательные своей необычной окраской, были найдены в россыпях и пегматитах Мозамбика (Восточная Африка) и связаны с породами фундамента этой области. Они детально изучены П. Звааном, Е. А. Джоббинсом, Дж. М. Саулом и другими исследователями.

Было показано, что эти странные гранаты состоят главным образом из смеси пироповой, спессартиновой и, что весьма удивительно, гроссуляровой молекул; они нередко содержат небольшое количество ванадия, влияющего в какой-то степени на их окраску. Найденный в долине реки Амба (недалеко от месторождения, где был обнаружен ювелирный корунд пастельных тонов) гранат казался зеленовато-голубым при дневном свете и красным при свете лампы накаливания. Этот особенный образец имел показатель преломления 1,757 и удельный вес 3,816. В его спектре поглощения наблюдались широкая размытая полоса при 5750 Å и интен-

сивная полоса в фиолетовой области при 4320 Å, обусловленные спессартиновой молекулой, а также другие более слабые полосы.

Название «родолит» применялось ранее для обозначения альмандин-пиропового граната, найденного в шт. Северная Каролина (США), который имел красивый «рододендроновый» цвет. Это название вновь стало популярным на ювелирном рынке после открытия в ряде месторождений вблизи границы между Кенией и Танзанией гранатов такого же розовато-фиолетового цвета. Эти камни имеют показатель преломления от 1,750 до 1,760, удельный вес от 3,83 до 3,90 и дают альмандиновый спектр средней интенсивности. Образцы из первоначального месторождения родолита в Северной Каролине имеют очень близкие с африканскими камнями свойства.

## МАГНИТНОСТЬ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

При определении драгоценных камней нередко очень полезны самые необычные и странные методы исследования. Один из таких методов — определение магнитности драгоценных камней. Небольшой мощный магнит и подходящие весы аperiодического типа позволяют легко полуколичественно оценить магнитные свойства камней.

Гранаты, как оказалось, относятся к драгоценным камням, обладающим сильной магнитностью, и при определении гранатов это свойство наряду с характером включений может помочь в выявлении их природы.

Из всех элементов в наибольшей степени обладает магнитными свойствами железо; минералы, богатые железом, притягиваются магнитом. Автор, однако, обнаружил, что присутствие в камне марганца также обуславливает сильную магнитность.

Помимо гематина (имитация гематита) лишь один камень является настолько активным в этом отношении, что удерживается сильным карманным магнитом. Это диопсид, обладающий астеризмом (у него видна четырехлучевая звезда). В этом весьма популярном сейчас материале астеризм обусловлен включениями игл магнетита, которые и придают камню необычные магнитные свойства. Кабошон из альмандина, помещенный на полированную поверхность, будет поворачиваться под действием магнита. Слабый, но достаточно ощутимый эффект можно наблюдать на подвешенном камне, но наиболее удобно оценивать действительную силу притяжения с помощью весов.

В этих экспериментах важно избежать искажения результатов из-за металлической природы чашек весов. С этой целью камень (предварительно взвешенный) помещают на высокую пробку, которую кладут непосредственно на чашу весов. После уравновешивания весов к камню медленно подносят небольшой подковообразный магнит до тех пор, пока он почти не коснется поверхности

камня. Если минерал обладает заметной магнитностью, то равновесие нарушится, когда магнит будет находиться от камня на расстоянии 10—12 мм. Записывают минимальный вес, который «удерживается» магнитом. Разница между ним и истинным весом будет характеризовать притяжение камня к магниту. Это измерение легче всего проводить на весах аperiодического типа, со шкалы которых можно непрерывно считывать показания веса. При использовании весов с рейтером последний следует передвигать на небольшое расстояние перед каждым поднесением магнита к камню до тех пор, пока не будет достигнута компенсация потери веса камня за счет его притяжения. Если весы не имеют рейтера, дробные веса следует вычитать поэтапно, прикладывая магнит после каждого изменения веса, чтобы убедиться, компенсируется ли вес притяжением магнита.

Автор использовал в своих экспериментах небольшой подковообразный магнит «Эклипс», изготовленный из сплава «Альнико». Такие магниты очень дешевы и продаются в большинстве крупных магазинов скобяных изделий. Испытания показали, что для воспроизводимости результатов с образцами одного минерала, но разного размера необходимо принимать во внимание размер камня или, практически, *вес* образца.

Наконец, для определения «магнитности» камня, т. е. его магнитной восприимчивости, предложена эмпирическая формула:

$$\frac{\text{Потеря веса камня от действия магнита} \times 100}{\sqrt{\text{Вес камня}}}$$

Используемые единицы веса значения не имеют — караты и миллиграммы дают одинаковый результат, как и при определении удельного веса. Наиболее важные данные, полученные в экспериментах с магнитом, представлены в табл. 20.2.

Реальная практическая ценность даже грубых измерений магнитности была показана автором при распознавании следующих камней, которые не только могут иметь одинаковый внешний вид, но и с трудом различимы обычными методами диагностики (в каждом случае немагнитный или значительно менее магнитный минерал стоит слева):

Оранжевый метамиктный циркон — спессартин

Зеленый метамиктный циркон — демантоид

Сингалит — коричневый хризолит

Черный алмаз — плеонаст или гематит

Гематит — имитация «гематин»

Красная шпинель — пироп

Эффект магнитного притяжения можно, конечно, наблюдать даже на закрепленных камнях, хотя отсутствие точных сведений о весе образца не позволяет использовать предложенную выше эмпирическую формулу. Однако, как из нее явствует, в знамена-

Таблица 20.2\*

Сильномагнитные	Альмандин	290—410
	Спессартин	250—360
	Родохрозит	270
	Родонит	280—370
	Гематит	220—310
Среднемагнитные	Демантоид	120—200
	Эпидот	100
	Плеонаст	80—130
	Хризолит	50—75
	Пироп	40—100
	Темно-зеленый турмалин	50—70
	Гессонит	40
Индиголит	40	
Слабомагнитные	Коричневый сингалит	15
	Зеленый турмалин	10—20

теле стоит *квадратный корень* из веса камня. Таким образом, вес камня в 4 карата и вес камня в 9 каратов будут относиться как 2 : 3, что не оказывает существенного влияния на величину получаемой «магнитной восприимчивости».

## ТУРМАЛИН, ХРИЗОЛИТ И ШПИНЕЛЬ

Турмалин — один из наиболее красивых и вместе с тем широко распространенных минералов, хотя прозрачные образцы, пригодные для огранки, встречаются в очень немногих месторождениях. Его призматические кристаллы с продольной штриховкой и закругленным треугольным сечением очень легко узнать (рис. 21.1).

Минерал имеет такой сложный химический состав, что не всегда его легко выразить формулой. Это обусловлено возможностью замещения одних атомов другими в кристаллической решетке минерала без нарушения ее структуры. Турмалин может быть определен как боросиликат алюминия, содержащий в тех или иных количествах магний, железо, кальций и щелочные металлы.

В прошлом минералоги подразделяли группу турмалина на основании состава на три основные подгруппы: **шерл** — железистый турмалин, имеющий, как правило, черный цвет, **дравит** — магнетиальный турмалин коричневого цвета (чаще всего) и **эльбаит**, содержащий натрий и литий, которые в основном и определяют его свойства. Турмалины последней подгруппы имеют обычно розовый, красный или бледно-зеленый (нередко попеременно розовый и зеленый) цвета, причем практически все ювелирные турмалины относятся к этой подгруппе. В последние годы обстоятельные работы П. Дж. Данна и других исследователей позволили добавить к трем указанным разновидностям еще две. Первая из них — **увит** может рассматриваться как дравит, в котором кальций преобладает над натрием. Увит, подобно дравиту, имеет обычно коричневый цвет и их нельзя различить обычными геммологическими методами. Другой новый минерал — **лиддикоатит** отличается от эльбаита только тем, что содержит больше кальция, чем натрия. «Шерл» — это старинное шахтерское название распространенного черного турмалина. Эльбаит, дравит и увит получили названия по местности, где были впервые обнаружены, а лиддикоатит назван по имени Ричарда Т. Лиддикоата, президента Американского геммологического института, в честь его выдающихся заслуг в области геммологии. Лиддикоатит относится к ювелирному турмалину, причем образцы нередко зональны с полосами розового и зеленого цвета. Кроме того, встречаются прозрачные коричневые и синие камни.

Турмалины практически нельзя различить по плотности и показателям преломления, поэтому геммологи могут называть их просто «турмалинами», добавляя соответствующее определение,

указывающее на цвет камня. Используемые иногда названия «рубеллит» для обозначения красного турмалина и «индиголит» — для синего не получили широкого распространения и, видимо, не очень нужны. Вообще говоря, щелочные турмалины имеют розовый, красный и зеленый или полихромный, розово-зеленый, цвета и наименьшую из всех турмалинов плотность (от 3,01 до 3,06). Магнезиальные турмалины имеют коричневый цвет и плотность

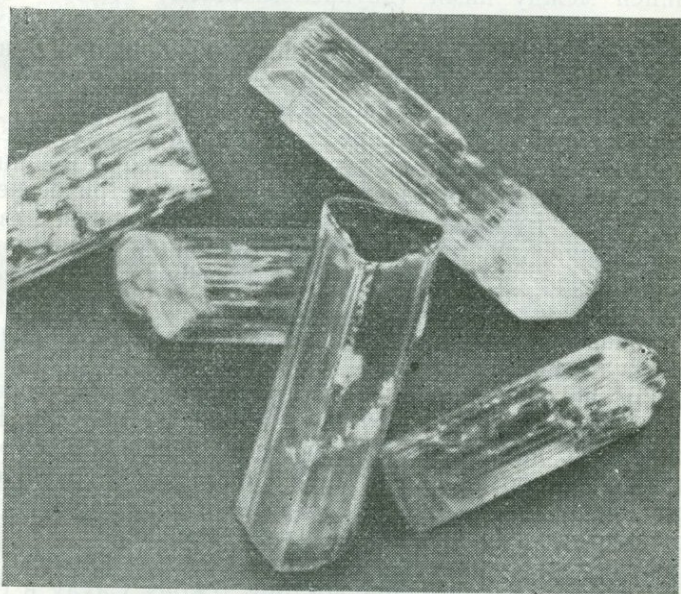


РИС. 21.1. Образцы турмалина с характерной формой кристаллов и цветовой зональностью.

от 3,04 до 3,10, тогда как у черных железистых шерлов плотность варьирует от 3,08 до 3,20. Желтые и темно-синие турмалины, которые встречаются реже других разновидностей, имеют довольно высокую плотность (около 3,10).

Склонность эльбаита и лиддиокатита (т. е. щелочных турмалинов) к полихромности, о которой уже было упомянуто выше, представляет характерную особенность этих минералов, причем полихромными цветами неизменно являются красный и зеленый. Эти цвета могут проявляться в виде более или менее концентрических зон, общая ось которых совпадает с главной осью кристалла; кроме того, окраска всего кристалла может меняться вдоль его главной оси.

Помимо окрашенных камней иногда встречается совершенно бесцветный турмалин (ахроит). Зеленые турмалины, имеющие

почти такой же, как у изумруда, цвет, были найдены в Танзании. Некоторые из них содержат ванадий. Цвет других обусловлен хромом. Хромосодержащие турмалины дают узкий дублет поглощения при 6750 Å в красной части и широкую полосу поглощения при 6100 Å в оранжевой части спектра. При наблюдении через фильтр Челси они выглядят ярко-красными.

Показатели преломления турмалина 1,62 и 1,64 с максимальной разницей между ними (двупреломлением) 0,018. Следует иметь в виду, что для получения максимального двупреломления необходимо испытать камень в различных положениях. В направлении, перпендикулярном оптической оси, двупреломление максимально. В направлении оптической оси двупреломление отсутствует, и рефрактометр дает значение максимального показателя, соответствующее обыкновенному лучу. Граница его затененной области при повороте камня на столике рефрактометра остается на месте, тогда как граница затененной области, соответствующая необыкновенному лучу, перемещается. Величина двупреломления турмалинов имеет важное практическое значение для диагностики, поскольку позволяет отличить этот минерал от других, имеющих такие же показатели преломления, но меньшее двупреломление, в частности от топаза, андалузита (0,01), апатита (0,002) и данбурита (0,006), не говоря уже об изотропных стеклах, показатель преломления которых часто находится в этой же области. В справочниках нередко дается для турмалина значение двупреломления 0,025, однако для прозрачных камней эта величина совершенно не характерна, хотя для черных непрозрачных камней двупреломление может достигать значения 0,03 и даже больше.

Следует, однако, упомянуть об одном исключительном случае. Несколько лет назад благодаря доктору Джону Саулу в обращении появились небольшие кристаллы турмалина из Нарока (Кения). Это были прозрачные кристаллы очень густого красного цвета. Их плотность не отличалась от обычной (около 3,07), но показатели преломления (1,626—1,658) и в особенности двупреломление (0,032) были необычно высоки. Предварительный анализ показал, что содержание в них железа составляет 3,6%, но полный анализ еще не проведен, и, возможно, поэтому пока нельзя объяснить их высокое двупреломление. Наименьшее двупреломление (0,014) было обнаружено у двух образцов коричневатого-красных турмалинов, причём оба они давали отчетливую двусную интерференционную фигуру.

При измерении показателей преломления некоторых зеленых турмалинов на рефрактометре был обнаружен любопытный эффект: вместо двух границ затенения были четко видны четыре, а в некоторых случаях даже восемь границ. Впервые этот загадочный эффект наблюдал доктор С. Дж. Керец, а сообщил о нем в 1967 г. Р. К. Митчелл, который предложил назвать это явление «эффектом Кереца». С тех пор его изучали К. А. Шиффман, про-

фессор Г. Банк и другие, и было показано, что аномальные «лишние» границы затенения исчезают после повторной полировки камней. Как оказалось, эта аномалия обусловлена изменениями, происходящими в поверхностном слое (более глубоком, чем «слой Бильби», образующийся при полировке). Полагают, что эффект связан с местным перегревом камня в процессе его первоначальной полировки.

Из сказанного следует, что любой прозрачный драгоценный камень, средний показатель преломления которого около 1,63, а двупреломление от 0,015 до 0,020, можно с уверенностью идентифицировать как турмалин. Тот факт, что только нижняя граница затененной области движется при повороте камня, является дополнительным подтверждением такого вывода<sup>1</sup>. Если случайно табличка камня окажется под углом  $90^\circ$  к оптической оси, обе границы останутся при вращении неподвижными; при этом они будут располагаться на максимальном расстоянии одна от другой. Если, как это часто случается на практике, оптическая ось параллельна длине ограненного камня, то тогда будет видна лишь одна граница затенения, и максимальное разделение границ будет осуществляться при повороте камня на  $90^\circ$  от указанного положения.

Двупреломление турмалина достаточно высоко, и поэтому при внимательном осмотре камня с помощью лупы через площадку камня можно наблюдать эффект раздвоения ребер задних граней, если только образец не слишком мал.

В темно-коричневых или темно-зеленых камнях описанный эффект часто маскируется полным поглощением обыкновенного луча. Сильное поглощение этого луча можно наблюдать в дихроскоп у коричневых камней: одно изображение окна дихроскопа оказывается практически черным. В XIX в. минералогии использовали этот эффект; они вставляли две тонкие прозрачные пластинки коричневого турмалина, вырезанные параллельно оптической оси кристалла, в круглые деревянные оправы, причем оси пластинок располагали под прямым углом одна к другой. Такая конструкция получила известность под названием «турмалиновых щипцов». По существу, они представляли собой простейший полярископ, действующий по тому же принципу, что и замечательный «поляроид» Лэнда. Поляроиды, укрепленные таким же образом, как в старинных турмалиновых щипцах, весьма полезны для геммологов.

В более светлых камнях дихроизм выражен хуже, хотя он еще отчетливо виден. Наиболее слабый дихроизм имеют светло-зеленые камни, похожие по оттенку на отожденные светло-зеленые изумруды из Намибии.

Турмалины редко не содержат жидких включений, похожих на трещины. Хотя они в действительности состоят из тонких прозрач-

<sup>1</sup> Это говорит об одноосном отрицательном характере минерала. — *Прим. ред.*

ных пленок, при наблюдении в некоторых направлениях они кажутся черными и непрозрачными вследствие полного отражения света от их поверхностей. Типичные жидкие включения показаны на микрофотографии, приведенной на рис. 21.2, а актинолитовые включения — на цветной микрофотографии (фото 5).

Спектр поглощения турмалина описан в гл. 8. Он меняется в зависимости от цвета образца (как и у других аллохроматических минералов). У многих разновидностей турмалина характерные по-

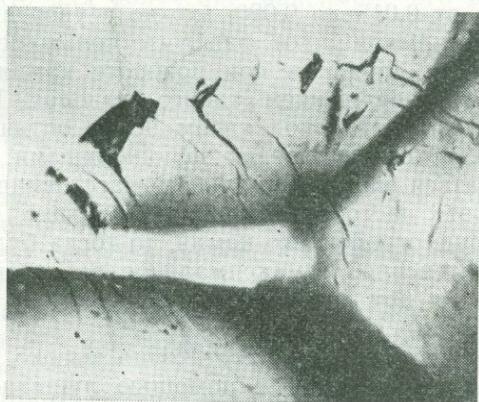


РИС. 21.2. Типичные включения в турмалине.

лосы отсутствуют. Следует помнить, что красные турмалины могут дать две узкие полосы в синей части спектра при 4580 и 4500 Å, которые при невнимательном наблюдении могут быть приняты за значительно более интенсивные полосы при 4765, 4750 и 4685 Å рубина. В размытой области поглощения в зеленой ее части проходит четкая тонкая линия при 5370 Å. Указанные полосы, по-видимому, обусловлены марганцем. Если под рукой нет рефрактометра, а необходимо быстро отличить турмалин от рубина, следует вспомнить, что рубин обладает ярко-красной флюоресценцией в отличие от турмалина, который вообще не флюоресцирует.

Перед тем как закончить описание турмалина, следует упомянуть об одной любопытной особенности этого камня. Он является сильным пирозлектриком. Это означает, что при изменении температуры кристалла его концы приобретают электрические заряды противоположного знака. Для демонстрации описанного эффекта можно провести красивые эксперименты, однако эффект обнаруживает себя и без каких-либо устройств, когда украшения с турмалинами выставлены в освещенном окне или витрине в непосредственной близости от электрической лампы и поэтому нагреваются. В этих условиях турмалины притягивают к себе удиви-

тельное количество пыли и даже полностью покрываются ею, если находятся в витрине достаточно долго.

Некоторые вопросы, касающиеся идентификации хризолита и шпинели, рассмотрены в предыдущих главах, однако на этих двух камнях стоит остановиться более детально.

В Англии зеленая прозрачная разновидность важного породообразующего минерала оливина, представляющего собой силикат магния и железа, была названа **перидотом**; в старой американской литературе по минералогии его называют хризолитом. Название «оливин», к сожалению, получило широкое распространение в торговых кругах применительно к совершенно другому минералу — зеленому гранату демантоиду, найденному впервые на Урале. Поскольку название «оливин» было предложено для обозначения магнезиально-железистого силиката более 150 лет назад, не может быть никаких разговоров о его упразднении. Таким образом, чтобы избежать путаницы, английским ювелирам следует избегать его употребления применительно к зеленому гранату демантоиду и использовать название «перидот» только для обозначения оливина<sup>1</sup>.

Хризолит — один из наиболее легких для определения камней, поскольку он имеет характерный желтовато-зеленый цвет и сильное двупреломление, дающее отчетливый эффект раздвоения ребер задних граней при наблюдении их через площадку с помощью лупы. Наиболее удачно имитируют цвет хризолита пасты, которые, конечно, легко отличить от камня по их изотропности, не говоря уже о других физических свойствах.

Хризолит — средний член изоморфного ряда минералов, конечными членами которого являются магнезиальный силикат (фор-

<sup>1</sup> В вопросе о названиях драгоценного оливина существует большая путаница. Вся группа минералов носит название группы оливина и имеет общую формулу  $R_2^{2+}SiO_4$ , где  $R^{2+}$  — обычно Mg или Fe. Магнезиальные и железистые члены смешиваются в любых соотношениях. Чисто магнезиальный член называется форстеритом, а чисто железистый — фаялитом. Поскольку чистые разновидности встречаются очень редко, то принято следующее деление: разности, содержащие от 0 до 10% фаялита, называются форстеритом, 10—30% — хризолитом, 30—50% — гялосидеритом, 50—70% — гортонолитом, 70—90% — феррогортонолитом, 90—100% — фаялитом. Чистый форстерит бесцветен, другие форстериты содержат мало железа и очень слабо окрашены. Богатые железом разности — от гялосидерита до фаялита — или очень густо окрашены, или практически черные, непрозрачные в крупных кусках. Таким образом, ювелирную ценность имеют только хризолиты. Это название и используется для обозначения ювелирного оливина во всем мире, кроме Англии.

Демантоид, открытый в XIX в. на Урале, сначала был принят за хризолит и под этим названием шел в продажу. Только в начале XX в. была установлена его гранатовая (андрадитовая) природа. Однако путаницы в названиях никогда не существовало, поскольку демантоид во всех случаях назывался уральским хризолитом.

При переводе английский ювелирный термин «перидот» везде заменен используемым в СССР и других странах термином «хризолит». Никакой путаницы с демантоидом не может возникнуть, так как последний везде имеет свое собственное название. — *Прим. ред.*

стерит) и железистый силикат (фаялит). Плотность и показатели преломления минерала, естественно, меняются в зависимости от отношения железа к магнию. Зеленые камни, используемые в ювелирном деле (с берегов Красного моря, из Бирмы или Аризоны), содержат одинаковое количество железа (около 10%), и их свойства практически одинаковы: плотность около 3,34, показатели преломления 1,654 и 1,690 и двупреломление 0,036.

Остров Зебергед в Красном море является классическим поставщиком хризолита, и большинство камней для ювелирных украшений поступало именно оттуда. Самый богатый современный источник хризолитов — Бирма, которая дает крупные и прекрасные по цвету камни. Наибольшее количество хризолита в настоящее время добывается в пустынных областях шт. Аризона и Нью-Мексико, где муравьи часто выносят на поверхность ярко-зеленые окатанные гальки, что говорит о присутствии хризолита в выветрелых вулканических породах под слоем песка. Камни из этих мест обычно имеют светлую окраску, но могут быть очень чистыми и блестящими. Встречаются и более темные зеленые и коричневатые камни с большим содержанием железа. Характерная особенность аризонских хризолитов — наличие включений, похожих на лист лотоса или водяной лилии и состоящих из мелких капелек, окружающих центральный округлый кристалл, который доктор Э. Гюбелин определил как хромит.

Мелкая галка хризолита, встречающаяся на гавайских пляжах, отличается замечательным цветом, обусловленным следовыми количествами хрома. Эти камни имеют вулканическое происхождение и содержат почти сферические включения вулканического стекла, очень похожие на газовые пузырьки в стекле (рис. 21.3). Иногда эти «пузырьки» ориентированы параллельно ромбическим очертаниям первоначальных граней кристалла. Интересно, что хризолиты из всех названных источников, несмотря на принадлежность к изоморфному ряду, имеют очень близкие физические константы, средние значения которых приведены выше. Следует отметить, что различия между величиной промежуточного показателя преломления и верхним и нижним значениями показателей преломления незначительны. Этот признак можно использовать для отличия коричневых образцов хризолита от минерала **сингалита**, существование которого как нового минерала было впервые доказано в 1952 г. Окажет помощь и спектр поглощения хризолита, обусловленный железом и состоящий из трех равномерно распределенных полос в синей области при 4930, 4730 и 4530 Å. В спектре сингалита имеются три полосы, расположение которых почти совпадает с наблюдаемым в спектре хризолита, но, кроме того, четко видна дополнительная полоса при 4630 Å. Детальное описание методов распознавания коричневого хризолита и сингалита в том редком случае, когда их физические константы почти одинаковы, приводится в гл. 18.

**Шпинель** также относится к изоморфной группе минералов, однако камни, используемые в ювелирном деле, представляют собой в основном почти чистые магниальные алюминаты, в которых следы окиси хрома и окиси железа дают красный и синий цвет соответственно. Камни чистых тонов встречаются редко. Значительно больше камней, имеющих не такие красивые промежуточные оттенки, которым трудно дать специальное название. Абсолютно бесцветная шпинель в природе почти неизвестна, хотя

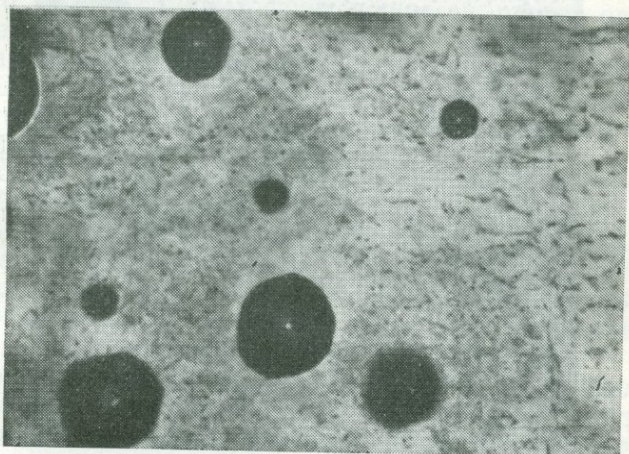


РИС. 21.3. Пузыревидные включения стекла в гавайском хризолите.

иногда встречаются камни едва заметного светло-сиреневого или розового цвета.

Изо всех камней, используемых в ювелирном деле, шпинель обычно недооценивают. Более того, к ней относятся с пренебрежением. Возможно, это отголосок того, что в прошлом наиболее красивые образцы шпинели рассматривались как низкосортные рубины, с которыми шпинель, по сути дела, не имеет ничего общего, кроме некоторого внешнего сходства. Термин «рубин-балэ», когда-то широко применявшийся для обозначения красных шпинелей (в том числе знаменитого «рубина Черного Принца» в Британской короне), был запрещен Геммологической ассоциацией, однако какого-либо торгового названия, которое могло бы способствовать популярности шпинели у любителей ювелирных изделий, предложено не было.

Способы отличия красной шпинели от рубина и пироба были достаточно подробно описаны в гл. 11 и 20. Под микроскопом шпинель может быть определена по ее типичным октаэдрическим включениям. Интересная группа включений, состоящая из тысяч мельчайших кристаллов, показана на рис. 21.4. Такая картина

наблюдается у красной шпинели из Бирмы. Синяя шпинель очень часто напоминает синий турмалин индиголит. Иногда встречается синяя шпинель с острова Шри Ланка, в которой значительная часть магния замещена цинком. Значения плотности и показателя преломления таких образцов значительно выше, чем у обычной

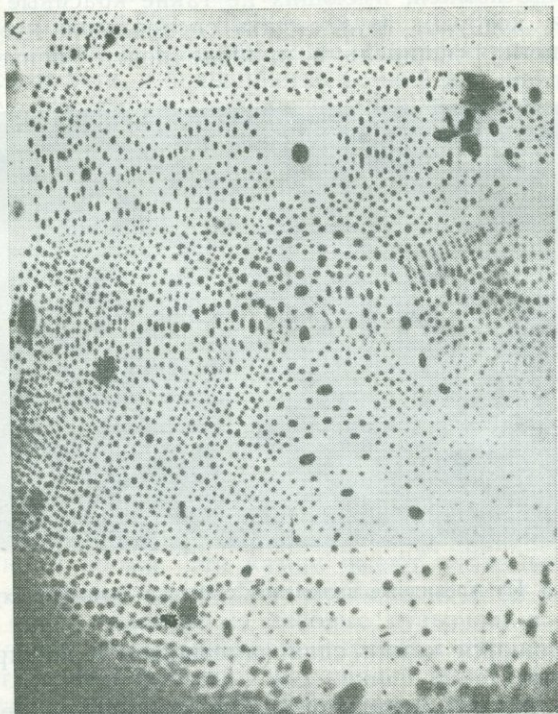


РИС. 21.4. Своеобразная «вуаль-привидение» в красной шпинели из Бирмы.

шпинели. Чистая шпинель имеет плотность 3,58 и показатель преломления 1,715, тогда как первоначально определенные характеристики ганошпинели (цинковой шпинели) равны 3,98 и 1,747 соответственно. В 1963 г. был проанализирован образец синей ганошпинели весом 0,89 карата; оказалось, что он имеет плотность 4,06 и показатель преломления 1,7542. Этот исключительный камень находится в коллекции автора. По внешнему виду ганошпинель не отличается от обычной шпинели.

Очень редко встречаются образцы практически чистой цинковой шпинели — ганита, однако из-за слишком большой редкости она представляет интерес лишь для коллекционеров. Изученные автором образцы были прозрачны и имели турмалиново-зеленый

цвет. Значения плотности и показателя преломления синтетической цинковой шпинели составляют 4,58 и 1,805 соответственно. У природной шпинели из-за изоморфного замещения наблюдается некоторое колебание этих величин. Камень с Мадагаскара, проанализированный автором, дал следующие значения: плотность 4,64, показатель преломления 1,798. В то же время бразильский образец, по данным проф. Г. Банка, имел плотность 4,55 и показатель преломления 1,792.

Спектр поглощения этих камней типичен для спектра двухвалентного железа обычных синих шпинелей, однако он отличается по интенсивности некоторых полос. Спектр образца с Мадагаскара дал слабую полосу при 5850 Å в желтой части спектра, умеренно сильную широкую полосу при 5530 Å, другую при 5090 Å, одну очень интенсивную при 4600 Å и, наконец, умеренно сильную полосу в фиолетовой части спектра при 4330 Å.

Наиболее высоко ценятся шпинели, окрашенные в рубиново-красный цвет. В действительности цвет шпинели, хотя и красивый, никогда не достигает густого малинового цвета рубина. К счастью, это сразу заметно при осмотре партий мелких рубинов под микроскопом. Этот признак, вместе с отсутствием дихроизма и различиями в характере включений, может помочь квалифицированному геммологу отличить шпинель от рубина.

Хороший способ узнать розовую и красную шпинель — это осветить камень интенсивным пучком света, сконцентрированным при прохождении через колбу с насыщенным раствором медного купороса, и через малый призмный спектроскоп изучить спектр флуоресценции. Признаком, определяющим шпинель, является группа ярко-красных линий, похожих на трубы органа. Гранат же совершенно не флуоресцирует, а у рубина наблюдается флуоресцирующий дублет, который через малый призмный спектроскоп виден в форме одной яркой линии. Следует отметить, однако, что синтетические красные шпинели дают спектр флуоресценции, который очень похож на спектр рубина, хотя его основная линия лежит при 6840 Å вместо 6935 Å. Не совсем ясно, с какой целью производится эта синтетическая шпинель. Полученная методом Вернейля, она, как правило, содержит значительный избыток окиси алюминия, необходимой для нормального роста булы: на одну часть магния в ней приходится три с половиной части окиси алюминия (в природной шпинели соотношение магния и алюминия равно 1 : 1). Добавка окиси хрома в шихту при таком составе дает зеленый цвет, а не красный. Едва ли имеет смысл затрачивать усилия на выращивание булей красной шпинели с соотношением окислов магния и алюминия 1 : 1, принимая во внимание небольшую по сравнению с рубином спрос даже на природную красную шпинель. Однако некоторое количество камней такого типа было в свое время выпущено, и при определении камней это следует учитывать. У большинства таких камней могут наблюдаться изо-

гнутые линии роста и почти такие же пузыри, как в синтетическом рубине. Появившаяся недавно синтетическая шпинель густо пурпурно-красного цвета лишена изогнутых линий, но содержит многочисленные, похожие на запятые газовые включения и характерные для синтетической шпинели каналы. Вследствие более низкого содержания окиси алюминия эти красные синтетические шпинели имеют показатель преломления 1,715 по сравнению с 1,727, который обычно указывается для синтетической шпинели.

Очень широко производится **голубая синтетическая шпинель**, в особенности светлая, которая весьма удачно имитирует аквамарин. Оранжевый цвет камня через фильтр Челси, кобальтовый спектр поглощения, типичное аномальное двупреломление, дающее эффект муарового погасания между скрещенными поляроидами, — все это позволяет ее определить.

Кроме того, для синтетической шпинели характерна заметная спайность по кубу, которой нет у природных камней. Такая спайность может проявляться в виде пересекающихся под прямым углом трещин при неаккуратной огранке камня.

Природные синие шпинели редко обладают настоящим синим цветом, как у сапфира. Цвет их обычно сероватый, зеленоватый или чернильно-синий. Через фильтр Челси они выглядят слегка розоватыми, причем этот цвет совершенно не похож на необычный оранжевый оттенок, наблюдаемый у синих синтетических шпинелей. Цвет синей шпинели обусловлен двухвалентным железом, и это приводит к появлению в спектре серии дополнительных линий поглощения. Диагностическими признаками являются широкая полоса поглощения в синей части при 4590 Å и узкая полоса при 4800 Å на ее зеленой стороне. Полосы в желтой и зеленой частях слабее, меняются по интенсивности и положению, но создают общее впечатление богатого и сложного спектра, который очень характерен и который опытный геммолог всегда может узнать.

Спектр синей шпинели наблюдается в какой-то степени и у сиреневых камней, цвет которых точно определить невозможно. Такие камни не очень красивы и не пользуются большой популярностью. Твердость шпинели по шкале Мооса равна 8, т. е. такая же, как у топаза. Шпинель хорошо полируется, причем светлоокрашенные разновидности обладают лучшей игрой, чем камни группы корунда, несмотря на то что в цифровом выражении разница в величине дисперсии у них незначительна (0,020 у шпинели, 0,018 у сапфира). Особенно хорошо видна игра в синтетической бесцветной шпинели, и поэтому она широко используется для имитации алмаза в дешевых ювелирных изделиях.

## ЖАДЫ (НЕФРИТ, ЖАДЕИТ) И ЖАДОПОДОБНЫЕ МИНЕРАЛЫ

До сих пор речь шла о прозрачных камнях, красота которых определялась этим их свойством. Но некоторые драгоценные камни (нефрит, жадеит, лазурит и др.) привлекают внимание своим изумительно красивым цветом; кроме того, они довольно редко встречаются, особенно в образцах высокого качества. Все это позволило им занять достойное место в ювелирном деле, несмотря на то что они полупрозрачны или даже совсем непрозрачны. В этой главе будут рассмотрены настоящие жады и многие «зеленые камни», которые выдают за жад, а бирюзе и лазуриту посвящена следующая глава.

«Жад» — это термин, который даже минералогии считают допустимым для обозначения двух различных минералов. Из них жадеит, или «китайский жад», встречается реже и ценится дороже, хотя нефрит, или «новозеландский жад», также очень популярен как материал, пригодный для резных изделий, особенно в Китае, где минералы жада наиболее дороги и пользуются особым почтением. Жадеит представляет собой силикат натрия и алюминия и относится к группе пироксенов — порообразующих минералов. Нефрит — силикат кальция, магния и железа и принадлежит к группе амфиболов<sup>1</sup>. Оба минерала имеют большую вязкость, что является одной из их характерных особенностей. Она обусловлена тем, что они состоят из массы мелких кристаллических волокон или зерен. Вместо жада используется ряд других плотных зеленых минералов, прежде всего для резных изделий, небольших чаш, бус и т. п., а не для ювелирных изделий. О свойствах этих материалов будет кратко сказано ниже, чтобы помочь читателю отличить их от настоящего жадеита и настоящего нефрита.

<sup>1</sup> Англо-американский термин «жад» является весьма неопределенным и в отечественной литературе практически не используется. Он был предложен в то время, когда еще не различали нефрит и жадеит. Сейчас его рассматривают как групповой ювелирный термин для обозначения зеленых скрытокристаллических, почти мономинеральных однородных горных пород.

Следует отметить исключительную прочность нефрита, обусловленную его войлокоподобной структурой из переплетенных асбестовидных волокон. Его сопротивление раздавливанию равно примерно 1000 МПа/см<sup>2</sup>, т. е. он примерно в четыре раза прочнее самого прочного гранита. Поэтому из нефрита можно изготавливать не только вставки, но также кольца, браслеты и другие подобные изделия. Прочность жадеита и других «жадов» близка к прочности гранита. — *Прим. ред.*

**Жадит** благодаря своей прекрасной окраске и текстуре широко используется для изготовления колец, брошей, кулонов, сережек, бус и т. п., причем высококачественные просвечивающие зеленые камни ценятся очень дорого. Для ювелирных изделий предпочтителен ярко-зеленый жадит, но природные образцы этого минерала могут иметь самую различную окраску: черную, белую, серую, сиреневую, оранжевую и бурую. Цвет зеленого жадеита широко варьирует по насыщенности от бледнейших оттенков до глубокого изумрудного тона. Окраска жадеита часто неравномерна: для него обычны прожилки и небольшие ярко-зеленые пятна, которые в контрасте с почти белым фоном камня создают очень красивую картину. Текстура камня зернистая, а не волокнистая; небольшие различия в твердости зерен приводят к тому, что после полировки камень приобретает выщербленную «шагреньевую» поверхность, которая делает камень еще более привлекательным. У некоторых образцов кристаллическая структура заметна невооруженным глазом или ее можно разглядеть с помощью карманной лупы. Лучшие сорта жадеита просвечивают, а их ярко-зеленый цвет обусловлен окислами хрома. Спектр поглощения такого жадеита похож на спектр изумруда, хотя узкие полосы в красной области обозначены не столь четко и занимают несколько иные положения. Можно добавить, что зеленый жадит в отличие от изумруда «не краснеет» под фильтром Челси. Кроме того, как описано в гл. 8, жадит часто дает характерные полосы поглощения в фиолетовой области, и это может быть очень ценно для подтверждения правильности его определения. Наиболее интенсивная и очень четкая узкая полоса расположена при 4370 Å. В светлоокрашенных жадеитах она лучше заметна в отраженном свете или в проходящем, если образец тонкий и достаточно хорошо просвечивает. В коричневых или темно-зеленых камнях полоса обычно не видна из-за слишком большого общего поглощения, характерного для этой области. Темно-зеленая грубозернистая разновидность жадеита, известная как юньнаньский жад<sup>1</sup>, дает необычный спектр, если через ее тонкий слой удастся пропустить достаточно большое количество света. Удельный вес жадеита независимо от окраски удивительно постоянен и равен 3,33, т. е. почти совпадает с удельным весом иодистого метилена, вследствие чего испытание

<sup>1</sup> Месторождения этого очень красивого камня приурочены к глубоко метаморфизованным амфиболитам близ города Наньян. Зеленая порода, используемая для поделок, образует мелкие жилки и будины в амфиболитах. Жадит в этой породе отсутствует. Она сложена в основном альбитом, в котором содержится довольно много бурой шпинели, образующей местами скопления. Камень пятнистый: белые, ярко-зеленые и буроватые (до бурых) участки беспорядочно распределены по жиле. Наиболее часто зеленые разности приурочены к краям жилки. Микроскопическое изучение породы позволяет предположить, что материал после метаморфизма подвергался диафорезу — повторному метаморфизму в условиях более низких температур и давлений, с обратным превращением жадеита в альбит. — *Прим. ред.*

камня в этой жидкости служит хорошей проверкой, если нет других характерных признаков, позволяющих провести его идентификацию. На показания рефрактометра в случае этих минералов лучше не полагаться, так как камни обычно имеют закругленную или резную поверхность. Если нижняя плоскость кабошона плоская и полированная, показатель преломления можно измерить, причем жадеит часто дает два показателя преломления вследствие эффекта двупреломления, который обычно не наблюдается у кристаллических агрегатов. Эти показатели составляют 1,654 и 1,667, твердость около 7 по шкале Мооса.

Для получения приблизительных значений показателей преломления на поверхности полированных кабошонов жадеита может успешно применяться метод дистанционного наблюдения. Полученные с его помощью данные могут подтвердить правильность определения.

Жадеит имеет сравнительно низкую температуру плавления (меньшую, чем у нефрита), и в пламени паяльной трубки его кусочки легко сплавляется в бесцветный прозрачный шарик.

Хотя жадеит встречается в Японии, Калифорнии и Гватемале, а находки в различных местах Европы каменных топоров из жадеита, изготовленных неолитическим человеком, свидетельствуют о существовании других источников этого минерала, лишь одно месторождение дает ту разновидность жадеита, которая применяется в современном ювелирном деле, а также для изготовления резных изделий и других предметов искусства. Оно расположено в Верхней Бирме, где жадеит встречается в дайках изверженных пород и добывается в местных речках в виде валунов. Грубозернистый темно-зеленый жадеит, часто называемый юньнаньским жадом, вероятно, также поступает из Верхней Бирмы. Торговля им полностью сосредоточена в руках китайцев, и отсюда появилось известное название этого материала — «китайский жад».

В действительности же китайцы не использовали жадеит вплоть до XVIII в., а все их древние резные изделия сделаны из нефрита, которому китайцы дали название «Ю» (Yu), служащее также для обозначения вообще всех драгоценных камней. В настоящее время в Китае жадеит называется «фейцуй» (fei-ts'ui; камень королевской рыбы), хотя первоначально это название применялось также для обозначения некоторых высококачественных сортов зеленого нефрита.

В Китае месторождения нефрита сосредоточены в основном в Восточном Туркестане (Хотан, Яркенд), откуда в течение веков валуны амфиболового нефрита перевозились по невероятно трудному трансконтинентальному пути.

Новозеландский «зеленый камень» (весьма неудачное название, поскольку оно часто применяется для обозначения настоящего нефрита) первоначально использовался племенем маори для изготовления различных поделок. Они обрабатывали валуны,

встречающиеся в реках Арахура и Теремелау на острове Южном. Современные резные изделия из новозеландского нефрита в основном производятся в Идар-Оберштейне, где опытные мастера копируют маорийские мотивы («тикис» (hei-tiki) и другие). Камень имеет прекрасный цвет шпината и содержит заметно больше железа, чем китайский нефрит.

С минералогической точки зрения нефрит в зависимости от содержания железа может быть приравнен или к тремолиту, который имеет белый цвет (нефрит цвета бараньего сала), или же к актинолиту, который содержит заметное количество железа и нередко встречается в виде асбеста. Оба указанных минерала относятся к группе амфиболов, из которых роговая обманка является наиболее важным пороодообразующим минералом.

Большие количества нефрита поступают из Вайоминга, Калифорнии, Британской Колумбии и с Аляски. К другим общеизвестным месторождениям относятся район озера Байкал в Сибири, где находят гигантские валуны, и месторождение в Йорданове (Польша). Сибирский нефрит просвечивает, имеет шпинатово-зеленый цвет, содержит черные пятна магнетита или графита. Материал из Польши характеризуется привлекательной гаммой красивых оттенков — от цвета слоновой кости до прекрасного просвечивающего зеленого, причем у большинства образцов наблюдается неравномерная окраска.

В течение последнего десятилетия зеленый нефрит хорошего качества поступает с Тайваня. Там встречаются и зеленые просвечивающие камни с шелковистостью. Стремление продавать эти камни под названием «нефритовый кошачий глаз» было воспринято ведущими геммологами критически на том основании, что хотя состав и свойства этих камней соответствуют нефриту, их параллельно-волокнистое строение, обуславливающее эффект шелковистости, отличается от строения нефрита, волокна которого ориентированы беспорядочно и образуют спутанно-волокнистую структуру. Правильнее называть этот «кошачий глаз» тремолитовым кошачьим глазом. Испытанные образцы имели плотность 3,01 и показатели преломления 1,615—1,631.

Удельный вес нефрита заметно ниже, чем жадеита. Среднее значение составляет 2,95, предельные значения колеблются от 2,90 до 3,03. Ниже и показатель преломления. На рефрактометре край затененной области располагается около 1,62. Твердость по шкале Мооса равна 6,5, хотя твердость поверхности некоторых старых образцов кажется выше. На некоторых образцах оставляют царапины лезвие перочинного ножа или игла. Нефрит более волокнист, чем жадеит, и полированные образцы не имеют блеска последнего.

Хотя до сих пор речь шла только о белом (цвета бараньего сала) и «сумрачно-зеленом» нефритах, иногда встречаются бурые или желтые разновидности, особенно в древних выветрелых кусках.

Зеленый цвет обусловлен главным образом двухвалентным железом, являющимся существенным компонентом нефрита, однако наиболее густо окрашенные образцы могут содержать немного хрома, вследствие чего в красной части спектра иногда проявляются довольно неясные узкие полосы, которые никогда не бывают видны так четко, как у жадеита. В ряде случаев заметна слабая линия при 4980 Å, где зеленый цвет меняется на синий, однако нет полос поглощения в фиолетовой части за пределами общего поглощения в целой области.

Перед тем как приступить к описанию других минералов, которые принимаются или могут быть приняты за нефрит и жадеит, следует предупредить о последних достижениях в области искусства подделок. Были разработаны способы окрашивания бледных образцов настоящего жадеита, в результате чего они приобретают вид ценного зеленого жадеита высшего качества. Согласно сообщению из Гонконга, для получения желаемого эффекта применяются два органических красителя — синий и желтый. Иногда при больших увеличениях можно заметить, что в таких образцах окраска концентрируется в мелких трещинах или прожилках минерала. Однако в некоторых случаях окраска удивительно равномерна, как если бы краситель мог проникнуть непосредственно внутрь мелких кристаллов.

Другой способ подделки под жадеит с помощью окрашивания более трудоемок и требует большого мастерства, однако, что касается внешнего вида, результаты получаются ошеломляющие. Для этой цели изготавливают тонкостенный полый кабошон. Затем из того же материала вытачивают деталь, которой плотно его закрывают, и обе детали склеивают, заполнив пространство между ними зеленым красителем. В образцах, исследованных автором, не было заметно ни малейшей попытки замаскировать составную природу камня, поскольку ободок, идущий вокруг основания кабошона, можно было четко различить. Однако в закрепленных образцах увидеть его невозможно, и очень большие деньги могут быть уплачены напрасно за поддельные камни, которые внешне имеют все характерные особенности, текстуру и блеск настоящего жадеита и окрашены в очень насыщенный зеленый цвет.

К счастью, имеются способы, которые помогают обнаружить подделку, если возникнет подозрение. Во-первых, окрашенные камни выглядят обычно под фильтром Челси красными или розоватыми в отличие от природного зеленого жадеита. Во-вторых, спектроскоп позволяет обнаружить краситель по появлению достаточно сильной, хотя и довольно грубой полосы поглощения в красной области, тогда как узкие полосы хрома, которые дал бы необработанный жадеит такого же цвета, в этом случае не наблюдаются. Жадеит также окрашивают в сиреневый цвет, и ко всем имеющим такой цвет изделиям из жадеита необходимо относиться с подозрением и подвергать их исследованиям в лабора-

тории, прежде чем платить за них большие деньги. Окраска таких обработанных жадеитов может быть удалена азотной кислотой или другими менее активными реагентами, однако такой способ не очень удобен для установления истины.

Из многих похожих на нефрит и жадеит минералов, которые встречаются в кольцах или брошах, ошибочно принять за жадеит можно только зеленые халцедоновые минералы **хризопраз** и **хромовый халцедон**, зеленый **крашенный халцедон** и, пожалуй, полупрозрачный **изумруд**, который иногда обрабатывают в виде кабوشона. Метод дистанционного наблюдения позволит обнаружить, что их показатели преломления значительно ниже, чем у жадеита. Для отличия этих минералов от жадеита и друг от друга может быть также полезен спектроскоп. Цвет хризопраза обусловлен примесью никеля, и поэтому в его спектре наблюдается слабая линия поглощения в оранжево-красной области спектра, имеющая неопределенное положение. Все остальные камни дают узкие линии в дальней красной области, обусловленные присутствием хрома. Опытный глаз, однако, в каждом случае заметит несколько различное положение этих линий и сможет определить по ним исследуемые образцы.

Изумруд дает четкий спектр, и поскольку он образует монокристаллы, то обладает дихроизмом, поэтому в спектрокопе видны изменения спектра с изменением направления зрения или при повороте диска поляроида, помещенного на окуляр спектрокопа. Халцедоновые минералы, как и жадеит, являются поликристаллическими, что обуславливает менее четкие линии спектра и независимость спектра от направления наблюдения или от поляризации света. Жадеит хорошего ярко-зеленого цвета может давать спектр, отчасти напоминающий спектр изумруда: интенсивный дублет в дальней красной области с двумя более слабыми линиями в оранжевой. У хромового халцедона, недавно найденного и добываемого в Зимбабве, в спектре имеется лишь достаточно четкий дублет, тогда как у окрашенного зеленого халцедона спектр размытый, трехполосный, состоящий из дублета и двух более слабых линий со светлыми участками вдоль них на длинноволновой стороне.

Следует сказать и о том, что в ювелирных украшениях иногда встречаются зеленые разновидности карбонатного минерала **смитсонита**, которые по цвету и просвечиваемости похожи на высококачественный жадеит. Когда-то смитсонит поступал на рынок под торговым названием «бонамит». Его твердость (5) много ниже, а удельный вес много выше (4,35), чем у жадеита. В спектре смитсонита не наблюдается никаких характерных полос поглощения. Карбонатная природа смитсонита очень просто, чтобы не сказать грубо, выявляется с помощью соляной кислоты: он «шипит». Этот способ может помочь при определении многих декоративных камней, но совершенно очевидно, что он, как и в случае

определения твердости, должен выполняться аккуратно и с осмотрительностью. Как правило, достаточно очень маленькой капли сильно разбавленной кислоты. Лупа поможет убедиться, что реакция действительно имеет место. Капля кислоты должна быть удалена как можно быстрее, иначе она оставит на полированном камне темное пятно.

Вероятно, более разумно проводить такое испытание, соскоблив с образца небольшое количество порошка и наблюдая на предметном стекле под микроскопом его взаимодействие с каплей разбавленной кислоты. Для наблюдения реакции достаточно небольшого увеличения.

Этот способ распознавания карбонатов упомянут здесь вследствие его чрезвычайной простоты и полезности. Известен еще ряд химических реакций, которые можно применить при работе с микроколичествами определяемого материала, если он представляет собой непрозрачный цветной камень. Некоторые из них описаны в книге Р. Вебстера «Справочник геммолога».

Для бус, резных изделий и небольших украшений используют многие другие зеленые или зеленоватые минералы, которые часто, но неправильно называют жадом в сочетании с названием местности, где камень был найден. Например, трансваальским жадом называют массивную форму зеленого, розового или оранжево-красного просвечивающего граната, добываемого в Баффельсфонтейне в Трансваале. Он может быть очень похож на настоящий нефрит, чем и завоевал некоторую популярность как поделочный камень. Геммологи определяют этот материал как массивный гроссуляр, хотя более правильно было бы называть его **гидрогроссуляром** из-за высокого (до 5%) содержания воды, замещающей окись кремния в молекуле гроссуляра. То же самое можно сказать и о похожей на нефрит гранатовой породе, недавно найденной в Пакистане.

Правильное определение этих красивых камней затрудняется тем обстоятельством, что гранат в них смешан в различных пропорциях с **везувианом**, который обычно носит название **калифорнита**, когда встречается в виде массивной зеленой горной породы. Действительно, оба минерала близки как по составу, так и по структуре. Тем не менее геммолог путем внимательного изучения спектров поглощения и измерения удельного веса образцов из таких смесей может получить достаточно четкое представление о том, какая же разновидность в них преобладает. Удельный вес чистого гроссуляра 3,60, тогда как у везувиана удельный вес значительно ниже — около 3,32. Вебстер нашел, что удельный вес большинства нефритоподобных камней из Трансваала колеблется в пределах 3,36—3,57. Автор обнаружил аналогичные колебания удельного веса (3,28—3,52) у пакистанского материала. При исследовании пакистанских «зеленых камней» было обнаружено, что камни с меньшим удельным весом дают сильную полосу при

4610 Å в синей области и более слабую полосу при 5300 Å; обе полосы типичны для везувиана. В камнях с большим удельным весом эти полосы едва заметны и вместо них видна широкая полоса с центром при 6300 Å в оранжевой области спектра, характеризующаяся довольно резким краем с зеленой стороны. Такая полоса типична для гроссуляра, окрашенного в зеленый цвет хромом.

Массивный гроссуляр, как известно, люминесцирует в рентгеновских лучах, и это свойство может служить для его диагностики, если, конечно, имеется возможность провести испытание в лаборатории. Свечение сохраняется, даже если образец состоит в основном из везувиана. Причина люминесценции до конца не выяснена.

Бледная яблочно-зеленая разновидность серпентина, известная как **бовенит**<sup>1</sup>, является имитацией нефрита; она была ошибочно принята за нефрит доктором Боуэном, в чью честь ее и назвали. Любопытно, что этот материал имеет большую твердость и большую прозрачность, чем другие формы серпентина. Удельный вес образцов, изученных автором, был стабилен (2,59), показатель преломления равнялся 1,55. В литературе, однако, указываются более высокие значения, что, по-видимому, объясняется различием свойств минерала бовенита из разных месторождений. В бовените часто наблюдаются небольшие группы или цепочки зеленоватых включений хлорита, что позволяет распознать этот очень красивый материал. Просвечивающей разновидности бовенита, встречающейся в Милфорд-Саунде, маори дали поэтическое название «тангиваи», что значит слезы. Довольно крупные куски бовенита найдены в Китае, где из него вырезают различные фигурки, чаши, блюда и т. д. Более мягкий, но замечательный по цвету оливково-зеленый серпентин называется **вильямситом**. Он содержит черные октаэдрические включения. Его плотность и показатель преломления несколько выше, чем у бовенита. Значительно более мягкий зеленый минерал, продаваемый как «штирийский жад» (его правильнее называть **псевдофитом** или **клинохлором**), относится к группе хлоритов, которая близко связана с серпентинами. В то время как бовенит с трудом можно поцарапать иглой, твердость псевдофита даже ниже твердости кальцита.

**Пренит** является еще одним нефритоподобным минералом; он имеет оливково-желтовато-зеленый цвет и радиальную волокнистую структуру, которая весьма для него характерна. Пренит сильно просвечивает, в редких случаях он совершенно прозрачен и бесцветен. На жадеит похож и **амазонит**, хотя его голубовато-зеленый цвет и типичная структура полевого шпата легко распо-

<sup>1</sup> В Советском Союзе этот минерал описан под названием нефритонда; обычно это спутанно-волокнистая разновидность антигоритовых серпентинитов. — *Прим. ред.*

знаются опытным глазом. Нередко за нефрит выдается массивный зеленый везувиан — **калифорнит**, как и загрязненный примесями вторичный минерал **соссурит**, образующийся при разложении плагиоклазов. Недавно была обследована почти чисто-белая ваза из соссурита. При этом обнаружилась четкая полоса при 4550 Å в сине-фиолетовой части спектра, принадлежащая клиноцоизиту и родственному ему минералу эпидоту. Зеленый **авантюриновый кварц** называют «индийским нефритом», хотя блески фуксита сразу отличают его от настоящего нефрита.

Иногда встречается авантюриновый кварц с очень мелкими включениями слюды. По чередующимся зеленым полосам темных и светлых тонов его можно легко принять за малахит. Однако его плотность, показатель преломления и твердость соответствуют кварцу (авантюрин действительно представляет собой кварцит, содержащий хромовую слюду). Более того, он выглядит красным под фильтром Челси и имеет спектр поглощения хрома с дублетом в дальней красной области (при 6800 Å) и другой линией на оранжевой стороне спектра.

Следует упомянуть еще несколько камней. Пятнистый зеленый материал, известный как верд-антик (верде антик), является серпентиновым мрамором. Идентифицировать эту весьма привлекательную породу (едва ли можно назвать ее минералом) позволяют ее характерные пятна и прожилки, взаимодействие с кислотой и интенсивная полоса при 4650 Å в синей области спектра поглощения.

«**Коннемарский мрамор**», «**ионский камень**» и «**офиокальцит**» — все эти названия используются для обозначения одного и того же материала в зависимости от месторождения или вкуса покупателя. **Вердит** — это не очень красивый темно-зеленый материал, состоящий из глины, пропитанной хромовой слюдой. Его не следует путать с верд-антиком, упомянутым выше. Низкая твердость вердита (3), а также внешний вид позволяют легко отличить его от нефрита. Плотность вердита 2,9, показатель преломления 1,58.

«**Мау-сит-сит**» — это удобное (по месторождению) название блестящей зеленой породы, часто содержащей темные, почти черные прожилки и пятна. Она была найдена, изучена и проанализирована доктором Гюбелином. Как показали его исследования, порода состоит в основном из альбита, окрашенного хромом. Увидев однажды этот камень, в дальнейшем его довольно легко узнать. От жадеита и нефрита его можно отличить по более низкому показателю преломления (1,53) и меньшей плотности (2,77). Твердость его по шкале Мооса, как и следует ожидать, соответствует твердости полевого шпата (6).

Перед тем как закончить список минералов, которые могут быть приняты за жадеит или нефрит, следует упомянуть о просвечивающих формах **изумруда** и **флюорита**. Оба этих красивых минерала использовались для изготовления небольших резных из-

ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ НЕФРИТА,  
ЖАДЕИТА И ПОХОЖИХ НА НИХ КАМНЕЙ

Таблица 22.1

Название	Удельный вес	Средний показатель преломления	Твердость по Моосу
Жадит	3,33	1,66	7
Нефрит	3,00	1,62	6,5
Псевдофит	2,7	1,57	2,5
Гидрогроссуляр	3,48	1,73	6,5
Пренит	2,87	1,63	6
Бовенит	2,6	1,55	5,5
Вильямсит	2,62	1,57	4
Авантюриновый кварц	2,66	1,55	7
Халцедон	2,60	1,54	7
Амазонит	2,56	1,53	6
Калифорнит	3,40	1,72	5,5
Смитсонит (бонамит)	4,35	1,62 <sup>1</sup>	5
Агальматолит	2,80	—	2,5
Соссюрит	3,2	1,70	6,5
Изумруд	2,7	1,57	7,5
Флюорит	3,18	1,43	4

<sup>1</sup> Второй показатель равен 1,849, однако на шкале рефрактометра видна лишь неясная тень около значения 1,62.

делий в стиле, характерном для жадеита, к которому они весьма близки по цвету. При их идентификации можно обойтись без определения удельного веса и применения рефрактометра. Изумруд проявит себя сильным дихроизмом и красным цветом между скрещенными фильтрами, тогда как жадеит, нефрит и флюорит под фильтром Челси выглядят розовыми. Флюорит, твердость которого значительно ниже твердости нефрита и жадеита, даст характерную фиолетовую люминесценцию при облучении ультрафиолетовым светом. Кроме того, его нетрудно отличить от нефрита и жадеита по совершенной спайности по октаэдру, заметной на сколах или внутри камня в виде спайных трещин. Имитация жадеита из стекла может быть или очень грубой, или же очень на него похожей. Исследование с помощью лупы позволит обнаружить пузыри в глубине или вблизи поверхности стекла.

Приведенный достаточно длинный список минералов, похожих на нефрит и жадеит, может быть продолжен. В табл. 22.1 приведены физические свойства упомянутых материалов, хотя следует иметь в виду, что эти камни, в отличие от прозрачных камней, редко встречаются в чистом виде и поэтому их свойства могут заметно варьировать.

Ювелира не должно смущать такое количество упомянутых минералов. В действительности только немногие из них применяются в ювелирном деле, и основной вопрос: «Настоящий ли это

нефрит или жадеит?» — может быть обычно решен при простом осмотре или же с помощью нескольких простых испытаний. Для определения жадеита очень полезно иметь под рукой спектроскоп, поскольку его можно применять независимо от формы образца, и он одинаково эффективен как для закрепленных, так и незакрепленных камней. Как уже было показано в гл. 8, зеленый жадеит хорошо узнается по заметным линиям хрома в красной области спектра. Эти линии узки, но в отличие от линий изумруда (на которые они несколько похожи) они более размытые и не меняются с изменением направления, в котором ведется наблюдение, или при вращении поляризованного диска. У более светлых жадеитов наблюдается интенсивная узкая линия при 4370 Å в фиолетовой области. Она присутствует также в зеленых жадеитах, но может быть замаскирована общим поглощением в фиолетовой области. Если образец достаточно тонкий и просвечивает, то эти линии идеально видны в проходящем свете. Но они могут быть заметны и в ярком отраженном свете, если щель спектроскопа расположить вблизи ярко освещенного образца. Колба с раствором медного купороса облегчает наблюдение вследствие концентрации света и улучшения видимости фиолетовой части спектра. При необходимости идентифицировать трудно определяемый материал, похожий на нефрит или жадеит, лучше всего прибегнуть к помощи специальной лаборатории или обратиться в минералогический музей, где имеется оборудование для проведения рентгеновских анализов.

Большую помощь в диагностике может оказать коллекция небольших образцов различных жадоподобных материалов, которая даст гораздо большее представление об их внешнем виде и свойствах, чем сведения, почерпнутые из литературы.

## БИРЮЗА И ЛАЗУРИТ

Бирюза является водным фосфатом алюминия и меди, в котором часть алюминия обычно замещена железом. Небесно-голубая окраска, придающая камню такую привлекательность, обусловлена примесью меди. Железо же, если оно есть, придает бирюзе нежелательный зеленый оттенок. Бирюза считается практически аморфной, однако иногда встречаются небольшие триклинные кристаллы этого минерала. В шлифах под микроскопом видно, что бирюза состоит из мелких кристаллических частиц, включенных в беловатый аморфный материал. Образцы, содержащие много аморфного вещества, более пористы, менее плотны, светлее окрашены и мягче, чем более чистые разновидности.

Бирюзу геммологу, по-видимому, определять труднее, чем какой-либо другой камень, широко используемый в ювелирной практике. Прежде всего она непрозрачна и особенности ее структуры не могут быть изучены оптическими методами. Она поликристаллическа, поэтому можно определить лишь среднее значение показателя преломления. Она пориста, следовательно, легко поддается пропитке воском, пластмассами или силикатными растворами. Более того, существует ряд природных минералов, которые напоминают или могут напоминать после соответствующей обработки бирюзу по внешнему виду. Мы не говорим уже о различных имитациях.

Как всегда в таких случаях лучше всего тщательно изучить природный материал из всех доступных источников. Структура поверхности настоящей бирюзы весьма характерна. На аморфном бледно-голубом фоне видны мелкие обломки и включения беловатого материала. Нередко наблюдаются также мелкие бурые прожилки лимонита. В «египетской» бирюзе, которая имеет интенсивную голубую окраску и сильнее просвечивает, чем другие разновидности бирюзы, можно видеть мелкие темно-синие диски в массе светлого фонового материала. Таким образом, при определении бирюзы необходимо прежде всего тщательно осмотреть ее поверхность под микроскопом.

Следующий важный момент — изучение спектра поглощения света, отраженного от камня. Свет от проекционной лампы мощностью 250—500 Вт, сфокусированный на камне с помощью колбы, наполненной концентрированным раствором медного купороса, значительно облегчает определение характерных линий в голубой области спектра. Наиболее интенсивной и наиболее важной

для определения линий в спектре бирюзы является линия при 4320 Å в фиолетовой части, которая в большинстве случаев довольно узка и отчетливо очерчена. Слабее и шире полоса в синей области спектра при 4600 Å. Хотя фотография позволяет обнаружить еще одну линию при 4200 Å, равную по интенсивности линии при 4320 Å, визуально она не наблюдается и поэтому не имеет большого значения для диагностики. Всех этих линий поглощения нет ни у одного из минералов, похожих по внешнему виду на бирюзу, и ни у одной из ее имитаций. Поэтому их присутствие позволяет быстро и надежно определять бирюзу, и если к тому же структура поверхности «правильная» и нет никаких признаков пропитки (см. ниже), то определение можно считать окончательным.

На рефрактометре метод дистанционного наблюдения дает для бирюзы показатель 1,62 или 1,61 и тем самым подтверждает правильность ранее выполненного определения или предупреждает о возможности подделки, когда видно сильное расхождение с указанными значениями показателя преломления. Если камни не закреплены, то очень важные сведения может дать определение удельного веса, поскольку он позволяет судить о качестве и происхождении образца и по его величине можно отличить настоящую бирюзу от похожих на нее минералов и имитаций. Бирюза с Синайского полуострова (ранее мы ее назвали египетской) имеет наибольший удельный вес — около 2,81. У иранской бирюзы, которая и до настоящего времени добывается в древних шахтах вблизи Нишапура, он лишь ненамного меньше. Бирюза в этих месторождениях не встречается в виде крупных кусков. В азиатских и североамериканских месторождениях попадает бирюза прекрасного качества и притом в довольно больших кусках. Кроме того, там добывается много бирюзы невысокого качества, мягкой и пористой, которая поступает на рынок после пропитки различными способами. Даже хорошая американская бирюза для улучшения полировки и соответственно цвета без введения какого-либо красителя обрабатывается воском. Удельный вес такой бирюзы 2,75—2,65. К любой «бирюзе», имеющей плотность ниже 2,6, следует относиться с большим подозрением.

Твердость лучших сортов бирюзы около 6 или несколько ниже, поэтому ее трудно поцарапать ножом или иглой. Твердость более низких сортов и синтетических имитаций всегда ниже 6. Еще одной особенностью бирюзы, о которой стоит упомянуть, является восковой блеск ее излома. Этим она отличается от большинства имитаций.

**Синтетическая бирюза** Пьера Жильсона имеет характерную структуру поверхности. Она описана в гл. 7.

**Имитации бирюзы** получают из окрашенного в нужный цвет алебаstra, а также путем прессования различных порошков, частично имеющих такой же состав, как и сама бирюза. Такие ма-

териалы не образуют типичную для бирюзы поверхность и не дают ее линий поглощения. Кроме того, они имеют более низкую твердость, небольшой удельный вес и большую пористость. **Имитации из стекла**, как и **фарфоровые имитации**, содержат, как правило, небольшие пузырьки близ поверхности. Эти материалы, а также **эмали** и **крашеный халцедон** не обладают поверхностной структурой, типичной для настоящей бирюзы, и имеют стеклянный блеск. Недавно стали красить в голубой цвет минерал говлит — водный боросиликат — и получили весьма эффектную имитацию бирюзы. Роберт Вебстер нашел, что плотность такого материала лежит в пределах от 2,50 до 2,57, а твердость равна 4,5. Эти значения ниже, чем у бирюзы, но они выше значений, приводимых в литературе. Синий краситель, обычно применяемый для окрашивания белого говлита, дает широкую полосу поглощения в зеленой области спектра, но не дает линий ни в синей, ни в фиолетовой областях. На рефрактометре получается значение показателя преломления 1,59.

В США производится несколько типов бирюзы с пропиткой. Как исходный материал используют природную бирюзу, настолько светлую и мягкую, что она не представляет интереса для ювелиров. Один из способов обработки такой бирюзы заключается в том, что измельченный материал «связывают» полистироловыми смолами. Плотность полученного материала ниже плотности настоящей бирюзы. Он царапается ножом и издает характерный запах при нагревании его осколка в маленькой стеклянной трубке. Следует отметить, что каноны геммологии не допускают подобных испытаний, связанных с разрушением образца. Труднее выявить подделку, когда масса связана в одно целое с жидким стеклом (силикатом натрия), поскольку ее плотность приближается к плотности природной бирюзы. Такая бирюза опасна тем, что она иногда дает линии поглощения настоящей бирюзы, а сигналом подделки может служить только отсутствие нормальной структуры поверхности, свойственной природному камню. Подобные сомнительные камни следует передавать на исследование в специализированные лаборатории.

Из природных материалов на бирюзу похож **одонтолит**, или «костяная бирюза», — ископаемая кость, окрашенная в синий цвет вивианитом (фосфатом железа). Одонтолит всегда содержит карбонат кальция и поэтому «шипит», если на него капнуть разбавленной соляной кислотой. Одонтолит можно узнать как по его более высокой, чем у бирюзы, плотности (3,00—3,25), так и по его характерной органической структуре, видимой под микроскопом. Твердость одонтолита равна 5 по Моосу. **Варисцит** — зеленый водный фосфат алюминия — имеет твердость 5 и плотность около 2,5. Средний показатель преломления варисцита 1,58 (также ниже, чем у бирюзы). **Амазонит** — полевой шпат, о котором мы уже говорили в связи с нефритом, — в свою очередь может быть

ошибочно принят за плохую бирюзу. Но и тут низкий удельный вес и невысокие показатели преломления наряду с характерной структурой помогают отличить его от бирюзы. Минерал лазулит (не путать с лазуритом!) редко используется как ювелирный материал, однако о нем следует упомянуть, поскольку он иногда очень напоминает плохую бирюзу. Лазулит более прозрачен, чем бирюза, имеет такой же, как и она, показатель преломления, но удельный вес его выше (3,1). При наблюдении под микроскопом сразу бросается в глаза отсутствие структуры, характерной для бирюзы.

**Хризоколл** — водный силикат меди — внешне также похожа на бирюзу, особенно если обработана в виде кабошонов небесно-голубого цвета. Отличить ее можно по малой твердости (около 3) и низкой плотности (2,2). При загрязнении различными примесями цвет хризоколлы может меняться от голубого до коричневого и черного. В случае пропитки кварцем ее свойства становятся близкими к свойствам чистого кварца.

### ЛАЗУРИТ (ЛЯПИС-ЛАЗУРЬ)

Использование лазурита как материала для украшений восходит к глубокой древности, и оставшиеся от тех времен шахты в Афганистане до сих пор дают прекрасный камень, несмотря на то что разрабатываются почти непрерывно в течение 6000 лет. Поделочный лазулит в отличие от большинства драгоценных камней представляет собой горную породу, в которой синие минералы, такие, как лазурит, гаюин и содалит, находятся в смеси с кальцитом, диопсидом, пиритом и другими минералами. В высококачественном материале преобладают синие минералы, благодаря которым полированный камень выглядит почти однородным. Бронзовые блестки пирита, рассыпанные по его поверхности, служат признаком природного камня. Низкосортный чилийский материал содержит большие белые участки, но и сами синие области имеют светло-голубой цвет в отличие от настоящего глубокого ультрамаринового цвета хорошего лазурита.

В справочниках обычно указывается, что удельный вес лазурита лежит в пределах 2,38—2,45. Однако эти значения были получены около 100 лет назад на небольших обломках синих минералов, входящих в состав лазурита. В действительности же удельный вес образцов хорошего лазурита составляет в среднем 2,80. Пределы значений 2,7—2,9 следует принять за норму, если только в камнях нет большого количества пирита, который, естественно, увеличивает их плотность. Настоящий лазурит можно отличить от его наиболее распространенной имитации — крашеной яшмы, известной как «швейцарский лазурит», по удельному весу: плотность яшмы не превышает 2,58. Кроме того, ее можно узнать

по внешнему виду, в частности по цвету, похожему на цвет лазурита, по стеклянному блеску и мелким включениям и прожилкам прозрачного кварца. Отсутствие включений пирита, часто встречающегося в настоящем лазурите, может служить дополнительным признаком такой имитации.

В 1954 г. появилась новая и эффектная имитация лазурита — синтетическая шпинель, окрашенная кобальтом в темно-синий цвет. Ее получили путем нагревания смеси определенных компонентов (окислов магния, алюминия и кобальта) при температурах ниже температуры плавления шпинели (2130 °С), в результате чего образовался так называемый «спеченный» поликристаллический материал. Таким образом, правильнее было бы говорить о **синтетической спеченной шпинели**. Ее появление на рынке вызвало сенсацию, однако сейчас она почти забыта. Создатель этого материала — доктор Джегер. Продажу камней осуществляла фирма «Дегусса» (Франкфурт-на-Майне).

Образцы этой имитации лазурита довольно дороги: они продаются в виде небольших плоских овальных или прямоугольных вставок и главным образом печаток, для которых очень хорошо подходят их твердость, блеск и прекрасный цвет. С целью имитации блесков пирита — характерной особенности природного лазурита — в спеченную шпинель вводят небольшие крупинки золота.

Эту имитацию нетрудно распознать, поскольку ее структура и все остальные свойства сильно отличаются от структуры и свойств настоящего лазурита. С помощью лупы можно обнаружить зернистую структуру поверхности, под фильтром Челси камни выглядят ярко-красными (настоящий лазурит под фильтром имеет тусклый коричневато-красный цвет). Рефрактометр не дает четких показаний, однако границу затенения еще можно видеть вблизи значения 1,725 (лазурит в тех же условиях дает нечеткие показания вблизи значения 1,50). Твердость спеченной шпинели около 8 по Моосу, плотность 3,52. В отраженном свете она дает интенсивный спектр поглощения кобальта: линии при 6500 Å (сильная) в красной области, при 5800 Å (слабая) в желтой области, при 5320 Å (сильная) в зеленой области и при 4800 и 4520 Å в синей области.

Материал слабо просвечивает своеобразным красновато-пурпурным цветом, когда луч яркого света проходит через его тонкий слой.

Другие имитации лазурита еще менее похожи на настоящий камень. Одна из таких подделок — синее авантюриновое стекло с блестками прямоугольных кристаллов меди. Еще одной имитацией хорошего лазурита является измельченный чилийский лазурит, связанный пластмассой и для придания имитации большей схожести содержащий сверкающие блестки частиц настоящего пирита. С помощью лупы можно убедиться, однако, что частицы пирита кристаллизовались *не в том* месте, где они находятся. По-

дозрительный образец может выдать себя запахом пластмассы при прикосновении к нему горячей иглой.

Наиболее удачная попытка получить действительно синтетический лазурит была предпринята Пьером Жильсоном, о чем уже было сказано в гл. 7. «Синтетический» лазурит Жильсона имеет приятный цвет и может содержать обломки пирита, усиливающие эффект «натуральности» камня. Но и он отличается от настоящего лазурита большей пористостью, низкой плотностью и способностью взаимодействовать с разбавленной соляной кислотой, о чем можно судить по появлению сильного запаха сероводорода.

Следует упомянуть два других синих непрозрачных минерала, которые иногда используются в ювелирном деле. Один из них — **содалит** относится к той же группе минералов, что и синий материал лазурита, довольно похож на него по внешнему виду, хотя цвет содалита более синий, но менее глубокий, чем цвет высоко-сортного лазурита. Твердость содалита, как и лазурита, 6, но по плотности он заметно уступает лазуриту (в среднем 2,30). Показатель преломления содалита (1,48) также ниже, чем лазурита, но четкие показания и в этом случае получить трудно.

Другой минерал — **лазулит**; о нем уже упоминалось при описании бирюзы, на которую он довольно сильно похож по внешнему виду. Сходство названий «лазурит» и «лазулит» заставляет сделать некоторые замечания. Термин «лазурит» часто используется минералогами для обозначения ляпис-лазури, или синего компонента лазурита, тогда как минерал «лазулит» по составу совершенно отличен от лазурита. Чтобы избежать путаницы в названиях, стоит запомнить, что название минерала с окончанием на -рит (лазурит) является в данном случае «правильным».

КОШАЧИЙ ГЛАЗ,  
ЗВЕЗДЧАТЫЕ И ПРОЧИЕ КАМНИ

Рассмотрим камни, красота которых создается специфически-ми оптическими эффектами. Минералы, содержащие тонкие, расположенные параллельно друг другу кристаллические волокна или иглы, а также каналы, в которых когда-то находились такие образования, при обработке в виде *кабошонов* дают полосу света под прямым углом к направлению включений. Это обусловлено отражением света от поверхности тонких кристаллов; в результате возникает так называемый эффект «кошачьего глаза». Общее название этого явления — переливчатость. Чем многочисленнее и тоньше включения, тем четче отраженный луч. Эффект *кошачьего глаза* наиболее часто наблюдается у *хризоберилла* и *кварца*, причем у хризоберилла он получается со значительно более четким и слегка ирризирующим лучом. Хризоберилл к тому же лучше полируется. Когда эффект присущ просвечиваемому медово-желтому или зеленовато-коричневому камню, то сделанные из него кабошоны оказываются необыкновенно красивыми и стоят очень дорого. Эффект кошачьего глаза лучше всего проявляется при освещении камня одним источником света или прямыми лучами солнца. Несколько источников света или рассеянное освещение снижают эффект.

Природный *кварцевый кошачий глаз* имеет бледно-розовый или желтовато-коричневый цвет. В этом случае эффект вызывают не тонкие каналы, как у хризоберилла, а волокна асбеста, часто слишком грубые, вследствие чего эффект получается не очень хороший. Лучшие образцы кварцевого кошачьего глаза по внешнему виду очень трудно отличить от более дорогого хризоберилла; в то же время существует много хризобериллов с эффектом кошачьего глаза, внешний вид которых совершенно нетипичен для этого камня. Если камни не закреплены в оправе, их можно быстро и точно определить, опустив в бромформ или иодистый метилен: кварц будет плавать, а хризоберилл начнет быстро тонуть. В случае закрепленных камней идут по пути определения показателя преломления методом дистанционного наблюдения: показатель преломления кварца оказывается вблизи деления 1,55, а хризоберилла — 1,75. Если через камень можно пропустить яркий пучок света, то появление линии при 4450 Å в сине-фиолетовой части спектра служит доказательством хризоберилловой природы камня. Хорошим признаком хризоберилла является более сильный, чем у кварца, блеск и традиция сохранять нижнюю часть кабошона

необработанной (для увеличения веса камня), тогда как у кварцевого кошачьего глаза основание обычно делают полированным. Эффект шелковистости нередко наблюдается у турмалина, берилла и хромдиопсида. Хромдиопсиду свойствен густой и «глухой» зеленый цвет и плотность, всегда равная примерно 3,30. Может встречаться кошачий глаз из зеленого или коричневого энстатита, очень похожего по внешнему виду и свойствам на диопсид, но с более сильной и четкой линией при 5060 Å в спектре поглощения. Совершенный эффект кошачьего глаза наблюдается у бирманских бледно-розовых, темно-синих и фиолетовых **скаполитов**. Плотность таких камней около 2,61, показатель преломления 1,54—1,55. Камни эти весьма редки. Известен также **апатитовый кошачий глаз**. Обычно он зеленоватый и просвечивает. Его плотность около 3,20. Спектроскоп дает отчетливый спектр поглощения дидима с тонкими линиями в желтой и зеленой областях.

В 1936 г. автор и его коллега К. Дж. Пейн впервые обнаружили в самоцветной гальке с острова Шри Ланка коричневато-зеленый корнерупин. С тех пор образцы корнерупина, зачастую еще более красивые, находят в Бирме, Танзании и Кении. Тем не менее этот минерал всегда считался скорее коллекционным, чем ювелирным камнем. Однако недавно в Шри Ланке появился в продаже в значительных количествах **корнерупиновый кошачий глаз** с четко выраженным эффектом. По имеющимся сведениям этот камень добывается в аллювии района Матары. Камни большей частью имеют небольшие размеры (менее 1 карата) и темно-зеленый цвет. Как и другие корнерупины, они обладают сильным плеохроизмом и имеют плотность около 3,33, совпадающую с плотностью иодистого метилена. Согласно сообщению профессора П. Зваана, эффект шелковистости обусловлен включениями взаимопараллельных игл рутила. Иногда наблюдаются включения графита.

Недавно на ювелирном рынке появилась еще одна разновидность кошачьего глаза. Она состоит из волокон зеленого амфиболола, сходного по составу с нефритом. Материал найден на Тайване. Этот камень лучше всего назвать **тремолитовым кошачьим глазом**, оставив термин «нефрит» для обозначения материала, имеющего спутанно-волоконистое строение. Особенностью кошачьего глаза является строго параллельная ориентировка отдельных волокон, благодаря чему и возникает этот замечательный эффект. Образцы тремолита имеют среднюю плотность 3,01 и показатель преломления от 1,615 до 1,631.

Замечательный золотисто-коричневый шелковистый камень — **кварцевый тигровый глаз**, или **крокидолит**, был когда-то синим минералом из группы амфиболов, но затем его тонкие волокнистые кристаллы были замещены окислом кремния, а остаточное железо окислилось, что привело к появлению наблюдающейся сейчас красивой окраски. Крокидолитом, строго говоря, следует называть

первичный неизменный асбестовый минерал. Своеобразный внешний вид тигрового глаза с его золотисто-коричневой полосчатой текстурой позволяет легко определять его визуально; по свойствам же он является представителем группы кварца. Аналогичный материал, который еще сохранил свой первоначальный синий цвет, найден в Австрии близ города Зальцбурга. В дешевых ювелирных украшениях иногда встречаются серые и светлые камни, искусственно окрашенные в различные, но не характерные для

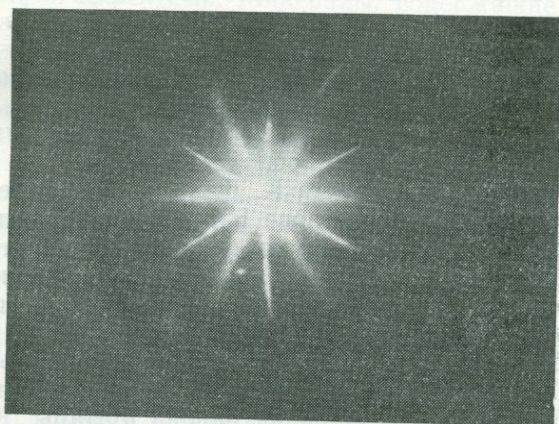


РИС. 24.1. Звездчатый сапфир с двенадцатилучевой звездой.

природных камней цвета. Такие камни известны под довольно туманным названием **венгерский кошачий глаз**. Обычно они представляют собой вытянутые высокие кабошоны с крутыми боковыми сторонами и плоским основанием. Они дают четкий и ясный луч, но непрозрачны и не обладают той глубиной и живой игрой серебристого луча, которые делают хороший хризоберилловый кошачий глаз непревзойденным среди таких камней.

Несколько слов необходимо сказать также о **раковине**, или **китайском кошачьем глазе**, хотя этот материал не является минералом и лишен шелковистости. Это крышечка — известковая пластинка, служащая для закрывания устья раковины гастроподы. Для ювелирных целей наиболее часто используется раковина *Turbo petholatus*, встречающегося в морях севернее Австралии до берегов Индокитая. В природном виде материал идет на броши, браслеты и т. п. Верхняя поверхность крышечки имеет выпуклую форму и фарфоровый блеск и окрашена в коричневые, желтые и зеленые тона; основание плоское, матовое, с заметными спиральными линиями роста. Удельный вес 2,70 или несколько выше, твердость около 3,5 по шкале Мооса.

Астеризм, или звездчатый эффект, в сущности, подобен шелковистости. Различие заключается лишь в том, что в этом случае вместо одного выходящего изнутри камня луча наблюдаются два, три или даже шесть лучей, которые, пересекаясь, дают четырех-, шести- или двенадцатилучевую звезду.

Под микроскопом при соответствующем освещении можно увидеть включения, ориентированные параллельно основным направлениям симметрии исходного кристалла.

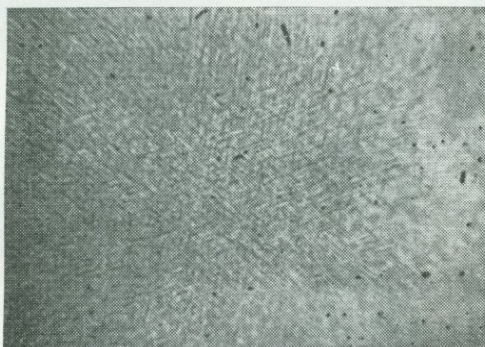


РИС. 24.2. «Шелк» в синтетическом звездчатом сапфире.

Наиболее замечательные звездчатые камни входят в группу корунда: это **рубин** и **сапфир**. Их звезда обычно имеет шесть лучей, пересекающихся под углом  $60^\circ$ . Наиболее четкая звезда встречается, как правило, в просвечивающих сапфирах серовато-голубого цвета. Красивые звездчатые рубины и сапфиры встречаются чрезвычайно редко. Звезда лучше всего видна в прямом солнечном свете или при свете одной лампы, хуже всего при рассеянном дневном свете. Очень редко попадаются сапфиры с двенадцатилучевой звездой, состоящей из чередующихся четких и размытых лучей. Один из таких камней весом 7,28 карата глубокого пурпурного цвета находится в коллекции автора. Фотография этого образца, увеличенного в 5 раз и снятого в отраженном свете угольной дуги, показана на рис. 24.1. Ранее считали, что астеризм присущ только природному корунду. Появление **синтетических звездчатых рубинов и сапфиров**, описанных в гл. 7, заставило изменить это представление. В связи с этим необходимо критически осматривать каждый звездчатый камень, чтобы убедиться в наличии у него зональной структуры, характерной лишь для природных звездчатых корундов, а не пузырей или изогнутых окрашенных полос — признака верхнейлевской синтетики (см., например, рис. 24.2 и 24.3). Некоторые синтетические звездчатые сапфиры выглядят явно искусственными: они почти непрозрачны, а

их звезда, неестественно яркая и очень четкая, выглядит как бы нарисованной. Однако встречаются камни, похожие на природные; они требуют очень тщательной проверки в иодистом метиле для установления их происхождения. Почти всегда верным признаком синтетики служит шлифованное основание. Астеризмом могут также обладать **розовый кварц** (шесть лучей) и **альмандин** (группы слабых четырех- и шестилучевых звезд). Хитроумная форма дублета, позволяющая значительно усилить яркость звезд

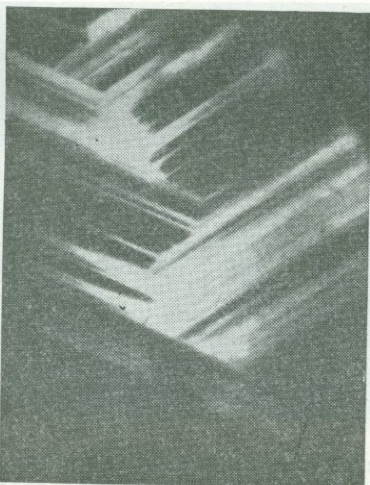


РИС. 24.3. Зонарные полосы «шелка» в природном звездчатом сапфире.

ды в розовом кварце, уже была описана в гл. 19. Несколько лет назад был найден **звездчатый диопсид**, который сейчас широко применяется в качестве ювелирного материала. Он представляет собой непрозрачный черный камень с очень яркой четырехлучевой звездой. Его удельный вес 3,35, что несколько выше, чем у обычного диопсида. Показатели преломления лежат в пределах 1,674—1,700, хотя обычно определить их можно лишь приблизительно методом дистанционного наблюдения, поскольку камни имеют форму **кабошона**. Их, однако, легко узнать визуально по углу в  $75^\circ$  между пересекающимися лучами и с помощью лупы по характерным игольчатым включениям, иногда тонким, иногда более грубым. Включения представлены магнетитом, поэтому камни притягиваются сильным магнитом.

На рынке звездчатых камней иногда появляются материалы, ничего общего с ними не имеющие. Примером может служить кабошон из синего **стекла**, на основании которого нацарапаны тонкие параллельные линии, пересекающиеся под углом  $60^\circ$ . Такой

кабошон приклеивают к металлическому зеркалу (как дублеты из розового кварца), и тогда он дает весьма эффектную звезду (рис. 24.4). Подобные стекла хороши для украшения театрального реквизита, но они могут ввести в заблуждение доверчивого покупателя.

Прекрасное своеобразное сияние полевого шпата, известного как лунный камень, также обусловлено внутренней структурой; он

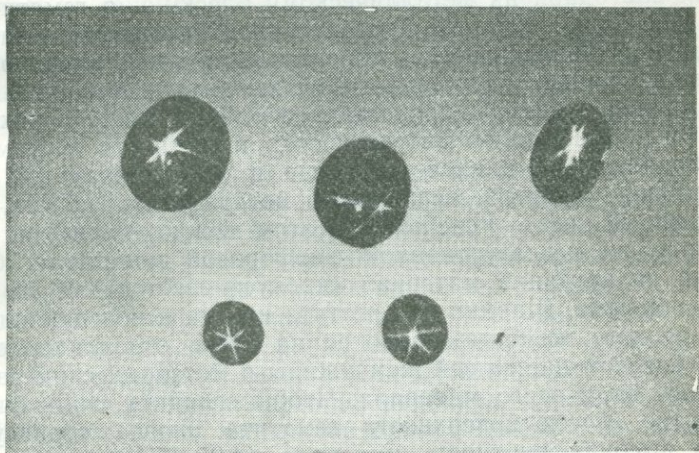


РИС. 24.4. Верхний ряд (слева направо): два звездчатых кварцевых дублета; имитация из стекла со звездчатым эффектом от системы параллельных царапин. Нижний ряд: два синтетических звездчатых сапфира.

состоит из чрезвычайно тонких слоев двух разновидностей полевого шпата — ортоклаза и альбита. Свет отражается от этих слоев в виде удивительно красивого серебристого сияния, которое в лучших камнях, поступающих из Бирмы, напоминает голубой лунный свет. До сих пор еще не создан материал, хорошо имитирующий этот эффект. Опалесцирующее стекло, молочный кварц или белый халцедон могут обмануть лишь того, кто никогда не видел настоящий лунный камень. Обычный лунный камень имеет плотность 2,57, **черный лунный камень** из Бирмы, обладающий таким же эффектом, но с лучшей игрой цветов, имеет плотность 2,69 и является **лабрадором**. Очень красивая разновидность лабрадора добывается в Финляндии и продается под названием «спектролит». **Солнечный камень**, или **авантюриновый полевой шпат**, — это просвечивающий камень, заполненный блестками. Его плотность 2,64. В ювелирных изделиях встречается редко. О других авантюринах см. стр. 329.

Наиболее эффектной имитацией лунного камня является, пожалуй, молочная разновидность белой синтетической шпинели, ко-

торая недавно появилась на рынке. Обожженный аметист, имеющий молочно-белый цвет, также используется в Идар-Оберштейне в качестве дешевой имитации лунного камня. От природного камня их можно отличить по поведению в разбавленном бромформе.

Несколько слов нужно сказать и о двух непрозрачных камнях, использующихся в настоящее время в дешевых ювелирных украшениях благодаря их металлическому блеску, — о гематите и пирите. Последний нередко продается под названием «марказит», которое в действительности относится к другому, менее распространенному камню, имеющему такой же химический состав. **Гематит** — окисел железа — представляет собой важную железную руду. Он добывается во многих местах, в частности в Камберленде. Обработанный в виде кабошона и отполированный, гематит приобретает черный сверкающий металлический блеск, однако его истинный цвет — красный, и в этом можно убедиться, проведя им черту по неглазурованной фарфоровой пластинке. Общеизвестный полирующий материал «крокус» изготовляют из гематитового порошка. Шарики из гематита иногда используют для имитации черного жемчуга, несмотря на очень отдаленное сходство между блеском настоящей жемчужины и металлическим сверканием поверхности этого минерала. Чтобы сгладить столь очевидное несходство, блеск поверхности гематита иногда «приглушают», однако высокая плотность минерала (4,95—5,16) и упомянутая красная черта полностью выдают его, когда возникает какое-либо сомнение.

В США получена удачная имитация гематита, продаваемая под торговым названием «геметин». Испытанные недавно образцы имели такую же плотность и давали такую же черту, как и настоящий камень, однако сильно притягивались карманным магнитом (по крайней мере те образцы, которые видел автор), что отличает их от природного гематита.

**Пирит** — одна из наиболее распространенных в природе разновидностей дисульфида железа. Несведущие люди из-за бронзового цвета нередко принимают его за самородное золото. Пржилки и включения пирита часто встречаются в каменном угле. В этой главе уже говорилось о том, что включения пирита нередко присутствуют в лазурите. Настоящий **марказит** менее распространен и легче разлагается, чем пирит. Практически весь «марказит», используемый в дешевых украшениях, представляет собой пирит. Плотность пирита почти равна плотности гематита (4,9—5,1). Наиболее «правдоподобной» имитацией пирита являются латунь и нержавеющая сталь, однако низкая стоимость настоящего камня делает нецелесообразным использование имитаций.

Завершая данную главу, приведем краткое описание некоторых непрозрачных и просвечивающих камней, используемых в ювелирном деле.

Внешний вид **малахита** с его своеобразным рисунком из чередующихся темно-зеленых и светло-зеленых полос и узоров знаком большинству людей. Камень представляет собой водный карбонат меди, имеет твердость 4 и плотность около 3,8. **Азурит** — темно-синий карбонат меди, содержит гораздо меньше воды, чем малахит, и иногда чередуется с ним в одном образце. Недавно в США завоевала большую популярность декоративная порода, состоящая в основном из азурита. Она исключительно красива, тверже лазурита или азуромалахита из других месторождений и лучше их обрабатывается. Этот материал добывается в Калифорнии на месторождении Коппер-Уорлд и продается под названием «Ройял джем азурит». Эта форма азурита завоевала большую популярность.

Так как малахит, азурит и их смеси представляют собой карбонаты, они реагируют с разбавленной соляной кислотой с выделением углекислого газа. В месте контакта кислоты с камнем образуется желтоватое пятно. Плотность азурита варьирует, но всегда превышает 3,0, т. е. она заметно выше, чем у лазурита.

**Родохрозит** — просвечивающий розовый карбонат марганца — иногда продается под фирменным названием «росинка» и используется для корпусов часов и т. п. По внешнему виду его трудно отличить от силиката марганца **родонита**, имеющего такой же цвет. Плотность обоих минералов близка (около 3,6), хотя и несколько варьирует. Различают камни по твердости.

Родохрозит часто имеет слоистую структуру, причем слои располагаются параллельно стенкам трещины, в которой минерал образовался; при этом кристаллы растут перпендикулярно слоистости. У родонита кристаллы располагаются беспорядочно; он менее прозрачен и нередко пронизан черными прожилками окислов марганца.

Широко используются разнообразные декоративные **мраморы**; они идут на изготовление корпусов часов, пепельниц, письменных приборов, книжных подставок и т. д. Месторождения сталагмитового мрамора известны в Алжире, Египте, Мексике и Аргентине. Часто мраморы имеют слоистую структуру, что послужило причиной возникновения таких названий, как «мексиканский оникс», «мраморный оникс» и т. п. Следует, однако, заметить, что название «оникс» лучше сохранить за некоторыми типами агата, имеющего гораздо большую твердость, чем указанные материалы, состоящие из карбоната кальция в виде кальцита.

Для обозначения некоторых типов мрамора неправильно используется еще одно название — «алебастр». Этот термин следует применять только для обозначения **гипса** — кристаллического сульфата кальция, содержащего воду. Алебастр, как и мрамор, очень удобен для резьбы; оба минерала просвечивают и окрашены в нежные тона. Алебастр даже мягче, чем мрамор (2 и 4 по шкале Мооса соответственно), и имеет меньший удельный вес (2,3 и 2,7

соответственно). Мрамор дает на рефрактометре достаточно четкое показание — 1,49. Показатель преломления алебастра 1,52<sup>1</sup>.

Большинство из выше рассмотренных минералов являются карбонатами, и стоит запомнить, что все они взаимодействуют с соляной кислотой. Поскольку в месте контакта камня с кислотой остается матовое пятно, более разумно соскабливать с «изнаночной» части образца немного порошка и затем воздействовать на него каплей кислоты. Испытание лучше всего проводить на предметном столике под микроскопом.

**Хризоколл** — гидратированный силикат меди — имеет невысокую твердость. Если она пропитывает кварц, получается материал, похожий на бирюзу, из которого можно делать кабошоны. Такой материал имеет свойства кварца. Хризоколл может входить в состав пестрой породы, окрашенной в синий и зеленые цвета. Ее коммерческое название — «элатский камень» (по месту добычи — городу Элату на берегу Акабского залива). Этот материал имеет плотность 2,8—3,2 и в отличие от азуромалахита, который он напоминает, не реагирует с кислотой, но под ее влиянием желтеет из-за присутствия в породе меди.

Следует отметить, что после детального петрографического исследования элатского камня под микроскопом профессор В. Ф. Эпплер предложил рассматривать его как загрязненную примесями разновидность бирюзы.

<sup>1</sup> Очень красивая волокнистая разновидность гипса, окрашенная окислами железа в розовато-золотистый цвет, известна под названием «селенит». Она издавна добывается на Урале близ Кунгура и используется для изготовления мелких поделок. — *Прим. ред.*

ЯНТАРЬ, ЧЕРЕПАХОВЫЙ ПАНЦИРЬ,  
КОРАЛЛ, ГАГАТ И СЛОНОВАЯ КОСТЬ

**Янтарь** отличается от всех других драгоценных камней своим растительным происхождением. Он представляет собой ископаемую смолу хвойных деревьев, которая вытекла из них около 40 млн. лет назад. Она нередко содержит увязших в ней эоценовых насекомых. Различают несколько типов янтаря, хотя их свойства практически одинаковы. Наиболее важным является балтийский янтарь или сукцинит. Этот янтарь окрашен в различные оттенки желтого цвета — от беловатого до коричнево-желтого. Он может быть прозрачным, замутненным или почти непрозрачным, когда содержит многочисленные мелкие пузырьки воздуха. Сицилийский (симетит) и румынский (румынит) янтари редко окрашены в желтый цвет; чаще они бурые, красноватые и даже черные. Румынский янтарь нередко сильно трещиноват, но тем не менее хорошо полируется. Бирманский янтарь (бирмит), как правило, имеет коричневый цвет. Он содержит много насекомых, а иногда и прожилки кальцита. Эти разновидности янтаря характеризуются несколько иным составом, но в целом все янтари представляют собой в основном углеводороды. Сукцинит, как следует из названия, содержит янтарной кислоты больше, чем другие янтари, и при нагревании издает характерный запах. Геданит представляет собой янтароподобную ископаемую смолу и встречается вместе с сукцинитом. Он не содержит янтарной кислоты и так мягок, что царапается ногтем.

Твердость четырех основных разновидностей янтаря находится в пределах от 2,5 до 3 по шкале Мооса, причем наиболее твердым является бирманский янтарь. Удельный вес янтарей равен 1,04—1,10. Присутствие многочисленных пузырьков воздуха в замутненных янтарях приводит к уменьшению их удельного веса по сравнению с прозрачными образцами. Как аморфное вещество янтарь имеет только один показатель преломления, который в среднем равен 1,54. Размягчается янтарь при 180 °С, плавится в интервале температур 250—300 °С и горит с характерным запахом. Общеизвестна легкость, с которой янтарь электризуется, если потереть его о шерсть. Наэлектризованный янтарь притягивает кусочки бумаги и другие легкие предметы. Некоторые имитации янтаря ведут себя в этом отношении точно так же, поэтому при диагностике на этот признак не следует полагаться. Если же образец при трении не электризуется (как в случае казенновых пластмасс,

описанных ниже), то материал безусловно не может быть янтарем.

Из имитаций янтаря прежде всего следует сказать о **прессованном янтаре**, или **амброиде**, как его часто называют. Начиная с 1881 г. этот материал производится в большом количестве из мелких обломков балтийского янтаря. Эти кусочки размягчаются нагреванием до 200—250 °С и затем прессуются в виде сплошной однородной массы, которая имеет почти такие же свойства и внешний вид, как и природный янтарь. Лучшим способом распознавания прессованного янтаря является его исследование с помощью лупы или даже невооруженным глазом. В прессованном янтаре заметны структуры течения — глобулы прозрачного янтаря среди замутненной массы, следующие по определенным линиям. Кроме того, могут встречаться включения удлинённых пузырей, вытянутых в одном направлении, тогда как в природном янтаре пузыри всегда сферические. Следует отметить, что некоторые образцы прессованного янтаря, недавно исследованные автором, были совершенно прозрачны, однако характеризовались наличием потоков и свилей. Материал не содержал пузырьков или признаков структуры течения. Его плотность была несколько ниже (1,06), чем у природного янтаря (куски плавали в соответствующем растворе соли), и между скрещенными поляроидами наблюдалось постоянное пропускание света в отличие от типичных для необработанного янтаря балок погасания, пересекающих камень при его вращении. Наиболее удивительная особенность этого современного прессованного материала — яркая *молочно-голубая люминесценция* при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом; при этом становится заметной зернистая структура материала.

Более молодые природные смолы **копал** или **каури**, которые широко используются в Новой Зеландии, очень близки к янтарию по своим свойствам и внешнему виду. Их можно отличить по большей легкоплавкости, приложив к образцу нагретую иглу (чтобы различие было более заметным, необходимо такую же процедуру проделать одновременно и с янтарем), а также по их большей растворимости в эфире. От капли эфира копал становится липким, и на нем остается матовое пятно, когда эфир испаряется. Ни природный, ни прессованные янтари на эфир не реагируют. В отношении прессованного янтаря существует противоположное мнение, но оно не соответствует действительности.

Копал почти всегда можно отличить от янтаря по его склонности к образованию трещин на поверхности. Кроме того, он значительно мягче янтаря, и это чувствуется, когда на него надавливают лезвием ножа. Включения насекомых не всегда свидетельствуют о том, что перед ними настоящий янтарь. Они могут встречаться и в копале (рис. 25.1). Насекомые, залитые в пластмассы, обычно слишком «совершенны», чтобы их можно было принять за реальные. К тому же в их позах не видно признаков борьбы за

свою жизнь, поскольку они уже были мертвы, когда попали в вязкое вещество.

С успехом и часто имитируют янтарь различные искусственные смолы, которые обычно объединяются общим названием «пластмассы». Старейшая из них, нитрат целлюлозы, известная как **целлулоид**, в настоящее время применяется редко из-за ее легкой воспламеняемости. Шире используется безопасный целлулоид (ацетат целлюлозы), известный под названиями **целлон** и **родоид**. При-

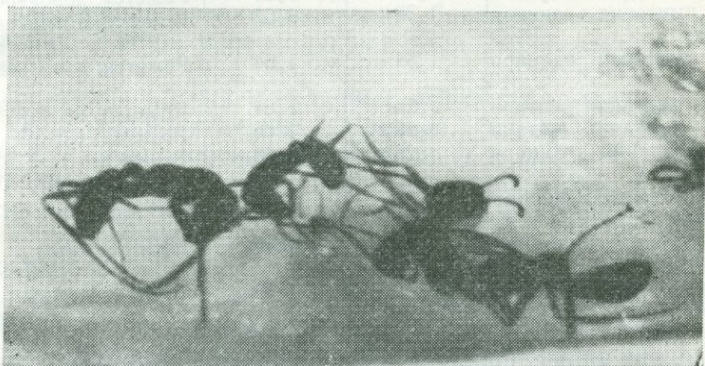


РИС. 25.1. Муравьи в копаловой смоле (фото Е. Бурбажа).

годны для имитации янтаря также казеиновые пластмассы типа **галалита**, **эриноида** и др., однако наибольшее распространение получили продукты фенол-формальдегидной конденсации — **бакелит** и **каталин**. В табл. 25.1 представлены определенные автором типичные значения удельного веса и показателей преломления искусственных материалов — имитаций янтаря и черепахового панциря, а также соответствующие физические константы природных янтарей, копала и настоящего черепахового панциря (более подробно мы его опишем позднее).

Следует отметить, что удельный вес всех этих пластмасс значительно превышает удельный вес янтаря, и это дает возможность надежно различать эти материалы. Разумеется, разбавив одну из обычных тяжелых жидкостей, например бромформ или толуол, можно получить жидкость с удельным весом 1,12, пригодную для отличия янтаря от указанных выше имитаций, однако в этом нет никакой необходимости, поскольку с равным успехом можно обойтись насыщенным раствором поваренной соли: десять чайных ложек соли на стакан воды. В таком растворе все образцы природного и плавленого янтаря будут плавать, тогда как все обычные пластмассовые имитации будут тонуть.

В табл. 25.1 не вошли два типа пластмасс, поскольку до сих пор они еще не применялись для имитации янтаря, однако упо-

Таблица 25.1

## ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ЯНТАРЯ, ЧЕРЕПАХОВОГО ПАНЦИРЯ И ПЛАСТМАСС

Материал	Удельный вес	Показатель преломления	Поведение под «ножом»
Янтарь	1,08	1,54	Легко крошится
Копал	1,06	1,53	Легко крошится
Панцирь черепахи	1,29	1,55	Режется
Казеин, имитация янтаря	1,33	1,54	Режется, довольно вязкий
Казеин, имитация панциря черепахи	1,32	1,53	Режется, довольно вязкий
Казеин, имитация панциря черепахи	1,34	1,54	Режется, довольно вязкий
Бакелит, имитация янтаря	1,28	1,64	Режется, вязкий
Бакелит, имитация янтаря	1,26	1,66	Режется, вязкий
Целлон, имитация панциря черепахи	1,26	1,48	Режется
Родоид, имитация панциря черепахи	1,28	1,49	Режется
Целлулоид, имитация панциря черепахи	1,38	1,49	Легко режется
Целлулоид, имитация панциря черепахи	1,42	1,50	Легко режется

мнать о них стоит. Одна из них — удивительно прозрачный перпекс, или диакон, — полимеризованный акриловый эфир имеет плотность 1,18 и показатель преломления 1,50. Из диакона отливаются большинство изделий из современной «слоновой кости» и цветные телефонные аппараты. Другая пластмасса — полистирол производится в Англии под названием «дистрен». Она имеет плотность 1,05 и довольно высокий показатель преломления (около 1,58). Дистрен, разумеется, будет плавать в растворе соли, как янтарь и копал, но то обстоятельство, что он режется ножом с образованием стружки, размягчается при значительно более низкой температуре (70—90 °С) и легко растворяется в бензоле, позволяет отличить его от янтаря, если он когда-нибудь будет использован для имитации последнего.

Определение плотности материала в бусах часто можно провести, не рассыпая их, если вес нитки незначителен. Взвесив бусы на воздухе и в воде, можно сравнительно легко выявить пластмассу по ее значительно более высокой плотности. Известны и другие методы. К сожалению, их применение связано с некоторым повреждением образца, которое, однако, можно сделать практически незаметным, если испытание выполнять аккуратно и в таких местах, которые обычно скрыты от глаз, например на краю отверстия бусин. Один из таких методов — определение поведения материала «под ножом». Он заключается в следующем: острым лезвием перочинного ножа аккуратно делают срез с исследуемого материала. При этом настоящий и прессованный янтарь, а также копал крошатся или расщепляются, тогда как пластмасса сходит

стружкой. Бакелит чрезвычайно вязок и режется с трудом, целлулоид, родоид и перпекс режутся значительно легче, а эриноид по вязкости занимает промежуточное положение. Прежде чем выполнять это испытание на ценных образцах, рекомендуется потренироваться на кусках низкосортного янтаря и любых доступных пластмассах. Полученную стружку или крошку можно затем испытать в пламени спиртовки на лезвии ножа. Янтарь, прессованный янтарь и копал будут гореть с выделением ароматического дыма. Целлулоид сгорит мгновенно, бакелит и эриноид (последний пахнет подгоревшим молоком) лишь обугливаются в этих условиях.

Встречаются иногда стеклянные имитации янтаря, которые на расстоянии выглядят весьма эффектно. Однако холод, исходящий от них при прикосновении, твердость и высокая плотность, не свойственные янтарю, позволяют сразу же узнать подделку.

Хотя панцирь черепахи лишь с известной натяжкой можно отнести к драгоценным материалам, несколько слов о нем сказать необходимо, поскольку его имитации из пластмасс распространены сейчас очень широко. Свойства казеиновых пластмасс и ацетатной целлюлозы, с одной стороны, и свойства панциря черепахи, с другой — очень близки. Однако под микроскопом можно видеть, что темные пятна на панцире черепахи состоят из массы сферических красноватых частиц, тогда как имитирующие их темные пятна в пластмассах не имеют такой структуры и их края очерчены более резко. При нагревании кусочки панциря сплавляются в черную массу и появляется запах паленых волос, тогда как казеиновые пластмассы при этом обугливаются и пахнут горелым молоком.

Коралл, как и жемчуг, является продуктом моря. Он состоит из известковых скелетов множества мельчайших полипов, которые живут обширными колониями в теплых морях на умеренных глубинах. Существует много видов кораллов, но лишь так называемый благородный, или драгоценный, коралл широко применяется для украшений. Он состоит в основном из карбоната кальция в форме кальцитовых волокон, расходящихся по радиусу от центра коралловых ветвей. Плотность коралла около 2,68, твердость чуть ниже 4 по шкале Мооса. Наиболее популярны кораллы красного и розового цвета, причем для достижения желаемого цвета иногда применяется подкрашивание. Имитации коралла выполняются из подходящего по цвету галалита, однако их легко отличить от настоящего коралла различными методами. Плотность коралла значительно выше, а при действии небольшой капли кислоты он сильно «шипит». Для коралла характерна особая зернистая структура, которая позволяет отличить его от розового жемчуга, который значительно дороже его. Розовый жемчуг имеет большую, чем коралл, плотность (2,84) по той причине, что основным его компонентом является минерал арагонит, а не кальцит.

В период написания этой книги П. Жильсон получил материал для имитации коралла. Его основой стал чистый измельченный кальцит. Несмотря на сходство с кораллом по внешнему виду и свойствам, к нему едва ли можно применить определение «синтетический», поскольку коралл является продуктом жизнедеятельности живых организмов.

**Гагат**, как и каменный уголь, представляет собой форму ископаемой древесины. Его твердость 3,5, удельный вес 1,30. Раньше гагат был очень популярен как материал для траурных украшений, теперь он потерял свое значение. От имитаций из эбонита гагат можно отличить по отсутствию острых углов у изделия, поскольку эбонит отливается, а не гранится, как гагат. От черного стекла и черного оникса гагат отличают по его меньшей твердости, меньшему удельному весу и ощущению тепла, которое возникает при прикосновении к этому камню. Приложив нагретую иглу к гагату, вы ощутите запах горящего угля, эбонит же запахнет горелой резиной.

**Слоновая кость** — популярный материал для изготовления небольших резных изделий и предметов искусства. Применяется она и для изготовления бус и других недорогих украшений. Свежеобработанная слоновая кость имеет кремово-белый цвет, но со временем она желтеет, чему могут служить примером клавиши старинных роялей. На слоновой кости можно выполнять тонкую резьбу, и она прекрасно принимает полировку. Слоновая кость по качеству может быть очень разнообразной: кость высшего класса имеет тонкую текстуру и блеск, в полированном виде она кажется «живой» и мокрой; более низкокачественный материал тусклый и похож на обычную кость. Студент, однажды сказавший, что кость — это «зубы животных всех видов», был не очень далек от истины. Если в этой фразе слово «зубы» заменить словом «дентин», то определение было бы правильным в полном смысле. Каждый знает, что основным источником слоновой кости служат бивни слона, главным образом африканского. Однако зубы других крупных млекопитающих — моржа, нарвала и кашалота — также представляют собой разновидности кости, хотя обычно их относят к другой категории материалов и называют «морской» костью.

В природе существует ископаемая кость, образовавшаяся из бивней мамонта, вымершего в ледниковый период. Останки мамонтов в больших количествах находят в Сибири и в других местах. Кость мамонта за прошедшие тысячелетия не претерпела каких-либо существенных изменений ни в составе, ни в свойствах. Более того, она почти не отличается от современной слоновой кости. Зубы гиппопотама (которые также классифицируются как «слоновая кость») плотнее и имеют более тонкую текстуру, чем бивни слона.

В состав слоновой кости как основной ее компонент входит

гидроксилфосфат кальция в сочетании с органическим веществом. Ее твердость 2,5, показатель преломления 1,535 (четкое показание на рефрактометре получить трудно). Плотность слоновой кости обычно не выходит за пределы 1,71—1,78, тогда как плотность «морской» кости и особенно кости гиппопотама заметно выше (1,80—1,95). При облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом все виды кости (в том числе и зубы человека) люминесци-

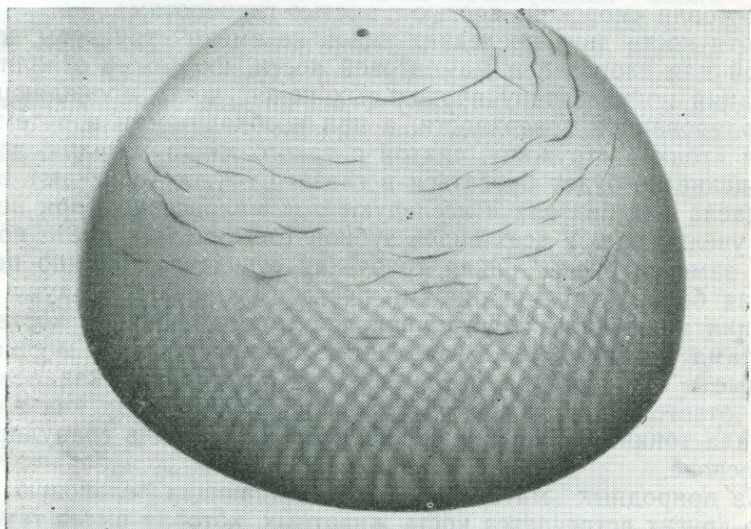


РИС. 25.2. Уникальная структура слоновой кости (из книги Кавенаго-Биньями «Геммология», изданной Хопли).

руют беловатым или фиолетово-голубым светом, причем наибольшая люминесценция характерна для кости гиппопотама и моржа.

Резные изделия из слоновой кости почти всегда можно узнать при внимательном осмотре с помощью лупы или невооруженным глазом по пересекающимся изогнутым линиям, видимым на поперечном срезе бивня. Такие линии (иногда называемые линиями Рециуса) напоминают рисунок, наносимый методом механической гравировки на заднюю крышку карманных часов. Однако это всего лишь наглядное сравнение, поскольку линии кости имеют органическое, а не механическое происхождение. Они несколько различаются по цвету и по тому, насколько они просвечивают, и являются очень характерной особенностью кости. В отдельных образцах их легко заметить даже невооруженным глазом, тогда как в других и в лупу можно разглядеть лишь с трудом. Они изображены на рис. 25.2. На продольных разрезах кости видны па-

параллельные слои, которые своей неравномерностью отличаются от параллельных линий, часто наблюдаемых в пластмассовых имитациях.

Хотя африканская слоновая кость до сих пор имеет наиболее важное значение в мировой добыче этого материала, в некоторых странах (в частности, в США) ширится движение за сокращение ее импорта в благородной попытке оградить африканского слона от полного уничтожения. Это может привести к увеличению объема торговли «морской» костью и костью гиппопотама.

Хотя кости двух последних видов не имеют структуры, характерной для слоновой и мамонтовой кости, их можно отличить от имитаций по характеру продольных полос, четко проявляющихся на полированной поверхности, а при необходимости и путем изучения «тонкой стружки», снятой с такого места изделия, где повреждение не будет бросаться в глаза. Стружку опускают в каплю масла или бензола и исследуют под микроскопом при небольшом увеличении. У всех видов зубной (дентиновой) кости должна быть заметна очень тонкая трубчатая структура, обычно пересекаемая более грубыми линиями роста. Согласно Г. Брауну (публикация в журнале «Аустралиан джеммологист»), в кости гиппопотама каналы имеют извилистую форму, в кости моржа они прямые и большего диаметра, в кости кашалота у каналов имеются ответвления и линии роста очень грубы, тогда как в кости нарвала тонкие разветвленные каналы находятся в гранулированной основе.

Из природных материалов, напоминающих слоновую кость, чаще других встречается кость животных, которая имеет такой же состав, но совершенно иную структуру. Она пронизана по длине серией гаверсовых каналов. По ним у живого животного текут жидкости, необходимые ему для роста и жизнеобеспечения. На поперечном срезе такой кости под микроскопом виден ряд каналов, имеющих в поперечном сечении неправильно-округлую форму; каждый из каналов окружен многочисленными углублениями. На продольном срезе каналы имеют вид длинных белых трубок, в которых часто скапливается грязь. Плотность этой кости выше, чем слоновой, и равна в среднем 2,0.

Так называемая растительная кость представляет собой семена костяной пальмы, произрастающей в Южной Америке, или африканской дум-пальмы. Семена имеют овальную форму; они слишком малы, поэтому пригодны для изготовления лишь небольших предметов — наперстков, пуговиц и пр. Растительная кость состоит в основном из альбумина и имеет чисто белый цвет. Видимой текстуры у нее нет. Плотность ее намного ниже, чем у настоящей слоновой кости, и равна примерно 1,40<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> В СССР растительной слоновой костью часто называют самшит. — Прим. ред.

Наиболее распространенной имитацией слоновой кости является пластмасса, известная под названием **ксилонит**, или **целлулоид**. Впервые она была получена в Англии в 1865 г. как продукт взаимодействия нитроцеллюлозы с камфорным спиртом. Аналогичное изобретение было сделано в США. Стимулом для этого послужило желание найти дешевый заменитель слоновой кости, традиционно применявшейся для изготовления бильярдных шаров. Целлулоид обычно имеет показатель преломления около 1,50, плотность около 1,40. Последняя, однако, может быть доведена до 1,90 путем введения подходящего наполнителя, обычно окиси цинка, если предполагается использовать этот материал для изготовления бильярдных шаров. В отличие от кости с целлулоида легко снимается ножом стружка, он легко воспламеняется. Если его потереть, то появляется запах камфоры.

## ЖЕМЧУГ: НАСТОЯЩИЙ, КУЛЬТИВИРОВАННЫЙ И ИМИТАЦИИ

Жемчуг занимает и, несомненно, всегда будет занимать особое положение среди драгоценных камней. На протяжении всей своей долгой и славной истории он высоко ценился за серебристый цвет, который не нуждается ни в каком улучшении со стороны мастера. Хотя жемчуг и относится к драгоценным камням, он стоит от них особняком — ведь он рождается в живом теле моллюска.

Структура жемчужины отражает многочисленные последовательные стадии ее роста в жемчужном мешке. В каждом тончайшем слое первоначально образуется тонкая мембранная сетка клеток органического материала, известного как конхиолин. Затем она заполняется мельчайшими кристалликами арагонита примерно так же, как заполняются медом отдельные гексагональные ячейки восковых сотов в улье. Ячейки органического каркаса в настоящем жемчуге настолько малы, что неразличимы даже при большом увеличении. Однако каркас хорошо виден и сохраняет форму жемчужины, когда в кислоте растворяется весь выполнявший его карбонатный материал. Мы описали процесс роста лишь одной жемчужной пленки, а для образования жемчужины требуется формирование многих тысяч таких перекрывающихся друг друга пленок. Насколько тонки эти слои, можно убедиться, рассматривая поверхность жемчужины под микроскопом. При этом хорошо видно, что поверхность подчерчена очень тонкими, извилистыми, но более или менее параллельными линиями, которые в действительности являются границами тонких отложившихся слоев (рис. 26.1). Совместный эффект тонких просвечивающих пластинок и их близко расположенных перекрывающихся краев обуславливает игру жемчуга. Ни у одной, даже самой лучшей имитации жемчуга никогда не наблюдается такой очень характерной для природного жемчуга структуры. Чем плотнее прилегают друг к другу слои, тем сильнее блестит жемчужина.

Кроме микромасштабных задержек роста происходят его сезонные остановки, которые приводят к образованию общеизвестных концентрических слоев, легко заметных невооруженным глазом в любой разрезанной жемчужине. Они могут быть видны при осмотре с помощью лупы отверстия просверленных жемчужин (рис. 26.2).

Совершенно иную поверхность имеет **культивируемый жемчуг**. Для природного жемчуга характерны небольшие ядра или полное их отсутствие, тогда как в культивируемых жемчужинах

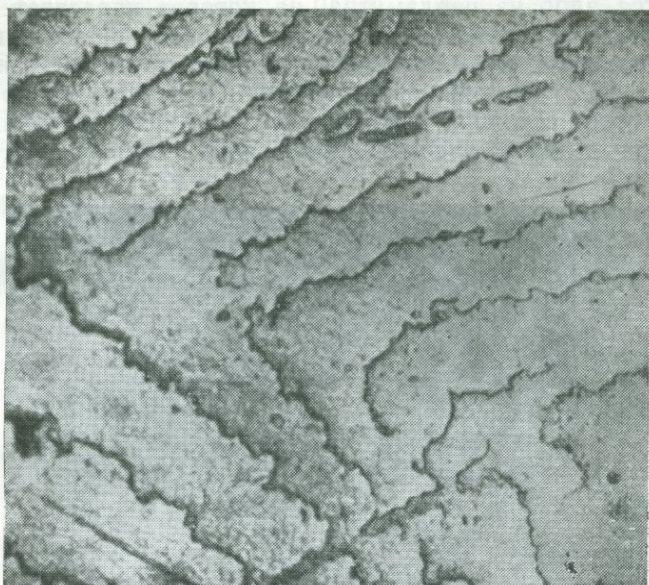


РИС. 26.1. Структура поверхности перламутра (структура жемчуга аналогична) при увеличении около  $100\times$  (фото В. Г. Хинтона).

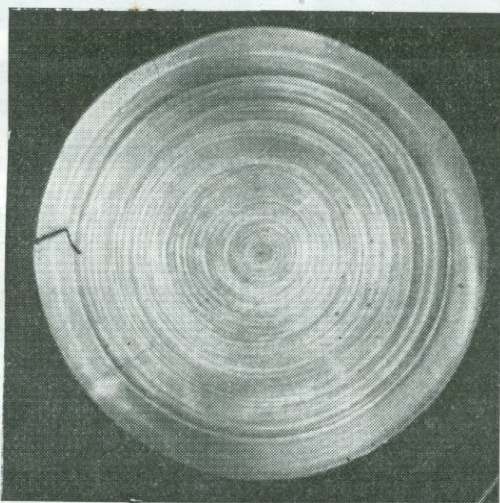
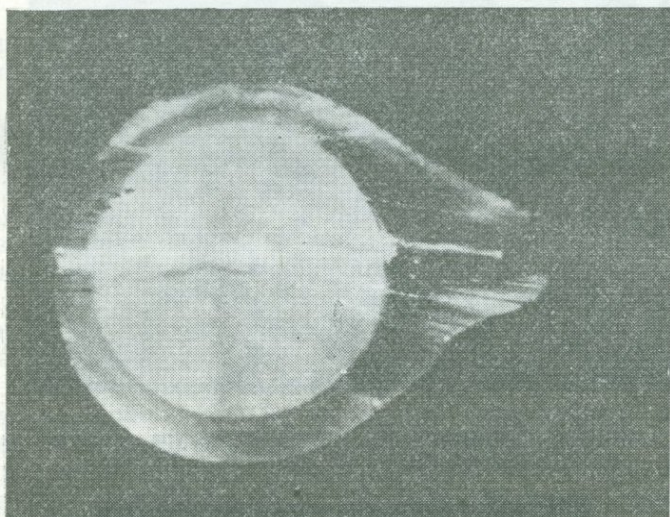


РИС. 26.2. Срез морской жемчужины (видна концентрическая структура).

жах имеется ядро из перламутра, на которое нарастает плоская или слегка изогнутая слоистая структура. Эту разницу в структуре природного и культивированного жемчуга можно видеть на рис. 26.2 и 26.3. По некоторым данным, в качестве ядер применяются мелкие настоящие жемчужины, но во всех образцах, лично исследованных автором, содержались лишь обычные ядра из пер-



**РИС. 26.3.** Перламутровое ядро в каплеобразной культивированной жемчужине (в разрезе).

ламутра. Сообщалось о случаях использования в качестве ядер шариков из стекла и даже стеатита.

Толщина жемчужного покрытия шариков в культивированном жемчуге колеблется в широких пределах. Более дешевые разновидности часто просто покрыты тонкой пленкой, сквозь которую видны предательское сияние перламутрового шарика-подложки и полосы его структуры, если рассматривать жемчужину, помещенную перед ярким источником света. Обычная толщина покрытия составляет 0,5 мм. В лучшем случае покрытие имеет толщину более 2 мм и состоит из трех слоев, но такие жемчужины встречаются очень редко. В противоположность бытующему мнению не всегда наиболее красивы те жемчужины, которые имеют самое толстое покрытие. На рис. 26.3 показана каплевидная жемчужина, разрезанная пополам, так что видно ее внутреннее строение. Заметно, что основой для образования такой формы послужил конхиолин, откладывавшийся с одной стороны ядра.

Люди, постоянно работающие с жемчугом, сразу отличают культивированный жемчуг и по внешнему виду, и даже наощупь,

особенно при одновременном осмотре нескольких жемчужин, например в бусах. Облечь эти незначительные различия в словесную форму не так просто, однако мы попытаемся описать те признаки, которые могут быть использованы новичком.

Культивируванный жемчуг имеет восковой блеск, поскольку наружное покрытие пропускает свет сильнее, чем вещество настоящего жемчуга ориенталь, хотя природный венесуэльский жем-

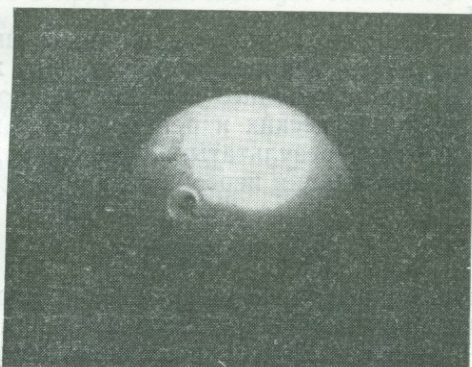


РИС. 26.4. Подповерхностные вздутия культивируванной жемчужины.

чуг также весьма прозрачен. Отверстия в культивируванном жемчуге обычно делают большими по диаметру, чем в природном. Кроме того, вокруг отверстий культивируванных жемчужин нередко видны сколы. При сверлении заметно, что культивируванный жемчуг несколько мягче настоящего.

Осмотр отверстия жемчужины с помощью хорошей лупы при сильном боковом освещении также позволяет различить эти два вида жемчуга. Прежде чем приступить к нему, нужно тщательно очистить отверстие от грязи. Для культивируванного жемчуга характерна резкая граница между ядром и наружным покрытием, причем вдоль границы нередко наблюдается черная полоска конхиолина, образованного моллюском, по-видимому, в знак протеста перед тем, как приступить к отложению жемчужного слоя. Ниже этой границы каких-либо линий роста не наблюдается, тогда как в природном жемчуге таких линий много, причем слои часто становятся все более желтыми или коричневыми по направлению к центру жемчужины. Обнаружив в центре черной жемчужины выделение конхиолина, можно считать его надежным признаком природного происхождения жемчужины.

В том случае, когда происхождение жемчуга в бусах вызывает сомнение, следует раскрыть замок бус и, взявшись большим и указательным пальцами за верхний конец нитки, медленно вра-

щать бусы, рассматривая их под сильным источником света. Если жемчуг культивированный, то при соответствующем угле падения света по крайней мере в некоторых жемчужинах обнаружится предательское отражение от перламутра, как об этом было сказано выше. Кроме того, для культивированного жемчуга характерны темноватые подповерхностные вздутия, похожие на варикозные расширения вен. Одно из них, увеличенное примерно в 8 раз, показано на рис. 26.4. Заметна также четкая граница между оболочкой и ядром.

По-видимому, уже достаточно сказано об обычных методах визуального распознавания природы жемчуга. Что же касается научных методов, то разработанные способы диагностики с использованием различных оптических и рентгеновских методов во всех случаях дают надежные результаты, но требуют дорогой аппаратуры и высокой квалификации персонала.

### ЭНДОСКОП

Для быстрой и надежной идентификации природного и культивированного жемчуга наиболее подходящим прибором является изобретенный Чиловски и Перрином эндоскоп, производство которого первоначально было налажено в Париже в 1926 г. Его усовершенствованная конструкция продавалась торговцами жемчугом Симоном и Р. Блохом. Двадцать пять таких приборов приобрели диагностическая лаборатория Лондонской торговой палаты и ряд крупных фирм по продаже жемчуга, которых было много в Лондоне в то время.

Сейчас эндоскоп применяется лишь в Парижской лаборатории, где с его помощью было проверено несколько миллионов жемчужин. В других учреждениях его не используют, поскольку новые модели и необходимые для прибора иглы уже много лет не производятся, а снижение популярности природного жемчуга снизило потребность в их применении. Основная часть этого остроумного прибора — полая игла достаточно маленького диаметра, чтобы пройти в отверстие жемчужины. В один конец этой иглы вставлен металлический стержень, отполированный с обоих концов до зеркального блеска. К оси иглы эти крошечные зеркала наклонены под углом  $45^\circ$ . Одно из них является как бы концом иглы, тогда как против другого в игле имеется отверстие, через которое может проходить свет. Рис. 26.5 дает более ясное представление о конструкции эндоскопа. Каждая игла для удобства закреплена в прямоугольном держателе, на задней стороне которого имеется круглое отверстие, в которое входит направляющая трубка со скользящей насадкой, обеспечивающей возможность передвижения держателя эндоскопа по этой трубке. Трубка закреплена на шарнире и приводится в движение с помощью рычага. При горизонтальном положении в трубку попадает интенсивный

пучок света от угольной дуги, сконцентрированный системой линз. Свет от дуги проходит вдоль иглы, пока не встречает первое из указанных зеркал, и тогда, отражаясь от него, выходит через небольшое отверстие в игле уже в направлении, перпендикулярном своему первоначальному пути.

Когда жемчужина насажена на иглу и передвигается вдоль нее, свет из иглы проходит внутрь жемчужины. Поистине замечательное открытие было сделано Чиловски и Перрином, которые обнаружили, что в природном жемчуге тонкий луч света движется в основном вокруг главных concentрических слоев роста внутри

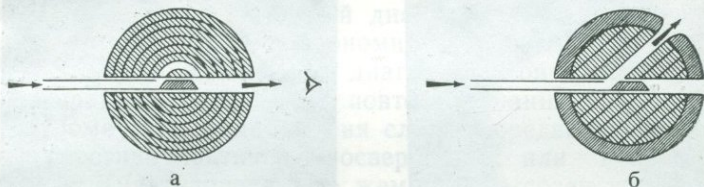


РИС. 26.5. Принцип действия эндоскопа: путь светового луча в природной (а) и культивированной (б) жемчужинах.

жемчужины. Таким образом, когда оба зеркала оказываются на равном расстоянии от центра жемчужины, свет проходит от одного зеркала к другому вдоль ее изогнутых слоев и виден наблюдателю, следящему за концом иглы в поле микроскопа при небольшом увеличении, как короткая вспышка. Рис. 26.5 должен пояснить сказанное.

В предыдущих изданиях этой книги было дано детальное описание эффектов, наблюдаемых с помощью эндоскопа на просверленных образцах природных и культивированных жемчужин. Теперь, коль скоро этот прибор применяется только в Париже, в таком подробном описании, пожалуй, нет необходимости.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕМЧУГА С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

К сожалению, эндоскопы больше не производят, и иглы — основную деталь прибора — достать очень трудно. Поэтому наиболее надежным методом диагностики для большинства просверленных и непросверленных жемчужин является рентгеновский метод. Рентгеновские лучи стали применять с диагностическими целями в начале 20-х годов, вскоре после появления на рынке первых партий культивированного жемчуга, но методика изучения оставляла желать лучшего и на многие годы оказалась необоснованно дискредитированной. Это продолжалось до тех пор, пока

использовалась только прямая радиография. Затем метод был усовершенствован, и основная заслуга в этом принадлежит американскому керамисту и геммологу доктору А. И. Александру. С тех пор рентгеновский метод стал наиболее надежным способом диагностики жемчуга и получил признание в различных учреждениях, выполняющих подобные работы.

Принцип этого метода достаточно прост, но он требует высокой технической подготовленности персонала для получения хоро-

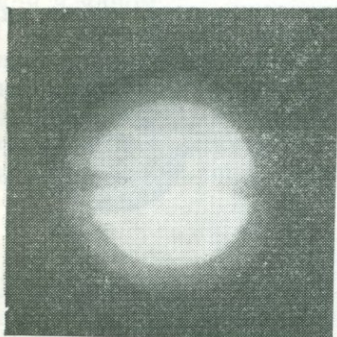


РИС. 26.6. Радиография культивированного жемчуга.

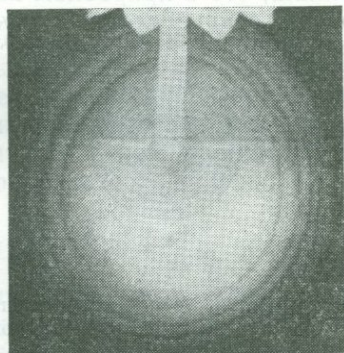


РИС. 26.7. Радиография природного жемчуга.

ших фотографий, а также большой аккуратности и опыта в интерпретации результатов во избежание ошибок. Перламутровый шарик — ядро культивируемой жемчужины — значительно более прозрачен для рентгеновских лучей, чем окружающий его слой жемчуга. Однако моллюск почти всегда перед образованием желательного для человека жемчужного вещества откладывает вокруг ядра тонкий слой конхиолина. Поэтому хорошая радиография ожерелья из культивируемого жемчуга покажет почти во всех случаях четко очерченную черную линию вокруг сферического «зародыша» (рис. 26.6). Говоря о «черной линии», мы, конечно, имеем в виду негативное изображение.

В настоящем жемчуге слои роста, которые либо видны на разрезанной жемчужине, либо наблюдаются с помощью лупы в глубине отверстия, на рентгеновской фотографии не всегда заметны, если она сделана не очень хорошо. Вследствие этого культивируемую жемчужину можно иногда принять за настоящую. Не исключены и такие случаи, когда присутствие колец на рентгеновской фотографии настоящего жемчуга может послужить причиной ложного вывода о наличии ядра. При внимательном изучении таких явно совершенных колец обычно обнаруживается небольшой разрыв по краю в одной точке и следы дополнительных

структур внутри кольца. Это свидетельствует о том, что данное образование не может представлять собой ядро. Более того, если невооруженным глазом смотреть через жемчужину на яркий свет, можно видеть, что такое псевдодро в центре настоящей жемчужины несколько прозрачнее для лучей, чем участки вокруг него, тогда как ядро культивированного жемчуга, наблюдаемое в таких же условиях, кажется менее прозрачным на фоне наружного жемчужного покрытия. Рентгеновская фотография природного жемчуга показана на рис. 26.7.

В лаборатории Лондонской торговой палаты радиография используется в основном как способ подтверждения заключений по ранее выполненной визуальной диагностике ожерелий из культивированного жемчуга; это экономит труд и время, затрачиваемое на срезание бусин с нитки для диагностики оптическими методами, и предотвращает расходы на повторное нанизывание бусин на нитку. Кроме того, радиография служит предварительным этапом при диагностике частично просверленных или непросверленных жемчужин. Культивированные жемчужины сразу же обнаруживают себя, как уже было сказано выше. Выявляются и настоящие жемчужины, особенно если они имеют форму капли или пуговицы. Оператор перед яркой настольной лампой рассматривает мелкозернистые негативы с помощью десятикратной лупы и ищет линии тонкой структуры, которые могут служить безусловным доказательством природного происхождения. Положение и формы таких линий зачастую оказываются не такими, какие можно было ожидать заранее. В каплеобразных жемчужинах, например, часто наблюдаются дугообразные линии, пересекающиеся вблизи их суженного конца; изгиб таких линий повторяет контуры узкого конца жемчужины. Небольшое круглое пятно повышенной прозрачности в центре жемчужины является хорошим показателем того, что жемчуг природный.

Жемчужины, которые при радиографическом исследовании не дали удовлетворительных результатов, подвергаются испытанию методом рентгеновской дифракции (часто называемым методом Лауэ), несмотря на то что он был разработан Максом фон Лауэ в 1912 г. специально для монокристаллов, а не для таких, как жемчуг, агрегатов микроскопических кристаллитов.

Когда узкий рентгеновский луч проходит через кристалл и падает на фотопластинку или пленку, то на проявленном негативе виден ряд слабых пятен, окружающих центральное темное пятно, обусловленное неотклонившимся лучом. Если направление луча совпадает с симметрией осей монокристалла, пятна образуют симметричный рисунок, соответствующий симметрии кристалла в этом направлении. Каждое пятно можно рассматривать как результат дифракции или отражения части лучей одной определенной серией параллельных плоскостей атомов внутри кристалла. Отражение может происходить только под определенными угла-

ми, когда соблюдается закон Брэгга (закон Брэгга — Вульфа. — *Ред.*):  $n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$ , где  $n$  — небольшое целое число,  $d$  — расстояние между рассматриваемыми атомными плоскостями,  $\theta$  — угол с отражающей плоскостью и  $\lambda$  — длина волны применяемых рентгеновских лучей. Если одно пятно образуется от определенных серий параллельных атомных плоскостей и лучи параллельные осям симметрии, то другие точно такие же пятна должны возникать в соответствии с симметрией кристалла. В гексагональном кристалле, например в берилле, поток лучей, проходя вдоль оси шестого порядка, дает лауэграмму, на которой хорошо видна картина симметрии шестого порядка. Луч, подходящий к такому кристаллу под прямым углом, даст картину, демонстрирующую лишь симметрию второго порядка.

Настоящий жемчуг, кроме его общеизвестной концентрической структуры, имеет также радиальную структуру, поскольку мельчайшие кристаллиты арагонита — основного материала жемчужины — расположены перпендикулярно слоям роста. Таким образом, рентгеновский луч, идущий через центр жемчужины, проходит сквозь псевдогексагональные оси тысяч микрочастиц, и на дифракционной фотографии этого луча видна в общем более или менее гексагональная серия пятен. В одних случаях пятна как бы связаны между собой и образуют замкнутый шестиугольник, в других видно широкое кольцо. Интересно, что у жемчуга, имеющего форму пуговицы, и в какой-то степени у каплевидного жемчуга часто наблюдается такое кольцо, когда луч проходит в направлении оси симметрии жемчужины. В то же время на фотографиях, полученных при направлении луча, перпендикулярном оси симметрии, как правило, видна четкая картина пятен.

У культивированного жемчуга эффект, обусловленный внешним слоем, незначителен, если толщина этого слоя не выходит за обычные рамки, и рисунок пятен зависит лишь от ориентировки перламутровых ядер по отношению к рентгеновскому лучу. Если луч проходит перпендикулярно слоистой структуре ядра, это означает, что он проходит вдоль псевдогексагональной оси симметрии кристаллов, которые ориентированы перпендикулярно слоям. По этой причине в данном направлении или под небольшим углом к нему видна такая же гексагональная картина пятен, как и у настоящего жемчуга. В направлениях, параллельных слоям или близких к параллельным, луч пересекает кристаллиты вдоль оси второго порядка, и это отражается на картине пятен: они располагаются в виде мальтийского креста или прямоугольника с четырьмя пятнами вокруг центрального пятна. Это является самым важным и весьма характерным признаком культивированного жемчуга. Фотография, представленная на рис. 26.8, дает более ясное представление о лауэграммах настоящего и культивированного жемчуга и о различиях между ними. Если четыре пятна, характерные для культивированного жемчуга, наблюдаются в первом

же положении жемчужины, то сразу отпадает необходимость в проведении дальнейших испытаний — жемчуг является культивированным. Если же первый результат дает гексагональную или неопределенную картину расположения пятен, жемчужину следует повернуть на  $90^\circ$  и сделать второй снимок. Если же и второй снимок даст гексагональную картину, то можно не сомневаться, что жемчуг является настоящим, поскольку культивированная жемчужина должна показать уличающую картину четырех

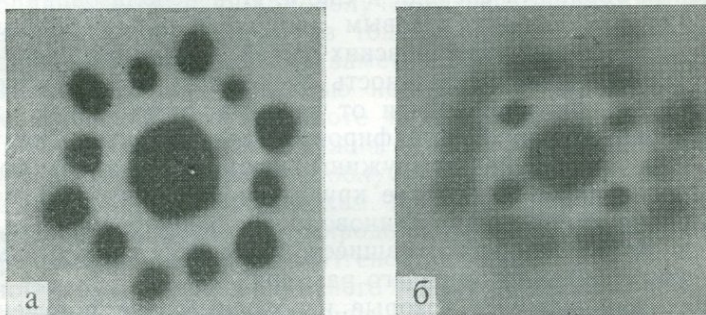


РИС. 26.8. Лауэграммы природного (а) и культивированного (б) жемчуга.

пятен, если ее повернуть на  $90^\circ$  от направления, при котором такая картина не наблюдается.

Конечно, встречаются и трудные случаи, когда наружный слой культивированного жемчуга имеет очень большую толщину или когда ядро из природного или культивированного жемчуга сдвинуто со своего нормального положения и располагается около «центра тяжести» жемчужины. В таких случаях для окончательной проверки может с успехом применяться прямая радиография. Многие зависит от качества снимков и опыта оператора в интерпретации результатов. Следует помнить, например, что для сферических или почти сферических природных жемчужин расположение пятен на лауэграммах должно быть практически одинаковым на снимках, сделанных в двух различных направлениях; это подтверждает, что жемчуг действительно является природным. Необходимо также научиться узнавать своеобразную, похожую на воздушного змея картину пятен лауэграммы культивированного жемчуга, когда луч проходит в промежуточном направлении между обоими характерными положениями.

Многие считают описанный метод неудовлетворительным из-за того, что лауэграммы, которые они видели, имели низкое качество. Это может произойти либо в случае слишком большой диафрагмы, либо в случае слишком малого расстояния между жемчужиной и пленкой, когда наружные пятна лауэграммы сливаются

с большим центральным пятном. Если же пленка располагается далеко от жемчужины или отверстие диафрагмы слишком мало, то продолжительность экспозиции приходится очень сильно увеличивать. В Лондонской диагностической лаборатории автор с сотрудниками установили, что очень хорошие фотографии получаются при расстоянии до объекта 7 см и отверстия в свинцовой пластине диаметром 0,7 мм. Применяется высокочувствительная двухсторонняя рентгеновская пленка в металлической кассете «Кодак» с усиливающими экранами спереди и сзади. При использовании рентгеновской трубки с молибденовым анодом и двумя берилловыми окнами для выхода рентгеновских лучей при напряжении 50 кВ и токе 20 мА продолжительность экспозиции может колебаться от 3 до 6 мин (в зависимости от размера жемчужин), причем одновременно можно фотографировать два объекта. Следует заметить, что маленькие жемчужины дают лауэграммы большего размера по сравнению с более крупными жемчужинами, поскольку последние поглощают длинноволновое излучение (т. е. более «мягкую» радиацию), и оставшиеся более короткие волны дают лауэграмму с пятнами меньшего размера.

Рассмотрим условия, которые необходимы для получения хороших снимков жемчуга при прямой радиографии. Прежде всего, если нужно получить на снимке все детали тонкой структуры, необходимо применять мелкозернистую пленку, которую затем удобно исследовать с помощью десятикратной лупы. Для этих целей отлично подходит пленка «Ильфорд индастриал СХ». Для культивированного жемчуга, особенно если он имеет тонкую оболочку, важно не передержать пленку при экспонировании или при проявлении изображения, поскольку в противном случае тонкие линии — соединения ядра с наружной оболочкой — могут быть потеряны. С другой стороны, для настоящего жемчуга небольшая передержка при съемке может быть даже предпочтительнее, так как позволяет лучше выявить обычно нечеткие детали внутренней структуры. Такие фирмы, как «Ильфорд» и «Кодак», выпускают рентгеновскую пленку для стоматологии в парной упаковке, что очень удобно при диагностике жемчуга, поскольку одну пленку такой пары можно проявлять дольше, чем другую, заменяя таким образом увеличение экспозиции. При подобных испытаниях ни в коем случае не должны применяться усиливающие экраны. Доктор Александер и его последователи нашли, что радиограммы получаются лучше, если жемчужину погрузить наполовину в жидкость, например в четыреххлористый углерод, имеющий почти такую же радиопрозрачность, как и жемчуг. Это снижает образование вуали из-за рассеяния мягких рентгеновских лучей и снижает трудности, связанные с несовершенной сферичностью жемчужин. Возможно, что так оно и есть, но, поработав некоторое время по этой неудобной методике, обнаружили, что совершенно аналогичные результаты получаются при легком вдавливании жемчужин в

тонкий слой пластилина или даже просто при помещении их на завернутую пленку «обнаженными».

Другой метод отличия культивированного жемчуга от настоящего с помощью рентгеновских лучей основан на специфике люминесценции, которую такие лучи возбуждают у различных слоев жемчуга. Шарик, образующий ядро культивированной жемчужины, почти всегда изготавливается из перламутра пресноводной раковины и поэтому содержит примесь марганца, что вызывает зеленую люминесценцию при облучении рентгеновскими лучами. Это свечение, проходящее через тонкий просвечивающий наружный слой жемчужины, хорошо заметно у большинства культивированных жемчужин с помощью несложного устройства, позволяющего наблюдать его в темноте через свинцовое стекло. Рентгеновская трубка при этом должна быть определенным образом экранирована, чтобы избежать облучения оператора чрезвычайно опасным рентгеновским излучением. Кроме того, у культивированного жемчуга наблюдается непродолжительная фосфоресценция после прекращения действия рентгеновских лучей.

Единственным видом природного жемчуга, люминесценция которого похожа на люминесценцию культивированного жемчуга, является жемчуг, образующийся в пресноводных моллюсках, однако его свечение несколько отличается тем, что оно имеет более желтоватый оттенок и исходит скорее от поверхности жемчужины, чем из ее глубины. Из всех видов жемчуга наиболее интенсивную люминесценцию в рентгеновских лучах дает культивированный пресноводный жемчуг, выращенный в озере Бива. Он не содержит ядер (его описание будет дано ниже).

Для культивированного жемчуга, имеющего обычное ядро из перламутра, испытания на люминесценцию могут быть значительно более эффективными, если жемчужина просверлена хотя бы частично. Для этого отверстие очищают от грязи и ориентируют по направлению к наблюдателю. Если жемчужина культивированная, то свечение, исходящее из глубины отверстия, непосредственно от ядра, будет ярче свечения, исходящего от поверхностного слоя. Если такой эффект наблюдается (при таких наблюдениях помогает наголовная лупа), то он служит очень убедительным свидетельством того, что жемчужины содержат ядро из перламутра и, следовательно, являются культивированными.

Перед тем как завершить описание методов радиографии, применяющихся при диагностике жемчуга, следует, пожалуй, упомянуть о том, что имитации жемчуга также легко выявляются на получаемых снимках. Если виден непрозрачный диск, то это имитация из сплошных стеклянных шариков, а если непрозрачный или почти непрозрачный тонкий круг вокруг почти прозрачного центра — имитация из полых стеклянных шариков, заполненных воском.

До сих пор читателю предлагались только методы, в основе которых лежит визуальный осмотр или применение дорогих при-

боров при условии высокой квалификации оператора. Но существует еще один метод, достаточно простой для выполнения и совершенно не зависящий от визуального определения. Он основан на ощутимой разнице *средних* значений удельного веса природного и культивированного жемчуга, что выявляется с помощью тяжелой жидкости (бромформа), о которой уже упоминалось в гл. 5. Если при таком определении решено ограничиться только одной жидкостью, то бромформ лучше всего разбавлять монобромнафталином, бензолом или толуолом до тех пор, пока кусочек исландского шпата, используемый в качестве индикатора, не начнет медленно всплывать. Удельный вес чистого кальцита 2,710, поэтому можно считать, что удельный вес полученной таким путем жидкости составляет 2,715—2,720. В такой жидкости большинство образцов настоящего жемчуга ориенталь (в среднем около 80%) плавает, а те из них, которые тонут, погружаются очень медленно, тогда как большинство разновидностей культивированного жемчуга (около 90%) будет тонуть и некоторые из них очень быстро. Величину 2,74 можно считать верхним пределом удельного веса для жемчуга из Персидского залива, тогда как удельный вес культивированного жемчуга обычного качества более чем на 60% превышает это значение. Удельный вес венесуэльского и пресноводного жемчуга имеет менее четкие пределы, но в среднем он ниже, чем у культивированного жемчуга. Среди разновидностей настоящего жемчуга лишь австралийский жемчуг по удельному весу приближается к культивированному, но и у него среднее значение не особенно велико. Лишь у 25% жемчужин удельный вес превышает 2,74. В то же время удельный вес черного жемчуга довольно низок, в среднем 2,65.

### КУЛЬТИВИРОВАННЫЙ БЕЗЪЯДЕРНЫЙ ЖЕМЧУГ

Все описанные выше способы проверки применимы только к культивированному жемчугу, имеющему достаточно большое ядро из перламутра. Такой культивированный жемчуг по своей природе и свойствам очень мало изменился с тех пор, как впервые появился на рынке в начале 20-х годов. Он и до сих пор продолжает оставаться главным видом культивированного жемчуга.

Но читатель должен быть предупрежден о существовании культивированного жемчуга нового типа, не имеющего ядра. Предпринимались попытки убедить рынок принять его как природный жемчуг, но более правильно считать его все-таки культивированным, поскольку его рост вызван вмешательством человека, культивирующего производящий жемчуг моллюск.

Большая часть таких не содержащих ядра жемчужин выращивается на жемчужных фермах в мелких водоемах вдоль берега озера Бива в Японии. Поэтому этот жемчуг в обиходе называют жемчугом «бива» или иногда «бива-ко» (окончание -ко по-япон-

ски означает озеро). Жемчужины растут в теле крупных пресноводных моллюсков *Hyriopsis schlegeli*, обитающих в этом озере. Моллюски настолько плотно заполнены «перекрученными» внутренностями, что попытки ввести в них в качестве ядра шарик не имели успеха в промышленном масштабе. Вместо этого в разрезы, сделанные в крае мантии одного моллюска, вводят маленькие полоски жемчуговыделяющей мантии, взятые от другого моллюска.



РИС. 26.9. Своеобразные центральные образования в пресноводных культивируемых жемчужинах с озера Бива.

Затем первого моллюска помещают в специальную клетку, которую подвешивают к плоту и погружают в воду. Образующиеся жемчужины имеют, как правило, овальную или вытянутую форму и характерный блеск, скорее яркий, чем восковой. Размер их довольно мал — не более 5 гранов. Если моллюска повторно возвращают в воду, то иногда формируются жемчужины «второго поколения» заметно более высокого качества.

Жемчуг «бива» нетрудно узнать с первого взгляда, если ранее вы имели с ним дело. Подтвердить его происхождение может рентгеновская фотография, на которой видны небольшие удлиненные полости или пятна конхиолина в центре или вблизи центра жемчужины (рис. 26.9). Они отличаются от структур, наблюдаемых в природном жемчуге, у которого конхиолиновое пятно в центре всегда имеет округлые очертания и часто полосчатое, как агат.

Пресноводный жемчуг содержит следы марганца, который вызывает сильную люминесценцию при облучении. Жемчуг с озера Бива не составляет в этом отношении исключения; действительно, он дает самую интенсивную флюоресценцию и продолжительную и интенсивную фосфоресценцию. Если имеется установка рент-

геновского излучения, то проведенное с ее помощью исследование позволяет очень быстро отличить морской жемчуг от пресноводного, хотя этот метод и не дает ответа на вопрос, является жемчуг настоящим или культивированным.

Безъядерный жемчуг выращивается также в австралийских водах, где для этого используют крупную жемчужницу *Pinctada maxima*. Обычно она дает неудовлетворительный по форме жемчуг в виде капель или пуговиц. Радиография позволяет увидеть близ центра структуру, подобную той, которая наблюдается в жемчуге «бива» большого размера.

### БЛИСТЕР-ЖЕМЧУГ: ПРИРОДНЫЙ И КУЛЬТИВИРОВАННЫЙ («МАБЭ»)

В природе иногда встречаются жемчужины, приросшие к внутренней поверхности раковины. Если их форма хороша, то они вырезаются и используются в ювелирном деле. Удачные экземпляры

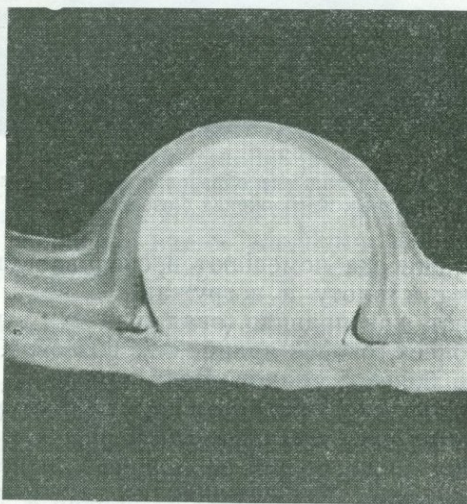


РИС. 26.10. Разрез, на котором видно образование культивированного блистер-жемчуга раннего типа перед отделением его от раковины.

в соответствующей оправе выглядят очень эффектно и стоят довольно дорого. Их следует называть «блистер-жемчуг», чтобы отличить от настоящего жемчуга, выросшего в мантии раковин-жемчужниц, к которому только и применимо название «жемчуг».

Культивированный блистер-жемчуг известен более полувека и стал продаваться еще до полного завершения разработок технологии производства культивированного жемчуга. Первый куль-

тивированный блистер-жемчуг, получивший известность под названием «японский жемчуг», выращивали на небольших перламутровых дисках, которые прикрепляли к внутренней поверхности раковины определенного вида моллюска. Затем организм на несколько лет возвращали обратно в море, где он и покрывал эти чужеродные предметы слоем перламутра (рис. 26.10). Искусственно полученные блистеры вырезали из раковины и приклеивали

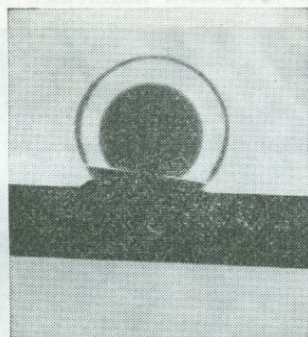


РИС. 26.11. Радиография культивированного блистер-жемчуга «мабэ».

к их нижней поверхности подложку из полированного перламутра, придавая им округлую форму. Выращивание такого жемчуга практикуют и теперь, и притом в больших масштабах. Изменились только завершающие операции: тонкостенную оболочку из перламутра, образовавшуюся вокруг введенного диска, покрывают изнутри слоем воска, затем вставляют в нее небольшое ядро и приклеивают снизу выпуклое основание из перламутра. Современное название этих культивированных блистеров «мабэ-жемчуг». Даже если они закреплены в оправе таким образом, что не видно основания, их внешний вид остается очень характерным, настолько совершенна и симметрична их шарообразная форма. Но если все-таки возникнет какое-либо сомнение, то оно может быть разрешено с помощью радиографии (рис. 26.11).

Кроме жемчуга, образуемого различными разновидностями так называемых жемчужных устриц и пресноводных жемчужниц, существует также жемчуг, который образует *Pinna*. Однако такой жемчуг не может рассматриваться как настоящий, поскольку в этом случае не откладываются тонкие, перекрывающие друг друга слои перламутра, являющиеся причиной настоящего жемчужного блеска. Продукт жизнедеятельности моллюска *Strombus gigas*, называемый обычно розовым жемчугом, своеобразно красив, и его хорошие образцы ценятся высоко. На первый взгляд они похожи на полированный розовый фарфор или полированный коралл, но в отраженном свете под определенным углом они из-

лучают серебристое сияние, а под лупой или микроскопом на их красивой поверхности виден узор, напоминающий языки пламени. Эти признаки могут помочь при определении подобного вида жемчуга (рис. 26.12). От коралла розовый жемчуг отличается высоким удельным весом (от 2,83 до 2,86). Удельный вес коралла не превышает 2,69. Очень похожий жемчуг образует моллюск *Tridacna gigas*. Удельный вес и структура такого жемчуга близки к наблюдаемым у розового жемчуга, и только цвет по преимуществу бе-

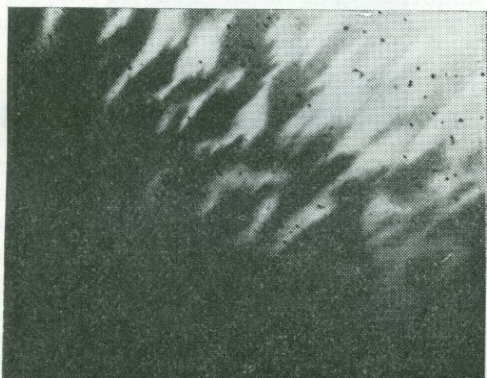


РИС. 26.12. Структура поверхности розового жемчуга.

лый. Внешне этот жемчуг не столь красив, как розовый, поэтому он редко используется в ювелирной практике.

Иногда можно встретить черные и темно-коричневые неирризирующие жемчужины, похожие на пуговицы. В торговле их называют «клам-жемчугом». Их происхождение точно не установлено.

**Имитации жемчуга**, даже тщательно выполненные, при внимательном изучении узнать довольно легко. Их жемчужный блеск создается смесью, содержащей жемчужную эссенцию, получаемую из чешуи рыб. Это покрытие наносится на внутреннюю поверхность полых стеклянных шариков или на наружную поверхность шариков, сделанных из стекла, перламутра или других материалов. Для производства высококачественных имитаций применяют шарики, напоминающие по форме природные жемчужины, причем покрытие наносится в несколько слоев. Естественно, что на поверхности имитаций никогда не наблюдается тонких, расположенных параллельно зубчатых линий, характерных для природного и культивированного жемчуга, — верного признака роста жемчужин в теле моллюска.

Если провести жемчужиной по зубу, то настоящий жемчуг будет цепляться за его поверхность, имитации — нет. Но пожалуй, наилучшим и простейшим способом выявления имитации являет-

ся осмотр с помощью лупы края отверстия, поскольку в этом месте легче всего увидеть материал подложки — покрытие обычно вокруг отверстия отслаивается. На рис. 26.13 показана часть поверхности имитации при увеличении  $15\times$ . Можно видеть, что вокруг отверстия покрытие стерлось и стала проглядывать подложка из молочного стекла.

Определения, выполненные Р. Вебстером на большом числе двух видов обычных имитаций жемчуга, показали, что удельный

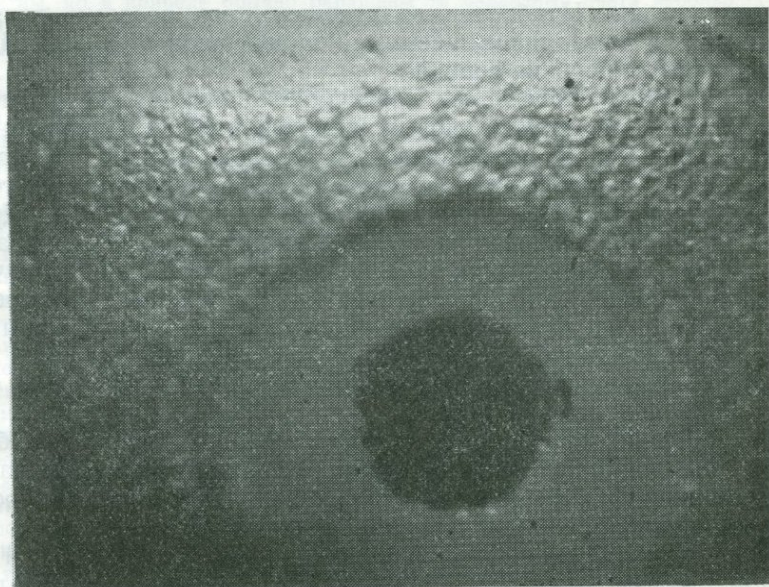


РИС. 26.13. Поверхность имитации жемчуга на основе стеклянной бусины, отчетливо видной в просверленном отверстии.

вес имитаций из сплошных шариков заметно выше (2,85—3,18), чем у жемчуга. Согласно недавно проведенным измерениям, плохие подделки имеют удельный вес 2,33, более качественные по внешнему виду — 2,53, имитации с восковым наполнением — около 1,55. Изредка встречаются имитации с шариками из пластмассы или перламутра.

Иногда за черный жемчуг выдают полированные шарики из гематита, но их легко распознать по отсутствию перламутрового блеска. Кроме того, если ими провести по неглазурованной фарфоровой поверхности, то появится красная черта. Не закрепленный в оправе образец выдаст себя высоким удельным весом (5,10) — самой характерной особенностью этого камня.

## КРАШЕННЫЙ ЖЕМЧУГ

Жемчуг может быть окрашен или подкрашен различными красителями. Настоящий жемчуг, кроме черного, красят очень редко. Черный же довольно часто «улучшают» или по меньшей мере «усиливают» его цвет путем обработки азотнокислым серебром. Поэтому к любой жемчужине, имеющей очень однородный и интенсивный черный цвет, следует отнестись с подозрением, помня о том, что натуральный «черный» жемчуг редко бывает действительно черным. Наиболее характерными его цветами являются бронзовый и металлически-серый или сине-черный с тонкой иризацией, как у оперения сойки.

Если жемчуг просверлен частично, то нитрат серебра иногда может проходить между слоями жемчуга, причем конхиолин восстанавливает его до металлического серебра, присутствие которого выявляет рентгеновская фотосъемка (на негативе это тонкие белые линии). Впервые этот факт обнаружил Р. Вебстер. Другой путь выявления окраски жемчуга нитратом серебра основан на маскировке люминесценции окрашенных жемчужин при облучении длинноволновым ультрафиолетовым светом или между скрещенными фильтрами. Освещаемый сильным светом, пропущенным через колбу с раствором медного купороса, природный черный жемчуг дает тусклое красное (через красный фильтр) свечение, окрашенный черный жемчуг инертен.

Если черный жемчуг является культивированным, то он, безусловно, окрашен искусственным путем. Однако в данном случае это едва ли имеет какое-либо значение. Тем, кто для диагностики жемчуга использует радиографию, полезно напомнить, что присутствие нитрата серебра в слое между ядром и наружной оболочкой может практически полностью замаскировать наличие слоя конхиолина, который обычно выглядит на негативе как темная полоска, что затрудняет интерпретацию радиографического снимка.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Аллохроматические минералы.** Минералы, которые в химически чистом виде бесцветны, но в природе обычно окрашены в различные цвета небольшой примесью одного или нескольких «окрашивающих» элементов. Главными среди таких элементов являются те, которые имеют атомный вес от 22 до 29, а именно титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель и медь. Примеры аллохроматических драгоценных камней — корунд, берилл, шпинель и кварц (см. Идио-хроматические минералы).

**Аморфный.** Буквально «без формы». Аморфное вещество — это такое вещество, атомы и молекулы которого расположены неупорядоченно, в результате чего вещество не имеет характерной формы (см. Кристалл).

**Английская система мер веса.** Система мер веса для общего применения в англоязычных странах. В этой системе фунт равен 16 унциям, унция эквивалентна 28,35 г, или 141,75 метрического карата.

**Ангстрем.** Удобная единица длины для измерения длин волн видимого света и большей части рентгеновских лучей.  $1\text{Å} = 0,0000001$  мм (см. Миллимикрон, Нанометр).

**Анизотропность.** Изменение свойств кристаллов с направлением, в частности изменение оптических свойств с направлением. Оптически все кристаллы, за исключением кристаллов кубической сингонии, анизотропны и обладают двупреломлением.

**Астеризм.** Звездчатый эффект, наблюдаемый в отраженном свете в камнях, обработанных в виде кабошонов и содержащих соответствующим образом ориентированные игольчатые включения или каналы.

**Атом.** Наименьшая часть химического элемента, которая остается неизменной в процессе любых химических реакций. Атом в целом электрически нейтрален, хотя и состоит из электрически заряженных частиц, таких, как электроны, протоны и т. д.

**Атомный вес.** Вес атома данного элемента в сравнении с весом атома кислорода, атомный вес которого принят за 16 единиц.

**Блеск.** Эффект отражения света от поверхности камня. Блеск зависит главным образом от показателя преломления и качества полировки камня. Исключение составляют вещества, имеющие металлический блеск, такие, как золото или пирит. Большое влияние на блеск оказывает твердость камня, так как чем тверже камень, тем лучше он полируется. Алмаз имеет характерный алмазный блеск. Такой же блеск, но в меньшей степени, наблюдается у других камней с высоким показателем преломления — циркона и демантаида. Большинство камней имеет стеклянный блеск. Различают также блеск смолистый, восковой, жемчужный, шелковистый.

**Бриллиант.** Наиболее эффектная форма огранки алмаза. Благодаря ее широкому применению термин «бриллиант» в коммерческих кругах стал эквивалентен понятию «алмаз бриллиантовой огранки». Бриллиантовая огранка применяется также для цирконов и других камней. Стандартный бриллиант имеет 58 граней: 33 грани коронки и 25 граней павильона.

**Буля.** Кристаллы синтетического корунда и шпинели, полученные методом Вернейля, по форме похожие на перевернутую грушу.

**Включения.** Частицы постороннего материала — твердого, жидкого или газообразного — в драгоценном камне. Природа таких включений служит убедительным свидетельством происхождения камня и позволяет отличать природные камни от их синтетических аналогов.

**Габитус** (облик). Характерная кристаллическая форма минерала. Может варьировать у минералов из разных месторождений.

**Грам.** Метрическая единица веса, равная пяти метрическим каратам.

**Гран.** В тройной системе мер и весов в унции содержится 480 гран. Не путать с граном, применяемым для выражения веса жемчуга и равным одной четвертой части метрического карата.

**Двойники.** Два или более сросшихся кристалла какого-либо одного минерала, расположенные симметрично относительно друг друга и имеющие некоторые общие кристаллографические направления или плоскости, в то время как другие находятся в обратных положениях.

**Двуосные кристаллы.** Термин определяет оптический характер кристаллов, относящихся к ромбической, моноклинной и триклинной сингониям, которые обладают двупреломлением, но имеют два направления с единственным показателем преломления, т. е. две оптические оси. Их свойства определяются тремя показателями преломления.

**Двупреломление.** Луч света, входящий в любой кристалл, за исключением кубического, в любых направлениях, кроме направлений оптических осей; расщепляется на два поляризованных луча, колеблющихся во взаимно перпендикулярных плоскостях. Эти лучи распространяются в кристалле с различными скоростями, вследствие чего преломляются в различной степени. Этот эффект называется двупреломлением. Констатация двупреломления и измерение его величины являются важным методом определения драгоценных камней. В том случае, когда двупреломление сильное, ребра задних граней, наблюдаемые с помощью лупы через площадку, кажутся двойными (гл. 3).

**Дисперсия.** Различие в показателях преломления камня для различных длин волн света, приводящее в ограненных камнях к появлению бликов спектральных цветов, известных как «игра» или «огонь». Обычно для измерения величины дисперсии драгоценных камней используют разность между значениями одного и того же показателя преломления, измеренного при длинах волн 6870 Å в красной и 4308 Å в фиолетовой областях спектра, соответствующих фраунгоферовым линиям В и G солнечного спектра. Дисперсия в этом интервале, помноженная на 1000, составляет у сфалерита 156, касситерита 71, демантоида 57, сфена 51, алмаза 44, циркона 38, хризолита и шпинели 20, корунда 18, турмалина и сподумена 17, хризоберилла 15, топаза, кварца и берилла 14, флюорита 7 (гл. 3).

**Дихроизм.** Свойство камня менять цвет в зависимости от направления наблюдения. Два поляризованных луча, проходящих вдоль определенного направления в окрашенном двупреломляющем минерале, часто поглощаются в различной степени и в результате, выходя из камня, имеют различную окраску. С помощью дихроскопа можно наблюдать оба цвета в расположенных рядом окнах (гл. 4). В общем виде называется плеохроизмом. Для одноосных кристаллов характерны два цвета, а для двуосных — три.

**Дублеты.** Составные камни, в которых или вообще нет природного материала, или он составляет только часть камня (гл. 7). Термин «дублет» используется также для обозначения близко расположенных линий в спектрах испускания или поглощения.

**Игра.** Вспышки спектральных цветов в глубине ограненного камня, обусловленные дисперсией (см. Дисперсия).

**Идиохроматические минералы.** Минералы, цвет которых обусловлен элементами, являющимися основными компонентами камня, например малахит, хризолит, альмандин. В отличие от аллохроматических минералов идиохроматические минералы имеют ограниченный ряд оттенков (см. Аллохроматические минералы).

**Излом.** Характер поверхности раскола твердых веществ не по спайности. Самый распространенный тип излома — раковистый излом, типичный для стекла, кварца и в меньшей степени для других драгоценных камней. Волокнистые минералы, такие, как нефрит, имеют занозистый излом.

**Измерители размеров драгоценных камней.** Существует много различных приспособлений, используемых в торговле для оценки веса жемчуга, алмазов и других камней. Наиболее простые и наименее точные представляют собой пласт-

массовые или металлические пластинки с пронумерованными соответствующим образом отверстиями. Наиболее дорогие, такие, как измеритель алмазов Левериджа, имеют сложное устройство и позволяют определять размеры камня в миллиметрах, а по прилагаемым таблицам эти размеры (диаметр, высота и т. д.) дают возможность узнать вес камня в каратах. Во многих случаях для ювелира полезен штангенциркуль, снабженный нониусом. Зная размеры камней, их вес можно определить по следующим формулам:

Для круглого бриллианта вес в каратах равен  $1,7 \, td^2 \times \text{плотность камня}$ , для алмаза  $6 \, td^2$ , где  $t$  — высота камня в сантиметрах,  $d$  — диаметр в сантиметрах. Для камней ступенчатой огранки вес равен  $2,5 \, lwt \times \text{плотность камня}$ , где  $l$  — длина,  $w$  — ширина,  $t$  — высота. Для сферических жемчужин без отверстий Ф. С. Г. Тисдалл предложил определять вес в гранах по формуле  $28,5 \, d^3$ , где  $d$  — диаметр жемчужины в сантиметрах.

**Изоморфное замещение.** Замещение одного элемента в минерале другим, близким к нему по химической природе и радиусу иона, без существенного изменения кристаллической структуры минерала. Изоморфное замещение может вызывать широкие колебания свойств минерала, например плотности, показателей преломления и др., что можно видеть, в частности, в гранатах.

**Изотропный.** Термин используется для обозначения материалов, оптический характер которых одинаков во всех направлениях. Такие материалы имеют только один показатель преломления и не обладают дихроизмом. Кубические минералы и аморфные вещества всегда изотропны.

**Имитации.** Стекло, пластмасса или другие материалы, которые могут походить на природные камни по цвету или внешнему виду, но отличаются от них составом и физическими свойствами.

**Интерференция света.** Два луча света, идущие в одном направлении, могут испытывать интерференцию; когда волны «не в фазе» (вершина одной волны совпадает с минимумом другой), они уничтожают друг друга, тогда как волны «в фазе» (т. е. при совпадении вершин и минимумов) усиливают друг друга. Цвета, наблюдаемые в отраженном свете у опала и лабрадора, обусловлены интерференцией.

**Ион.** Электрический заряженный атом, радикал или молекула.

**Иризация.** Игра цветов радуги, обусловленная интерференцией света, наблюдаемая в благородных опалах, на поверхности кристаллов карборунда, в свете, отраженном от трещин спайности и т. д.

**Кабошон.** Форма обработки камня, когда его верхняя часть имеет изогнутую выпуклую поверхность. Основание камня может быть выпуклым, вогнутым или плоским.

**Карат.** Метрический карат, равный одной пятой части грамма, является международной единицей веса драгоценных камней. Обычная унция содержит 141,75 карата, тройская унция — 155,5 карата.

**Коллиматор.** Устройство, позволяющее получить узкий параллельный пучок света для использования в спектроскопии. Прибор состоит из трубы, на одном конце которой расположена щель с фиксированной или регулируемой шириной, а на другом — линза, фокусное расстояние которой равно длине трубы.

**Криптокристаллическая.** Скрытокристаллическая структура вещества, такая, как у халцедона, который состоит из множества чрезвычайно мелких кристаллов, не обнаруживает никаких внешних признаков кристаллической структуры.

**Кристалл.** Вещество, в котором составляющие его атомы, ионы или молекулы расположены во всем объеме по правильной сетке. В благоприятных условиях эта закономерность внутренней структуры приводит к образованию симметричной внешней формы, ограниченной плоскими поверхностями, называемыми гранями кристалла.

**Критический угол.** Угол, при котором луч света, идущий из более плотной среды, такой, как драгоценный камень, в менее плотную среду, такую, как воздух, преломляется под углом  $90^\circ$  к нормали. Любые лучи, достигающие границы раздела двух сред под углами, превышающими критический, не могут выйти в менее плотную среду и полностью отражаются (гл. 2).

**Лазер.** [Laser — удобное сокращение фразы Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление света с помощью вынужденного излучения).] Устройство, применяемое в технике для создания чрезвычайно интенсивных и когерентных пучков видимого излучения. Основан на использовании флюоресцентных свойств рубина, изумруда и других хромосодержащих фосфоров. В настоящее время для этой цели используется большое число других веществ.

**Люминесценция.** Термин, используемый для обозначения явлений флюоресценции и фосфоресценции.

**Мазер.** [Maser — удобное сокращение фразы Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление микроволн с помощью испускаемого излучения).] Класс усилителей, принцип которых был использован для создания лазера.

**Метамиктный.** Минерал, который стал практически аморфным из-за разрушения первичной кристаллической структуры в результате внутреннего облучения альфа-частицами (ядрами гелия), испускаемыми радиоактивными элементами, содержащимися в минерале. Многие зеленые цирконы, в особенности те, которые добываются на острове Шри Ланка, имеют докембрийский возраст и подвергались такой бомбардировке в течение 800 млн. лет, вследствие чего они приобрели более низкие показатели преломления и плотность. Такие цирконы называются метамиктными.

**Метрический карат.** См. Карат.

**Микрон.** Тысячная доля миллиметра, обозначаемая как 1  $\mu$ . В настоящее время переименован в микрометр (мкм). В геммологии эта единица используется в основном для обозначения размера частиц алмазных порошков.

**Миллимикрон.** Тысячная часть микрона, обозначаемая как 1  $m\mu$ . В настоящее время переименован в нанометр (нм). Первоначально использовался в основном для измерения длины волны видимого света. Легко переводится в ангстремы (А) путем сдвига запятой на один знак, поскольку 1  $m\mu = 10 \text{ А}$ .

**Минеральный вид.** Гомогенное неорганическое вещество, имеющее определенный химический состав, кристаллическую структуру и физические свойства, которые отличаются относительным постоянством.

**Молекула.** Группа из двух или более атомов, находящихся в закономерной комбинации. Наименьшее количество элемента или соединения, которое способно к независимому существованию.

**Монохроматический свет.** Свет, имеющий только одну длину волны (один цвет). Стандартным монохроматическим светом, используемым для оптических измерений, является желтый свет, испускаемый светящимися парами натрия. Он состоит из двух волн, имеющих практически одинаковую длину (среднее значение 5893 А).

**Нанометр (нм).** Единица длины, ранее известная как миллимикрон. Равен 10 А.

**Необыкновенный луч.** Луч, показатель преломления которого изменяется в зависимости от направления его движения в кристалле (в минералах всех систем, кроме кубической).

**Неорганическое вещество.** Вещество, образовавшееся без участия живых организмов.

**Обыкновенный луч.** Луч, который в кристаллах движется с постоянной скоростью в любом направлении.

**Одноосный.** Минералы, имеющие одно направление с единичным показателем преломления, т. е. одну оптическую ось. Одноосны тетрагональные, гексагональные и тригональные кристаллы.

**Опалесценция.** Термин, используемый для обозначения как молочности обычного опала, так и молочной иризации, наблюдаемой у благородных опалов.

**Оптическая ось.** Направление в двупреломляющих минералах, в котором луч света проходит не преломляясь. Гексагональные, тригональные и тетрагональные минералы имеют одну ось и являются одноосными; ромбические, моноклинные и триклинные минералы имеют две оптические оси и являются двuosными.

**Органическое вещество.** Вещество, образовавшееся при участии живого организма. В химии органическими веществами называются соединения углерода.

**Оси кристалла.** Воображаемые линии, проходящие через кристалл в направлениях главных осей симметрии, пересекающиеся в центре кристалла. Обычно число осей равно трем, и они выбираются таким образом, чтобы образовалась система координат, в которой могут быть определены положения граней кристалла.

**Отражение.** Луч света, падающий на полированную плоскую поверхность, отражается таким образом, что угол отражения равен углу падения. С увеличением показателей преломления вещества и угла падения у прозрачных веществ увеличивается интенсивность отраженного света по сравнению с преломленным. Например, из света, падающего перпендикулярно на поверхность алмаза, отражается 17%, тогда как от поверхности кварца в аналогичных условиях отражается менее 5%.

**Параллельный рост.** Форма роста группы кристаллов, в которых все ребра и грани одного кристалла параллельны соответствующим ребрам и граням соседних кристаллов. Группу кристаллов, выросших параллельно, легко узнать по одновременному отражению света от всех параллельных граней. Не следует принимать за параллельный рост двойникование, в котором соседние кристаллы симметрично соединены общей плоскостью.

**Паста.** Имитация драгоценного камня, сделанная из свинцового стекла определенного типа. Иногда термин используется применительно ко всем стеклянным имитациям драгоценных камней.

**Переливчатость.** Эффект «кошачьего глаза», обусловленный отражением света от волокон или каналов в камне, расположенных параллельно. Если камень обработан в форме кабошона, в правильном положении на поверхности камня появляется шелковистая полоска света под прямым углом к включениям.

**Переходные элементы.** Группа металлов, занимающих определенные положения в периодической таблице элементов. Благодаря своей атомной структуре они поглощают свет и вызывают окраску минералов, присутствуя в последних в значительных или очень небольших количествах. К таким элементам относятся (в порядке увеличения атомного номера) титан, ванадий, хром, марганец, железо, кобальт, никель и медь.

**Пластмассы.** Общий термин, обозначающий все синтетические смолоподобные материалы, которые могут образоваться под действием тепла или давления (гл. 25).

**Плеохроизм.** Общий термин, обозначающий дихроизм и подобный ему эффект, свойственный некоторым двуосным кристаллам, в которых с помощью дихроскопа можно увидеть три различных цвета или оттенка (по два одновременно).

**Плотность.** Вес вещества в единице объема, измеряемый в граммах на кубический сантиметр. Поскольку 1 см<sup>3</sup> воды весит 1 г, плотность вещества численно равна его удельному весу (гл. 5).

**Погасание.** Когда двупреломляющий минерал поворачивают между скрещенными призмами Николя или листами поляроида на 360°, то свет четыре раза гаснет и четыре раза поле зрения просветляется. При потемнении минерала говорят, что он находится в положении погасания.

**Показатель преломления.** Величина, характеризующая преломляющую силу среды. Показатель преломления воздуха, принятый на практике за эталон, равен 1,00. Показатель преломления среды может быть определен как отношение скорости света в воздухе к скорости света в среде или как отношение синуса угла падения к синусу угла отражения при прохождении луча света из воздуха в среду.

**Поляризованный свет.** Свет, колеблющийся только в одной плоскости; может быть получен при отражении под определенными углами от стеклянной поверхности, при поглощении одного из двух поляризованных лучей, проходящих через турмалиновые пластинки темных оттенков или листы поляроида, а также с помощью призм Николя.

**«Поляриод».** Пластмассовый материал в виде листов, содержащий ультрамикроскопические кристаллы иодосульфата хинина или другого соединения, обладающего способностью пропускать только один поляризованный луч и полностью

поглощать другой. Листы поляроида служат легкой и дешевой заменой призм Николя при получении поляризованного света.

**Призма Николя.** Специальная призма для получения поляризованного света, изготовленная из двух склеенных канадским бальзамом деталей из исландского шпата (кальцита). Свет, входящий в призму, расщепляется на два поляризованных луча, один из которых — обыкновенный луч — полностью отражается от слоя бальзама, тогда как другой — необыкновенный луч — проходит через призму. В поляризационных микроскопах имеются две призмы Николя.

**Прозрачность.** Степень пропускания света веществом. Камень считается прозрачным, если через него можно легко видеть предметы. Примером могут служить стекло, кварц, алмаз и т. д. В том случае, когда камень в какой-то мере пропускает свет, но четких очертаний предмета сквозь него увидеть нельзя, он называется полупрозрачным или просвечивающим, например нефрит. Когда же свет не может пройти через материал, последний называется непрозрачным, например пирит.

**Радиоактивность.** Самопроизвольное испускание частиц или лучей, сопровождающее постепенное разрушение определенных нестабильных атомов, главным образом с большим атомным весом. Наиболее известными радиоактивными элементами являются радий, торий и уран. Испускание может быть трех видов: альфа-частицы (ядра гелия), бета-частицы (электроны) и гамма-лучи (по существу, рентгеновские лучи с очень малой длиной волны). Первые два имеют небольшую проникающую способность, зато гамма-лучи проходят на большую глубину, чем самое жесткое рентгеновское излучение.

**Реконструированные камни.** Камни, изготовленные в прошлом веке из обломков природного рубина путем сплавления их в пламени горелки. Так называемые реконструированные рубины были вытеснены синтетическими камнями, полученными методом Вернейля, в отношении которых термин «реконструированные» применять не следует. Прессованный янтарь является единственным действительно «реконструированным» ювелирным материалом, изготавливаемым в настоящее время.

**Рентгеновские лучи.** Электромагнитное излучение, имеющее ту же природу, что и видимый свет, но значительно меньшую длину волны (обычно менее  $2 \text{ \AA}$ ). Названы по имени их открывателя немецкого химика Рентгена.

**Рефрактометр.** Прибор для измерения показателей преломления различных веществ (гл. 2).

**Ртутный спектр.** Различные ртутные лампы испускают следующие интенсивные линии в видимой и ультрафиолетовой областях (длины волн даны в ангстремах): 6907, 6234, 5790, 5769, 5460, 4358, 4046, 3650, 2536. Вследствие того что линии отстоят довольно далеко друг от друга, отдельные линии в видимой и ультрафиолетовой областях спектра могут быть в той или иной степени выделены с помощью соответствующих фильтров.

**Свет.** Форма лучистой энергии, воспринимаемая глазом. Свет движется со скоростью 300 000 км/с, так же как радиоволны и другие волны аналогичной физической природы, но с другими длинами волн.

**Светопреломление.** Когда луч света проходит из воздуха в более плотную среду, такую, как драгоценный камень, его скорость снижается, в результате чего луч больше не распространяется по своему первоначальному пути, а изгибается или преломляется и идет уже в направлении, более близком к перпендикуляру к поверхности раздела двух сред.

**Симметрия.** В кристаллографии рассматривают три элемента симметрии — плоскость, ось и центр симметрии. В зависимости от симметрии кристаллы делятся на 32 класса. В свою очередь классы группируются в семь систем (сингоний) (см. Системы кристаллов).

**Синтетические камни.** Искусственно полученные драгоценные камни, которые имеют такие же состав, кристаллическую структуру и свойства, как и их природные аналоги.

**Системы кристаллов.** Существует семь основных групп симметрии, на которые могут быть разделены все кристаллы, природные или искусственные.

**Сияние.** Впечатление света внутри камня, создаваемое отражением света от внутренних участков камня, как, например, в лунном камне.

**Скрещенные фильтры.** Термин, предложенный автором (по аналогии со скрещенными николями) для описания простой, но эффективной методики наблюдения флюоресценции ближе к красному концу спектра. Общая идея этой методики впервые была предложена сэром Дж. Г. Стоксом в 1852 г. Образец освещают светом одного цвета (например, синим) и наблюдают его через фильтр, пропускающий свет другого цвета (например, красного). Фильтры должны быть выбраны таким образом, чтобы при отсутствии флюоресценции у наблюдаемого образца через второй (скрещенный) фильтр свет не проходил.

**Составные камни.** Общий термин для обозначения дублетов, триплетов и т. д., в которых камень состоит из двух или более частей, изготовленных из одинаковых или различных материалов, склеенных или соединенных между собой другими способами.

**Спайность.** Способность некоторых камней расщепляться вдоль одного или нескольких определенных направлений. Плоскости спайности всегда параллельны возможным граням кристалла данного минерала.

**Спектр поглощения.** Когда белый свет проходит через окрашенный камень, свет одних длин волн поглощается гораздо сильнее, чем других, при этом свет, проходящий через кристалл, обуславливает цвет камня. При наблюдении через спектроскоп спектра света, прошедшего через камень, видно, что его участки (цвета), поглощенные камнем наиболее сильно, выглядят как темные полосы, пересекающие спектр в строго определенных местах (при определенных длинах волн), что является важным признаком при идентификации драгоценных камней (гл. 8).

**Спектроскоп.** Прибор, раскладывающий свет на составные цвета путем преломления его в призмах или при дифракции после прохождения через дифракционную решетку.

**Ступенчатая огранка.** Форма огранки, применяемая для цветных камней и иногда для алмазов, когда ребра ряда граней коронки и павильона параллельны ребрам прямоугольной площадки.

**Твердость.** Сопrotивление материала истиранию (см. Шкала Мооса).

**Тройский (монетный) вес.** Система весов, применяемая для благородных металлов. В этой системе 24 грана равны 1 пеннивейту, 20 пеннивейтов равны 1 унции, 12 унций равны 1 фунту. Следует заметить, что тройский гран равен грану в обычной системе веса, однако унция в тройской системе больше. Одна тройская унция равна 31,103 г, тогда как одна унция в обычной системе равна 28,35 г.

**Угол Брюстера.** Угол падения, при котором свет, отраженный от полированной поверхности прозрачного вещества, приобретает максимальную степень поляризации, плоскость которой параллельна поверхности. Как было показано сэром Ф. Д. Брюстером, этот угол связан с показателем преломления отражающей среды уравнением  $n = \text{tg } i$ . Можно указать следующие углы падения, вычисленные по формуле Брюстера: для алмаза  $67^{\circ}30'$ , для кубической окиси циркония  $65^{\circ}$ , для корунда  $60^{\circ}30'$ , для кварца  $57^{\circ}$ . Нетрудно было бы сконструировать прибор для удобного измерения угла Брюстера, который мог бы иметь практическую ценность при определении высоких показателей преломления алмаза и его имитаций, однако с появлением современных рефлектометров нужда в таком приборе практически отпала.

**Удельный вес.** Вес вещества в сравнении с весом равного объема чистой воды при  $4^{\circ}\text{C}$  (гл. 5).

**Ультрафиолетовый свет.** Невидимые лучи, длина которых несколько меньше, чем у лучей видимого света. Для удобства подразделяется на длинноволновый ультрафиолетовый свет, т. е. свет, даваемый линией при  $3650 \text{ \AA}$  ртути, и коротковолновый свет, даваемый линией при  $2537 \text{ \AA}$  ртути.

**Унция.** См. Английская система мер веса и Тройский (монетный) вес.

**Флюоресценция.** Испускание видимого света некоторыми минералами при облучении их более коротковолновым излучением, таким, как ультрафиолетовый свет или рентгеновские лучи (гл. 9).

**Фосфоресценция.** Эффект, отличающийся от флюоресценции только тем, что после прекращения действия возбуждающего излучения минерал продолжает некоторое время испускать свет.

**Фраунгоферовы линии.** Темные линии поглощения, пересекающие яркий непрерывный спектр солнечного света. Обусловлены поглощением света парами элементов в хромосфере. Впервые наблюдались немецким физиком Фраунгофером, который обозначил основные линии видимого спектра солнечного света следующими буквами (длины волн в ангстремах): А 7606, В 6870, С 6563, D 5893, E 5270, F 4861, G 4308, H 3969.

**Химический элемент.** Вещество, которое образовано атомами только одного химического типа и поэтому не может быть разложено химическим путем на более простые вещества. Известно около ста химических элементов.

**Цвет.** Эффект, производимый в нормальном человеческом глазе светом определенных длин волн (см. Спектр).

**Цветной фильтр Челси.** Двухцветный фильтр, пропускающий свет только двух узких участков спектра, один — в дальней красной и другой — в желто-зеленой областях. Полезен для отличия изумрудов от их имитаций, а также для определения синтетических шпинелей и стекол, окрашенных в синий цвет кобальтом (гл. 4).

**Частота.** Величина, обратная длине волны электромагнитного излучения (например, света). Это — наиболее четкое выражение его энергии. Часто используемой единицей является так называемое волновое число, равное числу волн, приходящему на длину 1 см. Так,  $n=1/\text{длина}$  волны в сантиметрах, или  $10^8/\text{длина}$  волны в ангстремах. Обычно записывают как  $\text{см}^{-1}$  (см. Электронвольт). Примеры:  $2000 \text{ \AA} = 50\,000 \text{ см}^{-1} = 6,19 \text{ эВ}$ ;  $4000 \text{ \AA} = 25\,000 \text{ см}^{-1} = 3,10 \text{ эВ}$ ;  $5000 \text{ \AA} = 20\,000 \text{ см}^{-1} = 2,48 \text{ эВ}$ ;  $6000 \text{ \AA} = 16\,666 \text{ см}^{-1} = 2,066 \text{ эВ}$ .

**«Шелк».** Очень тонкие пересекающиеся иглообразные включения или каналы, типичные для бирманского рубина, которые в отраженном свете дают шелковистый отлив.

**Шкала Мооса.** Шкала твердости, предложенная Ф. Моосом более 100 лет назад и до сих пор применяющаяся минералогами. Цифры этой шкалы указывают только на порядок увеличения твердости (сопротивление царапанию) и не отвечают ее абсолютному значению. Минералы, выбранные Моосом в качестве эталонов для своей шкалы: тальк (1), гипс (2), кальцит (3), флюорит (4), апатит (5), полевой шпат (6), кварц (7), топаз (8), корунд (9) и алмаз (10).

**Электронвольт.** Энергия, приобретаемая электроном при прохождении через разность потенциалов, равную одному вольту. Единица, широко применяемая физиками для обозначения энергии излучения различных областей электромагнитного спектра. Связана с частотой света и, следовательно, с длиной волны уравнением  $1 \text{ эВ} = 8066 \text{ см}^{-1}$  (см. Частота).

## СИСТЕМЫ КРИСТАЛЛОВ

В течение последних лет наблюдается значительное увеличение интереса со стороны коллекционеров и торговцев драгоценными камнями к хорошо образованным природным кристаллам минералов. Появилось много дешевых книг с цветными иллюстрациями, а также ряд роскошных и дорогих изданий, посвященных образцам минералов. Образцы кристаллов, ранее хранившиеся на складах, теперь можно увидеть в витринах дорогих магазинов в районе Хаттон-Гарден, и дизайнеры современных ювелирных украшений даже пытаются использовать в своих творениях небольшие группы кристаллов без какой-либо обработки.

Все это замечательно, и некоторые сведения о природе и внешнем виде кристаллов следует включить в программы геммологических курсов. К сожалению, изучение кристаллографии на любом уровне является, несомненно, трудным делом, и новичку не следует сразу браться за капитальный труд по кристаллографии. Будет гораздо благоразумнее просмотреть разделы по этому предмету, которые приводятся в элементарных пособиях по минералогии, пока не встретится учебник, который благодаря хорошим иллюстрациям и простому объяснению окажется наиболее полезным в приобретении необходимых знаний.

Огромную помощь в изучении кристаллографии оказывает, несомненно, собиране коллекции кристаллов, однако форма кристаллов многих минералов на-

столько сложна или необычна, что кажется, что она не имеет ничего общего с акkuratными геометрическими рисунками, приведенными в учебниках. Больше всего похожи на эти рисунки кубические кристаллы, и куб (пирит, флюорит), октаэдр (шпинель, алмаз), додекаэдр и икоситетраэдр (гранат) можно легко различить у реальных образцов. Гексагональные (берилл, апатит) и тригональные (кварц, кальцит, турмалин) кристаллы также обычно образуют четко распознаваемые формы. Легко распознаются хорошие тетрагональные кристаллы везувиана. На хороших кристаллах бесцветного топаза можно увидеть особенности ромбического кристалла, однако они иногда очень разнообразны по числу сосуществующих форм. Кристаллы гипса являются простейшим примером особенностей моноклинной симметрии, тогда как выращенные в домашних условиях кристаллы медного купороса иллюстрируют характерные особенности наименее симметричных триклинных кристаллов: Р. К. Митчелл подготовил серию цветных слайдов с рисунками кристаллов и изображениями реальных кристаллов. Эти слайды чрезвычайно полезны для начинающих. Их можно приобрести через Геммологическую ассоциацию Великобритании.

Краткая классификация кристаллов, приведенная ниже, должна быть полезной в качестве справочного руководства. В соответствии с программой Геммологической ассоциации Великобритании сейчас различают семь систем (сингоний) кристаллов вместо шести, приводившихся в ранних изданиях. Здесь тригональная система рассматривается не как разновидность гексагональной, а как самостоятельная система.

Точно так же как положение точки на плоскости может быть определено двумя кратчайшими расстояниями от нее до двух взаимно пересекающихся осей, так и положение плоскости может быть определено отрезками, отсекаемыми ею у трех взаимно пересекающихся осей. Кристаллы, выращенные в благоприятных условиях, ограничены плоскостями, называемыми гранями кристалла, которые расположены симметрично. Осями кристалла, выбранными в качестве ориентиров для этих граней, называются воображаемые линии, проходящие через кристалл вдоль направлений наибольшей симметрии и пересекающиеся в центре кристалла. Было установлено, что все кристаллы разбиваются на семь групп симметрии, называемых кристаллическими системами (сингониями), которые характеризуются природой их осей кристаллов. В любом минерале отрезки, отсекаемые одинаковыми гранями на осях кристалла, равны между собой независимо от относительных размеров этих граней. Более того, углы между двумя данными гранями всегда одинаковы для всех образцов любого определенного минерала, даже если его кристаллы кажутся лишенными симметрии из-за неблагоприятных условий кристаллизации.

Типичная форма кристалла, образуемая минералом, называется габитусом кристалла или просто габитусом. Она оказывает большую помощь в распознавании минерала в необработанном виде. Габитус минералов из различных месторождений может в той или иной степени варьировать, однако формы, которые он образует, будут всегда принадлежать к одной и той же кристаллической системе. Почти все минералы являются кристаллическими веществами. Некристаллические материалы, такие, как стекла и смолы, которые не имеют упорядоченной внутренней структуры и в результате лишены характерной наружной формы, называются аморфными.

Нередко минералы состоят из двух или более кристаллов, растущих совместно симметричным образом. Такие сложные кристаллы называются двойниками. (Существует также термин «майка», который чаще всего применяется гранщиками алмазов для обозначения сдвоенных кристаллов.)

Ниже кратко описаны семь кристаллических систем и названы наиболее важные драгоценные камни, которые кристаллизуются в каждой из этих систем.

1. **Кубическая система.** Все формы, относящиеся к этой системе, имеют три равные оси, пересекающиеся под прямыми углами друг к другу. Кубические минералы изотропны. Общими формами являются куб, имеющий шесть квадратных граней, октаэдр (восемь треугольных граней), ромбододекаэдр (12 ромбических граней) и икоситетраэдр или трапецоэдр (24 трапециевидные грани). В этой системе кристаллизуются алмаз, шпинель, гранаты, флюорит, сфалерит и пирит.

**2. Тетрагональная система.** Формы этой системы имеют три пересекающиеся под прямыми углами оси, две из которых одинаковы, а третья, главная ось длиннее или короче, чем две первые. Тетрагональные минералы одноосны, т. е. характеризуются двумя показателями преломления — обыкновенным и необыкновенным. Главная ось кристалла является также оптической осью или направлением, обладающим только одним показателем преломления. Среди форм кристаллов здесь можно указать призмы (четыре или восемь прямоугольных граней), базальные пинакоиды (две квадратные грани) и бипирамиды (восемь граней из равнобедренных треугольников). К этой системе относятся циркон, везувиан и касситерит.

**3. Гексагональная система.** Формы в этой системе имеют четыре оси, три из которых равны между собой и пересекаются под углом  $60^\circ$ , а четвертая, главная ось перпендикулярна первым трем осям и отличается от них длиной. Гексагональные минералы одноосны; оптическая ось кристалла совпадает с его главной осью, являющейся осью шестого порядка. Общие формы: гексагональные (или дигексагональные) призмы (шесть или двенадцать граней), базальные пинакоиды (две грани), гексагональные бипирамиды (12 граней). К этой системе относятся берилл и апатит.

**4. Тригональная (или ромбоэдрическая) система.** Часто она рассматривается как разновидность гексагональной системы, поскольку тригональные кристаллы нередко имеют гексагональные формы. Главная ось, однако, является одной из осей третьего порядка (не шестого), которая перпендикулярна трем другим равным между собой осям, пересекающимся под углом  $60^\circ$ , и отличается от них длиной. Простейшей и характерной формой является ромбоэдр — шестигранная фигура, которая может рассматриваться как куб, который сжат (или растянут) в направлении его диагональной оси третьего порядка. Примером этой простой формы может служить выколотый по спайности образец исландского шпата (кальцита). К тригональной системе относятся многие драгоценные камни: корунд, турмалин, кварц, кальцит, гематит и фенакит. Тригональные кристаллы одноосны, причем оптическая ось является главной осью кристалла.

**5. Ромбическая система.** В данном случае имеются три оси, пересекающиеся под прямыми углами друг к другу, причем длина всех осей различна. Ромбические минералы двуосны, т. е. они имеют две оптические оси, не совпадающие с осью кристалла (и три показателя преломления). Общими формами являются призмы (четыре грани), пинакоиды (две грани) и бипирамиды (восемь граней). В этой системе кристаллизуются хризолит, хризоберилл, топаз, андалузит, данбурит и иолит.

**6. Моноклиная система.** Здесь имеются три неравные оси, две из которых пересекаются под косым углом, а третья перпендикулярна к ним. Моноклинные кристаллы двуосны. Общие формы: призмы (четыре грани), диэдр (две грани) и пинакоиды (две грани). К моноклиным минералам относятся жадеит, нефрит, сфен и сподумен.

**7. Триклинная система.** Три неравные оси пересекаются под косыми углами. Триклинные кристаллы двуосны. Общими формами являются пинакоиды и моноэдр (одна грань). Из драгоценных камней к этой системе относятся кианит, аксинит, бирюза и лабрадор.

Кроме деления в соответствии с их кристаллическими системами кристаллы могут подразделяться на классы внутри каждой системы в зависимости от степени их симметрии. Существуют три так называемых элемента симметрии — центр симметрии, плоскость симметрии и ось симметрии. На этой основе кристаллы подразделяют на 32 класса, пять из которых являются кубическими, семь — тетрагональными, семь — гексагональными, пять — тригональными, три — ромбическими, три — моноклинными и два — триклинными.

Названия граней кристалла и форм часто непонятны начинающим. Приведенное ниже краткое описание может помочь разобраться в этих определениях.

**Пирамида** — форма, каждая грань которой пересекает все три оси кристалла. В гексагональной системе любая грань пирамиды пересекает три оси, четвертую пересекает необязательно.



## СВОДНАЯ ТАБЛИЦА СВОЙСТВ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Приведенная ниже обширная таблица напоминает во многих отношениях замечательную сводку Крауса и Славсона, опубликованную в их книге «Драгоценные камни и ювелирные материалы». Алфавитное расположение материала поможет читателю быстро найти нужный камень и получить данные о его свойствах, а ссылка на страницу в последней колонке укажет, где можно почерпнуть о нем более подробные сведения. Химические формулы написаны в «дуалистической» манере (например,  $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  вместо  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), поскольку такая запись более проста для понимания. Упущения и даже несообразности являются большей частью преднамеренными. В примечаниях приняты следующие сокращения;  $n$  — показатель преломления, уд. в. — удельный вес,  $dp$  — двупреломление.

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и двупреломление	Примечания и страницы основного текста
Алмаз C Кубическая	Бесцветный. Оттенки желтого и коричневого цвета, Редко голубой, красный, зеленый <i>Борт</i> и <i>карбонадо</i> используются только в промышленности	10	3,52	2,418 Изотропен	Самое твердое из известных веществ. Совершенная октаэдрическая спайность. Очень стабильные свойства. При облучении заряженными частицами возникает зеленая, коричневая и желтая окраска. Стр. 226
Аксинит Сложный боросиликат Ca, Al, Mg Триклинная	Гвоздично-коричневый, фиолетовый	7	3,28	1,685 0,011	Встречается в виде прекрасных острых кристаллов (отсюда и название). Для огранки используется редко.
Апатит $\text{Ca}_4(\text{CaF})(\text{PO}_4)_3$ Гексагональная	Желтый, синий, зеленый	5	3,21	1,638 0,003	Синие камни из Бирмы сильно дихроичны. Желтые, как правило, дают в спектре линии редких земель (при 5840 Å и т. д.). Очень низкое $dp$ и более высокий уд. в. отличают его от данбурита. Стр. 197
Андалузит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ Ромбическая	Зеленый, зеленовато-коричневый, с красноватыми оттенками. <i>Хиастолит</i> — нечистая разновидность, дающая сероватый крест на черном фоне	7,5	3,15	1,64 0,010	Очень сильный плеохроизм. Редок. Часто принимают за турмалин, однако в отличие от него имеет более высокий уд. в. и более низкое $dp$ . Стр. 322
Бирюза Водный фосфат алюминия и меди	Темная до бледной небесно-голубой, бледная зеленовато-голубая. Прозвечивающая до непрозрачной	6	2,6 до 2,8	1,61	Египетская (интенсивно-голубая, прозвечивающая) и иранская (голубая) являются наименее пористыми и имеют уд. в. около 2,8. Американская бирюза более пористая, менее твердая, имеет более низкий уд. в. и нередко содержит темные прожилки лимонита. Стр. 374
Бразилианит $\text{NaAl}_3(\text{OH})_4(\text{PO}_4)_2$ Моноклинная	Зеленовато-желтый. Прозрачный до полупрозвечивающего	5,5	2,99	1,612 0,021	Открыт в 1944 г. в пегматите в шт. Минас-Жерайс, Бразилия, и в 1947 г. в шт. Нью-Гэмпшир, США
Бенитоит $\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2 \cdot 3\text{SiO}_2$ Гексагональная	Сапфирово-синий до бесцветного	6,5	3,67	1,78 0,047	Редкий и прекрасный камень из округа Сан-Бенито, Калифорния (единственное место, где он встречается). Сильный дихроизм, высокие $dp$ и дисперсия. Стр. 269

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и двупреломление	Примечания и страницы основного текста
Берилл $3\text{Be} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ Гексагональная	<i>Изумруд</i> — зеленый	7,5	2,71	1,575 0,006	Изумруд обычно имеет пороки. У южноафриканского изумруда довольно высокие уд. в. и п, а у бразильского — довольно низкие. Стр. 276
	<i>Аквамарин</i> — светло-голубой до голубовато-зеленого <i>Золотистый берилл (гелиодор)</i> — желтый	7,5 7,5	2,69 2,68	1,575 0,006 1,57 0,005	Аквамарин обычно не имеет пороков. Мадагаскарские камни обладают сильным дихроизмом. Стр. 288
	<i>Розовый берилл (морганит)</i> — розовый, также бесцветный	7,5	2,80	1,59 0,008	Константы розового берилла обычно высокие из-за присутствия в нем редких щелочных металлов. Стр. 314
Везувин Силикат кальция и железа Тетрагональная	Коричневый, желтый, зеленый; прозрачный <i>Калифорнит</i> — зеленый массивный; просвечивающий	6,5 5,5	3,38 3,3	1,70 0,005 1,70	Дихроизм отчетливый Калифорнит похож на нефрит. Полоса поглощения в синей части при 4610 Å
Гематит $\text{Fe}_2\text{O}_3$ Тригональная	Стально-серый цвет в кристаллах или в полированном виде	6	5,1	Очень высокое	Сильный металлический блеск; используется для печаток и имитации черного жемчуга. Дает красную черту на неглазурованном фарфоре. Стр. 386
Граната группа Кубическая Альмандин $3\text{FeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ Пироп $3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ Гроссуляр $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ Андрадит $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ Спеллсартин $3\text{MnO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$	Фиолетово-красный Глубокий кроваво-красный <i>Гессонит</i> — оранжево-коричневый, также зеленый, розовый и т. д. Массивный гроссуляр <i>Демантоид</i> — зеленый <i>Топазолит</i> — желтый Оранжевый или желтый, пламенно-красный	7,5 7,25 7,25 7 6,5 7	3,9— 4,2 3,7— 3,9 3,65 3,49 3,85 4,16	1,76— 1,81 1,73— 1,76 1,74 1,73 1,89 1,80	Альмандин и пироп образуют непрерывный изоморфный ряд красных гранатов. Альмандин окрашен железом. Лучшие пиropy окрашены хромом. Альмандин дает характерный спектр поглощения. Стр. 340 Гессонит содержит альмандиновую молекулу. Стр. 344 Похож на нефрит Очень высокая дисперсия («игра»). Стр. 346 Довольно редок. Часто похож на гессонит. Константы близки к альмандиновым. Стр. 343
Данбурит $\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ Ромбическая	Светло-желтый, бесцветный	7	3,00	1,633 0,006	Более низкие значения уд. в. и дп отличают его от топаза. В спектре часто видны линии дидима. Основное месторождение находится в Бирме
Датолит Боросиликат кальция Моноклинная	Бесцветный или очень светло-зеленый, а также в виде замутненных конкреций различных цветов	5	2,99	1,648 0,044	Красивый коллекционный камень
Диопсид $\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ Моноклинная	От светло-зеленого до темно-зеленого. Также звездчатые камни (4-лучевые)	5	3,29	1,69 0,030	Отличается от хризолита по оттенку зеленого цвета и несколько более высоким п и более низким уд. в. От энстатита — более высоким дп
Жадит $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$ Моноклинная	Зеленый, белый, коричневый, фиолетовый	7	9,33	1,66 0,012	«Китайский жад». Волокнистая или зернистая структура. На полированной поверхности часто видна рябь. Окраска очень разнообразна. Ценится гораздо выше, чем нефрит. Стр. 363

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и двуупре-ломление	Примечания и страницы основного текста
Жемчуг $\text{CaCO}_3$ с конхиолином и водой	<i>Ориенталь</i> — белый или кремовый	3,5	2,71	—	Приведены далеко не все районы добычи жемчуга. Жемчуг <i>ориенталь</i> добывается в Персидском заливе и на побережьях о. Шри Ланка. Жемчужины также классифицируются по форме — пуговичная, каплевидная, барочная (неправильной формы) и т. д. Жемчуг состоит на 90% из $\text{CaCO}_3$ в форме арагонита. Розовый и черный жемчуг лишены жемчужного блеска и принадлежат к другой категории. О распознавании настоящего и культивированного жемчуга и его имитаций см. стр. 398
	<i>Австралийский</i> — серебристо-белый	3,5	2,74	—	
	<i>Венесуэльский</i> — белый, просвечивающий	3,5	2,7	—	
	<i>Черный</i> — бронзовые или стально-серые цвета	3,5	2,65	—	
	<i>Голубой</i> — свинцово-серый благодаря темным ядрам	3,5	2,6	—	
	<i>Пресноводный</i> — тусклый, ирризирующий	3,5	2,7	—	
Иолит (кордиерит, дихроит) Силикат Mg, Fe, Al Ромбическая	<i>Конх</i> — розовый, без жемчужного блеска	3,5	2,85	—	Очень сильный плеохроизм: темно-синий, светло-синий и светло-коричневый. Стр. 269
	<i>Клам</i> — черный, без жемчужного блеска	3,5	2,65	—	
	Синий	7	2,59	1,535 0,009	
Касситерит $\text{SnO}_2$ Тетрагональная	Бесцветный до темно-коричневого	6,5	6,95 до 7,0	2,045 0,096	Высокие блеск и дисперсия. Может походить на алмаз
Кварца группа $\text{SiO}_2$ Тригональная	<i>Горный хрусталь</i> — бесцветный	7	2,65	1,548 0,009	Прозрачные разновидности кварца имеют очень стабильные свойства. Название «топаз» не следует применять для обозначения желтого или дымчатого кварца. Яшма — очень загрязненный примесями массивный кварц преимущественно коричневых или красноватых тонов. Яшма, окрашенная берлинской лазурью в синий цвет, имитирует лазурит (швейцарский лазурит). Стр. 324 Стр. 380
	<i>Аметист</i> — фиолетовый <i>Цитрин</i> — желтый <i>Дымчатый кварц (кернагор)</i> — коричневый <i>Морион</i> — черный <i>Розовый кварц</i> — розовый, замутненный <i>Авантюрин</i> — зеленый, коричневый, с блестками <i>Кварцевый кошачий глаз</i> — светло-коричневый, переливчатый <i>Тигровый глаз</i> или « <i>крокидолит</i> » — золотисто-коричневый, переливчатый <i>Кварц с включениями рутила</i> — бесцветный	7	2,65	1,548 0,009	
Кианит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ Триклинная	Синий, иногда зеленый или бесцветный	От 4 до 7	3,69	1,72 0,019	Пластинчатая структура. Иногда имеет цвет лучших сапфиров. Сильный плеохроизм. Твердость сильно зависит от направления
Корнерупин Силикат Mg, Al Ромбическая	Зеленый, коричневатозеленый, желтый, прозрачный. Также в виде кошачьего глаза	6,5	3,32	1,675 0,013	Сильно дихроичен. Редок; красивые камни встречаются на о. Шри Ланка, в Бирме и Кении
Корунд $\text{Al}_2\text{O}_3$ Тригональная	<i>Рубин</i> — красный	9	3,99	1,765 0,008	Бирманский рубин ярко-красный, сильно дихроичен. Содержит «шелк». Стр. 253 Сиамские рубины альмадиново-красные, дихроизм выражен слабее, «Шелк» отсутствует

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и двуупре-ломление	Примечания и страницы основного текста
	<i>Сапфир</i> — синий, а также бесцветный, желтый, розовый, зеленый и фиолетовый <i>Звездчатый рубин, звездчатый сапфир</i> — просвечивающие, с астеризмом	9	3,99	1,765 0,008	Сапфир сильно дихроичен. Стр. 266 Зеленые сапфиры имеют по сравнению с другими несколько большие значения уд. в. и п. Синтетический корунд имеет множество расцветок. Опасайтесь синтетики. Стр. 381
Лазулит Фосфат Fe, Mg, Al Моноклинная	Синий, просвечивающий до непрозрачного	5,5	3,1	1,62 0,031	Редкий поделочный камень; иногда похож на бирюзу. Стр. 377
Лазурит Сложный силикат, содержащий серу Кубическая	Синий, непрозрачный	5,5	2,8	1,5	Часты включения пирита. Материал более низкого качества содержит белые пятна. Лазурит является породой, а не чистым минералом
Малахит $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ Моноклинная	Зеленый, узорчатый, непрозрачный	4	3,8	1,78 0,025	Поделочный камень с типичными концентрическими темно-зелеными и светло-зелеными полосами. Реагирует с соляной кислотой
Нефрит Силикат Ca, Mg, Fe Моноклинная	Зеленый, белый; просвечивающий до непрозрачного	6,5	2,96	1,62	Вязок. Занозистый излом. Цвет менее яркий, чем у жадеита
Опал $\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ Аморфный	<i>Огненный опал</i> — оранжевый. Редко иризирует <i>Белый опал</i> — иризация на светлом, просвечивающем фоне <i>Черный опал</i> — иризация на темном фоне <i>Водяной опал</i> — иризация внутри почти бесцветного камня	6 6 6 6	2,00 2,1 2,1 2,00	1,45 Изотропен 1,45 1,45 1,45	Содержит воду в различных количествах. Часто пористый, поэтому не рекомендуется испытывать в тяжелых жидкостях. У огненного опала при огранке площадку обычно делают выпуклой. Другие обрабатывают в форме кабошонов. Стр. 332
Хризолит (оливин) $2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ Ромбическая	Зеленый, коричневатый или желтовато-зеленый	6,5	3,34	1,67 0,036	Зеленые камни из района островов Красного моря, Аризоны и Бирмы содержат около 8% железа. Легко заметно раздвоение ребер задних граней. Стр. 357
Пирит $\text{FeS}_2$ Кубическая	Латуно-желтый с металлическим блеском; непрозрачный	6	4,9	—	В ювелирной торговле называется «марказит». В природе марказит — другой минерал. Используется в основном в дешевых ювелирных украшениях («золото дураков»). Стр. 386
Полевого шпата группа					Важная группа породообразующих минералов. Лишь лунный камень широко используется в ювелирном деле. Стр. 385
Ортоклаз $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ Моноклинная	Желтый ортоклаз	6	2,56	1,525 0,005	Желтый ортоклаз с Мадагаскара содержит железо
	<i>Лунный камень</i> — бесцветный с белым или голубоватым сиянием	6	2,57	1,53 0,005	Иногда с астеризмом или эффектом кошачьего глаза
Микроклин (тот же состав) Триклинная	<i>Амазонит</i> — голубовато-зеленый; просвечивающий до непрозрачного	6	2,56	1,531 0,008	Амазонит несколько похож на низкокачественную бирюзу. Стр. 385

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и дупреломление	Примечания и страницы основного текста
Плагиоклазы Алюмосиликаты Na и Ca Триклинная	<i>Альбит</i>	6	2,61	1,536 0,007	
	<i>Олигоклаз</i> — светло-желтый	6	2,64	1,545 0,007	
	<i>Лабрадор</i> — серый с иризацией	6	2,70	1,565 0,010	
	<i>Солнечный камень</i> — красноватый с блестками	6	2,64	1,54 0,009	
Пренит Силикат Ca, Al Ромбическая	Светло-зеленый или зеленовато-желтый; просвечивающий	6	2,87	1,63 0,030	Подделочный камень. Иногда похож на нефрит. Стр. 370
Родонит MnO · SiO <sub>2</sub> Триклинная	Розово-красный; просвечивающий	6	3,6	1,72 0,011	Пожоже на родохрозит, но имеет более высокую твердость. Типичны черные включения. Стр. 387
Родохрозит MnCO <sub>3</sub> Тригональная	Розово-красный до розового; просвечивающий	4	3,6	1,71 0,22	Красивый подделочный камень. Мягкий. Реагирует с соляной кислотой. Стр. 387
Сингалит Mg(Al, Fe) · BO <sub>4</sub> Ромбическая	Светло-желтый до темно-коричневого или зеленовато-коричневого	6,5	3,48	1,685 0,038	Ограниченные камни первоначально принимали за бурый хризолит, пока в 1952 г. не обнаружили, что это новый минерал. Назван по старому названию о. Шри Ланка, где был впервые найден. Отличается от хризолита по уд. в., n и спектру. Стр. 320
Скаполит Группа сложных силикатов Тетрагональная	Светло-желтый, прозрачный	6	2,70	1,57 0,021	Светло-желтые камни из Бразилии, переливчатые камни из Бирмы
	Розовый переливчатый Фиолетовый переливчатый	6	2,63	1,545 0,009	
Смитсонит ZnCO <sub>3</sub> Тригональная	Желтый или яблочно-зеленый; просвечивающий	5	4,35	1,73 0,23	Может походить на хризопраз или жадеит. Реагирует с соляной кислотой. Коммерческое название «бонамит». Стр. 368
Сподумен Li <sub>2</sub> O · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 4SiO <sub>2</sub> Моноклинная	<i>Кунцит</i> — сиреневый <i>Гидденит</i> — зеленый, также желтый	7	3,18	1,67 0,015	Совершенная спайность в двух направлениях, плеохроизм отчетливый или сильный. Ярко-зеленый гидденит окрашен хромом, очень редок
Сфалерит ZnS Кубическая	Коричневый, желтый, оранжевый, черный прозрачный до непрозрачного, зеленый	3,5	4,09	2,37 Нет	Замечательные цвет, блеск и «игра». Однако слишком низкая твердость, чтобы принимать и сохранять хорошую полировку. Совершенная спайность. Стр. 322
Сфен (титанит) CaO · TiO <sub>2</sub> · SiO <sub>2</sub> Моноклинная	Желтый, зеленый, коричневый	5,5	3,53	1,96 0,134	Редок. Высоко ценится, несмотря на низкую твердость, за замечательный вид ограненных камней. Дисперсия выше, чем у алмаза. Сильный плеохроизм и большое дп. Стр. 312
Топаз Фтор- или гидроксил-силикат алюминия Ромбическая	Бесцветный, голубой Желтый } Розовый } Оранжевый Коричневый	8	3,56 3,53	1,62 0,010 1,63 0,008	Желтый кварц не следует принимать за настоящий топаз. Совершенная спайность по пинакоиду. Розовые камни получают путем обжига коричневатого-желтого бразильского материала. Отчетливый дихроизм. Стр. 305

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и двупреломление	Примечания и страницы основного текста
Турмалин Сложный боросиликат Al, Mg, Fe, щелочных металлов и т. д. Тригональная	<i>Ахроит</i> — бесцветный <i>Рубеллит</i> — красный, розовый <i>Индиголит</i> — густой чернильно-синий, также зеленый, розовый, желтый, коричневый, черный и полихромный	7	3,05	1,63 0,018	Сильно дихроичен. Пироэлектрик. Цвет часто распределен по сегментам или концентрическим зонам. Камни красного цвета имеют более низкий уд. в., желтые и синие — более высокий, черные — наибольший. Отличается от топаза и андалузита большей величиной $d_p$
Фенакит $2\text{BeO} \cdot \text{SiO}_2$ Тригональная	Обычно бесцветный	7,5	2,96	1,662 0,016	Хорошо ограненные камни удивительно блестящи и серебристы
Фибролит $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ Ромбическая	Светло-голубой	7,5	3,25	1,665 0,019	п такой же, как и у эвклаза, и так же, как эвкраз, легко раскалывается по плоскостям спайности
Флюорит $\text{CaF}_2$ Кубическая	Фиолетовый, синий, зеленый, желтый, розовый бесцветный «Блу джон» или дербиширский шпат — массивный полосчатый	4	3,18	1,434 Изотропен	Совершенная спайность по октаэдру. Яркая флюоресценция в ультрафиолетовых лучах. Очень стабильные уд. в. и $p$
Халцедона группа (скрытокристаллический кварц)	<i>Халцедон</i> — однородный, серый <i>Карнеол</i> — красный <i>Хризопраз</i> — яблочно-зеленый	7	2,6	1,53 Небольшое $d_p$	Минералы группы халцедона полупрозрачны. Они могут быть окрашены в различные цвета. Из-за отсутствия места многие разновидности здесь не указаны. Стр. 329, 330
	Агат — концентрические полосы разных цветов <i>Оникс</i> — прямые полосы <i>Сардоникс</i> — красные и белые полосы				
Гамбергит Борат берилля Ромбическая	Бесцветный, прозрачный	7,5	2,35	1,587 0,072	Очень сильное двупреломление
Хризоберилл $\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ Ромбическая	<i>Александрит</i> — зеленый при дневном освещении, красный — при искусственном <i>Кошачий глаз</i> ( <i>цимофан</i> ) — зеленовато- или коричневатожелтый, полупрозрачный и переливчатый. Также желтый, зеленовато-желтый, бесцветный и коричневый	8,5 8,5	3,71 3,71	1,75 0,009 1,75 0,009	Уральские александриты лучше других изменяют цвет. Так называемые синтетические александриты являются обычно синтетическими корундом или шпинелью. Стр. 380 Переливчатый эффект присущ некоторым другим минералам, однако термин «кошачий глаз» (без дополнительных определений) означает переливчатый хризоберилл
Циркон $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$ Тетрагональная	Бесцветный, голубой, оранжевый, красный, желтый, золотисто-коричневый Зеленый или зеленых оттенков	7,5 6,5	4,69 4,0 до 4,5	1,95 0,059 1,79 и выше	Обожженные цирконы из Лаоса, Вьетнама и Таиланда имеют свойства нормального циркона, указанные здесь. Высокое $d_p$ является диагностическим признаком. Зеленые цирконы с о. Шри Ланка являются полуморфными и имеют более низкие и колеблющиеся константы. Дихроизм наблюдается только у голубых цирконов. Стр. 296

Название минерала, состав и сингония	Разновидности и цвет	Твердость по шкале Мооса	Удельный вес	Средний показатель преломления и дупреломление	Примечания и страницы основного текста
Цоизит (танзанит) Силикат Ca, Al Ромбическая	Синий, фиолетовый, коричневый Массивный зеленый Тулит — массивный розовый	6,5	3,35 3,28 3,10	1,695 0,009	Прозрачный голубой цоизит — новый драгоценный камень, пользующийся большим спросом. Массивный цоизит редко используется в ювелирном деле. Стр. 266
Шеелит CaWO <sub>4</sub> Тетрагональная	Бесцветный, желтый, оранжевый	5	От 5,9 до 6,1	1,93 0,017	В случае хорошей огранки похож на алмаз. Стр. 238
Шпинель MgO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Кубическая	Красная, розовая, светло-серая, синяя, темная зеленовато-синяя, красновато-фиолетовых оттенков	8	3,60	1,717 Изотропна	Чистая шпинель имеет уд. в. 3,58 и п 1,715. Различные торговые названия, такие, как «рубин-балэ», вводят в заблуждение и поэтому их не следует употреблять. Цейлониты содержат много железа, что приводит к повышению уд. в. и п. Стр. 359
	Цейлонит или плеонаст — черный, непрозрачный	8	3,8	1,78	
	Ганошпинель синих оттенков, содержит цинк в различных количествах	8	До 4,06	До 1,754	
Эвклаз Be(AlOH)SiO <sub>4</sub> Моноклиная	Светло-зеленый или голубой, иногда желтый, бесцветный	7,5	3,10	1,665 0,019	Очень легко раскалывается по спайности. Внешний вид и п почти такие же, как у фибrolита. Отличается от него меньшим уд. в.
Энстатит MgO·SiO <sub>2</sub> Ромбическая	Зеленый, иногда переливчатый	5,5	3,27	1,67 0,009	Встречается в ассоциации с алмазом и пиропом в районе Кимберли. Также известен в более крупных кусках, но менее красивого зеленого цвета в Бирме. Линия поглощения при 5060 А
Эпидот Силикат Ca, Al Моноклиная	Темный коричнево-зеленый	6,5	3,45	1,75 0,035	Цвет кристаллов обычно очень темный, поэтому ограненные камни непривлекательны. Сильно дихроичен. Характерный фисташково-зеленый цвет
Янтарь Углерод Аморфный	Балтийский — желтый Сицилийский — красновато-желтый Румынский — коричневый Бирманский — желтый до коричневого	2,5	1,08	1,54 Изотропен	Ископаемая смола. Часто содержит включения насекомых и др. Крошится под ножом. Плавится при 280 °С. Горит, издавая характерный запах. Стр. 389

## УДЕЛЬНЫЙ ВЕС ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ И ДРУГИХ ЮВЕЛИРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Копал	1,06	Жемчуг	2,75	Родонит	3,6
Янтарь	1,08	(культ.)		Родохрозит	3,6
Бакелит	1,26	Тальк	2,75	Шпинель	3,60
Панцирь чере- пахи	1,30	Бирюза	2,8	Таффеит	3,61
Эриноид	1,33	Лазурит	2,8	Шпинель (синт.)	3,63
Целлулоид	1,38	Бериллонит	2,82	Гессонит	3,65
Растительная кость	1,40	Жемчуг розо- вый	2,85	Бенитоит	3,67
Слоновая кость	1,8	Пренит	2,87	Кианит	3,68
Кость	2,0	Вердит	2,9	Ставролит	3,70
Огненный опал	2,00	Поллуцит	2,92	Пироп	3,7
Опал	2,1	Арагонит	2,94	Хризоберилл	3,71
Хризоколла	2,20	Датолит	2,95	Малахит	3,8
Кварцевое стек- ло	2,21	Фенацит	2,96	Плеонаст	3,8
Содалит	2,3	Нефрит	2,96	Демантоид	3,85
Гамбергит	2,35	Бразилианит	2,99	Анатаз	3,88
Петалит	2,39	Данбурит	3,00	Ганошпинель	до 3,97
Молдавит	2,35	Амблигонит	3,03	Корунд	3,99
Обсидиан	2,35	Турмалин	3,06	Пейнит	4,01
Лейцит	2,47	Лазулит	3,09	Виллемит	4,03
Варисцит	2,55	Эвклаз	3,10	Сфалерит	4,09
Амазонит	2,56	Цоизит	3,1	Циркон (зеле- ный)	4 ÷ 4,5
Ортоклаз	2,56	Андалузит	3,15	Альмандин	4,2
Лунный камень	2,57	Карборунд	3,17	Спессартин	4,16
Иолит	2,59	Флюорит	3,18	Рутил (синт.)	4,25
Бовенит	2,6	Сподумен	3,18	Смитсонит	4,35
Халцедон	2,6	Апатит	3,21	Барит	4,5
Скаполит розо- вый	2,63	Фибролит	3,25	Циркон (голу- бой и бес- цветный)	4,69
Солнечный ка- мень	2,64	Энстатит	3,27	Пирит	4,9
Кварц	2,65	Аксинит	3,28	Гематит	5,05
Изумруд	2,65	Эканит	3,28	Титанат строн- ция	5,13
(синт.)		Диопсид	3,29	Кубическая окись цирко- ния	5,6 ÷ ÷ 5,9
Коралл	2,68	Диоптаз	3,30	Шеелит	6,0
Аквамарин	2,69	Корнерупин	3,32	Касситерит	6,9
Берилл (жел- тый)	2,69	Жадеит	3,33	Серебро	10,5
Псевдофит	2,7	Хризолит	3,34	Палладий	11,3
Изумруд	2,71	Цоизит (голубой)	3,35	Золото 375 пр.	11,4
Лабрадор	2,70	Везувиян	3,38	Золото 583 пр.	13,93
Скаполит жел- тый	2,70	Роднит	3,40	Золото 750 пр.	15,4
Кальцит	2,71	Эпидот	3,45	Золото 916 пр.	17,7
Жемчуг (орен- таль)	2,71	Сингалит	3,48	Золото чистое	19,3
		Гроссуляр	3,5	Платина	21,5
		Алмаз	3,52		
		Сфен	3,53		
		Топаз (желтый)	3,53		
		Топаз (белый)	3,56		
		Периклаз (синт.)	3,59		

*Примечание.* В том случае, когда значение удельного веса варьирует более чем на одну или две единицы во втором после запятой знаке, дается лишь один знак после запятой.

# ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Минерал	Показатель преломления	Двупреломление	Минерал	Показатель преломления	Двупреломление
Флюорит	1,434	Нет	Эвклаз	1,652 1,672	0,020
Опал	1,45	Нет	Хризолит	1,654 1,690	0,036
Кварцевое стекло	1,46	Нет	Жадент	1,654 1,667	0,014
Содалит	1,48	Нет	Фенакит	1,656 1,671	0,015
Кальцит	1,486 1,658	0,172	Энстатит	1,663 1,673	0,010
Обсидиан	1,49	Нет	Бронзит	1,670 1,678	0,014
Молдавит	1,49	Нет	Фибролит	1,658 1,678	0,019
Лейцит	1,508 1,509	0,001	Аксинит	1,675 1,685	0,010
Петалит	1,504 1,516	0,012	Корнерупин	1,668 1,680	0,012
Ортоклаз желтый	1,522 1,527	0,005	Сподумен	1,663 1,678	0,015
Иолит	1,537 1,547	0,010	Диосид	1,672 1,702	0,030
Скаполит (розовый)	1,540 1,549	0,009	Сингалит	1,670 1,708	0,038
Олигоклаз	1,542 1,549	0,007	Цоизит	1,691 1,700	0,009
Кварц	1,544 1,553	0,009	Виллемит	1,691 1,719	0,018
Скаполит (желтый)	1,548 1,568	0,020	Везувиян (желтый)	1,705 1,710	0,005
Лабрадор	1,560 1,570	0,010	Кианит	1,715 1,732	0,016
Битовнит	1,564 1,574	0,010	Шпинель	1,715	Нет
Гамбергит	1,555 1,629	0,074	Таффеит	1,718 1,722	0,004
Изумруд (синт.)	1,560 1,563	0,003	Шпинель (синт.)	1,727	Нет
Аквамарин	1,570 1,575	0,005	Ганошпинель	до 1,75	Нет
Изумруд	1,579 1,585	0,006	Родонит	1,733 1,747	0,013
Морганит	1,58 1,59	0,008	Периклаз (синт.)	1,738	Нет
Эканит	1,597	Нет	Родохрозит	1,597 1,817	0,220
Анортит	1,574 1,589	0,015	Эпидот	1,736 1,770	0,034
Бразилианит	1,604 1,624	0,020	Хризоберилл (желтый)	1,745 1,754	0,009
Тремолит (зеленый)	1,601 1,642	0,040	Александрит	1,746 1,755	0,009
Амблигонит	1,612 1,638	0,026	Пироп	1,73 до 1,76	Нет
Топаз (белый)	1,61 1,62	0,010	Сапфир (белый)	1,760 1,768	0,008
Топаз (желтый)	1,630 1,638	0,008	Рубин	1,764 1,772	0,008
Турмалин	1,62 1,64	0,018	Бенитонт	1,755 1,802	0,047
Данбурит	1,630 1,636	0,006	Плеонаст (черный)	1,78	Нет
Апатит	1,634 1,637	0,003	Спессартин	1,78 до 1,80	Нет
Андалузит	1,634 1,644	0,010	Пейнит	1,787 1,816	0,020
Барит	1,636 1,648	0,012	Альмандин	1,76 до 1,81	Нет
Паргасит	1,628 1,651	0,023	Циркон (метамиктный)	1,79	Нет
Датолит	1,625 1,670	0,045	Ниобат лития	2,21 2,30	0,09
Иттрий-алюминиевый гранат	1,834	Нет	Сфалерит	2,37	Нет
Демантоид	1,888	Нет	Титанат стронция	2,41	Нет
Шеелит	1,920 1,937	0,017	Алмаз	2,418	Нет
Циркон (нормальный)	1,925 1,984	0,059	Анатаз	2,493 2,554	0,061
Сфен	1,900 2,020	0,120	Рутил (синт.)	2,610 2,897	0,287
Касситерит	2,002 2,100	0,098	Карборунд	2,65 2,69	0,043

# ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Название	Удельный вес	Средний показатель преломления	Двупреломление	Твердость по Моосу
Агат	2,6	1,54	0,004	7
Авантюриновый кварц	2,66	1,55	—	7
Азурит	3,8	1,76	0,110	3,5
Аквамарин	2,69	1,575	0,006	7,5
Александрит	3,71	1,75	0,009	8,5
Алмаз	3,515	2,418	—	10
Альбит	2,58	1,53	0,005	6
Альмандин	3,9—4,2	1,76—1,81	—	7,5
Иттрий-алюминиевый гранат	4,57	1,834	—	8
Амазонит	2,56	1,53	0,008	6
Аметист	2,65	1,55	0,009	7
Андалузит	3,15	1,64	0,010	7,5
Андалузит	3,20	1,64	0,003	5
Апатит	2,94	1,60	0,155	3,5
Арагонит	1,26	1,65	—	3
Бакелит	3,67	1,78	0,047	6,5
Бенитоит	2,7	1,58	0,006	7,5
Берилл	2,8	1,62	—	6
Бирюза	2,59	1,55	—	5,5
Бовенит	4,35	1,62	0,23	5
Бонамит (смитсонит)	2,99	1,612	0,021	5,5
Бразилианит	2,55	1,56	—	5
Варисцит	3,40	1,708	0,005	6,5
Везувин	2,6	1,60	0,027	2
Вивинанит	2,0	1,45	—	6
Водяной опал	1,33	1,66	—	2,5
Гагат	2,35	1,58	0,072	7,5
Гамбергит	5,1	3,0	—	6,5
Гематит	3,63	1,745	—	7
Гессонит	3,594	1,734	—	7
Гроссуляр (чистый)	3,00	1,633	0,006	7
Данбурит	2,95	1,65	0,044	5
Датолит	3,85	1,89	—	6,5
Демантоид	3,29	1,685	0,029	5
Диопсид	3,33	1,65	—	7
Жадеит	2,71	—	—	3
Жемчуг	2,84	—	—	3,5
Жемчуг (конх)	2,71	1,58	0,006	7,5
Изумруд	2,63	1,548	0,010	7
Иолит	3,33	1,70	—	5,5
Калифорнит	2,71	1,57	0,172	3
Кальцит	3,17	2,67	0,043	9,5
Карборунд	6,9	2,05	0,10	6,5
Касситерит	2,65	1,55	0,009	7
Кварц	2,21	1,46	—	6
Кварцевое стекло	3,68	1,725	0,017	5—7
Кианит	1,06	1,54	—	2
Копал (смола)	2,68	—	—	4
Коралл	3,32	1,67	0,013	6,5
Корнерупин	4,00	1,765	0,008	9
Корунд	2,66	1,54	0,004	7
Крокидолит	3,18	1,67	0,015	6,5
Кунцит	3,10	1,62	0,031	5,5
Лазулит	2,8	1,50	—	5,5
Лазурит	2,57	1,52	0,005	6
Лунный камень	3,8	1,78	0,025	4
Малахит	4,9	—	—	6
Марказит	—	—	—	—

Название	Удельный вес	Средний показатель преломления	Двупреломление	Твердость по Моосу
Молдавит	2,35	1,49	—	5
Нефрит	2,96	1,62	—	6
Ниобат лития	4,64	2,25	0,090	5,5
Обсидиан	2,35	1,49	—	5
Огненный опал	2,00	1,45	—	6
Одонтолит	3,1	—	—	5
Окись циркония (кубическая)	5,6—5,9	2,17	—	8,5
Оникс	2,6	1,535	0,004	7
Опал	2,1	1,45	—	6
Панцирь черепахи	1,29	1,55	—	3
Пейнит	4,01	1,80	0,029	8
Периклаз	3,59	—	—	6
Пирит	4,9	—	—	6
Пироп	3,7—3,9	1,73—1,76	—	7,5
Плеонаст	3,8	1,78	—	8
Пренит	2,87	1,63	0,016	6
Псевдофит	2,7	1,57	—	2,5
Родонит	3,6	1,73	0,014	6
Родохрозит	3,6	1,71	0,220	4
Рубин	3,99	1,765	0,008	9
Рутил	4,25	2,75	0,287	6
Сапфир	3,99	1,765	0,008	9
Сардер	2,61	1,535	0,004	7
Сердолик	2,64	1,53	0,004	7
Серпентин	2,6	1,56	—	5
Сингалит	3,48	1,686	0,038	6,5
Скаполит	2,70	1,555	0,020	6
Смитсонит	4,35	1,73	0,230	5,5
Спессартин	4,16	1,80	—	7
Сподумен	3,18	1,67	0,015	7
Сфалерит	4,09	2,37	—	3,5
Сфен	3,53	1,95	0,120	5
Таффеит	3,61	1,72	0,004	8
Тектит	2,4	1,49	—	5
Титанат стронция	5,13	2,41	—	5,5
Топаз	3,53	1,63	0,008	8
Турмалин	3,06	1,63	0,018	7,5
Уваровит	3,77	1,87	—	7,5
Фарфор	2,3	—	—	5,5
Фенакит	2,96	1,66	0,015	7,5
Фибролит	3,25	1,665	0,019	7,5
Флюорит	3,18	1,434	—	4
Халцедон	2,61	1,535	0,004	7
Хризоберилл	3,71	1,75	0,009	8
Хризоколла	2,1	1,5	—	2
Хризолит	3,34	1,67	0,036	6,5
Хризопраз	2,6	1,53	—	7
Хромдиопсид	3,30	1,68	0,030	5,5
Целлулоид	1,38	1,49	—	2
Циркон (нормальный)	4,69	1,95	0,059	7,5
Циркон (метамиктный)	4,0	1,79	—	6,5
Цоизит	3,35	1,695	0,010	6,5
Шеелит	6,1	1,926	0,017	5
Шпинель	3,60	1,715	—	8
Эвклаз	3,10	1,665	0,019	7,5
Эканит	3,28	1,597	—	6
Энстатит	3,27	1,67	0,010	5,5
Эпидот	3,40	1,75	0,035	6,5
Янтарь	1,08	1,54	—	2,5
Яшма	2,55	1,54	—	7

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Для тех, кто желает углубить свои знания в различных областях геммологии, могут оказаться полезными указанные ниже книги. Большинство из них может быть найдено в хороших справочных библиотеках или куплено в Геммологической ассоциации Великобритании (Gemological Association of Great Britain, Saint Dunstan's House, Carey Lane, London, EC2V 8AB).

Единственной книгой, затрагивающей те же вопросы, что и настоящая работа, является книга Ричарда Т. Лиддикота мл. Handbook of Gem Identification (G. I. A., 10th ed., 1975)<sup>1</sup>. Это — отличное и полезное руководство, новое издание которого существенно дополнено и переработано. Книга хорошо иллюстрирована и содержит серию прекрасных рисунков спектров поглощения, выполненных Ж. Р. Кроунингшилдом.

Полное современное описание, затрагивающее все аспекты геммологии в целом, читатель найдет в капитальном труде Роберта Вебстера (Gems. Their sources, descriptions and identification), выпущенном издательством Butterworth в 1962 г. в двух томах, а в 1970 и 1975 гг. — в виде переработанного однотомного издания.

Недавно появились две книги меньшего объема этого же автора, которые также могут быть рекомендованы: Practical Gemmology — краткий курс геммологии, который может быть использован для подготовки к экзаменам, и Gemmologist's Compendium. Последняя книга содержит словарь терминов, всевозможные таблицы и цветные рисунки спектров поглощения. Обе книги выпущены издательством N. A. G. Press.

Другая полезная работа по геммологии — книга Г. Смита Gemstones (Chapman and Hall, 1972)<sup>2</sup>. Впервые эта общеизвестная работа была опубликована в 1912 г.; уже после смерти автора, в 1972 г., вышло ее 14-е издание, тщательно переработанное доктором Ф. С. Филлипсом. До сих пор она считается классической работой; особенно хорошо написан раздел, посвященный описанию разновидностей драгоценных камней.

Тем, кто предпочитает более доступное изложение материала, может быть рекомендована более легкая для чтения и хорошо иллюстрированная книга автора Gemstones for Everyman (Faber and Faber, 1976). Замечательную работу Л. Дж. Спенсера A Key to Precious Stones (Blackie, 1946) сейчас уже трудно найти в продаже.

Читателям, интересующимся главным образом алмазами, рекомендуется обратиться к книге Diamonds Эрика Братона, выпущенной издательством N. A. G. Press в 1978 г. Это, по-видимому, единственная книга, в которой затронуты все аспекты данной проблемы. Ценным справочным пособием является словарь The Diamond Dictionary, опубликованный Американским геммологическим институтом (1660 Stewart Street, Santa Monica, California, 90404, USA). Недавно вышло новое издание этой книги.

Каждый геммолог должен иметь в своей библиотеке хорошую книгу по минералогии. Лучшей и наиболее полной является книга Дана Textbook of Mineralogy<sup>3</sup>, хотя она и издана более 40 лет назад. Кроме подробного описания опти-

<sup>1</sup> В 1981 г. вышло 11-е издание этой книги.

<sup>2</sup> Книга переведена на русский язык: Г. Смит. Драгоценные камни. — М.: Мир, 1980.

<sup>3</sup> Книга переведена на русский язык: Э. С. Дана. Описательная минералогия. — Л.-М.: ОНТИ, 1937.

ческих и физических свойств минералов, методов работы с поляризационным микроскопом и т. д. книга содержит подробное описание всех минералов, известных до 1932 г. Более современное описание минералов можно найти в книге Дира, Хауи и Зусманна *An Introduction to the Rock Forming Minerals* (Longman, London)<sup>1</sup>. Она выпущена в бумажном переплете и заслуживает того, чтобы ее иметь в своей библиотеке.

Учебник минералогии не лучший спутник, помогающий идентифицировать минералы в поле. В этом плане огромную популярность приобрела книга Ф. Х. Поу *A Field Guide to Rock and Minerals*. Она прекрасно иллюстрирована цветными и черно-белыми фотографиями и имеет небольшой формат.

Несмотря на то что ведущие руководства публикуются через достаточно частые интервалы времени, геммология развивается так быстро, что те, кто интересуется предметом всерьез, должны подписаться по крайней мере на один из специальных журналов, которые для продолжения издания нуждаются в постоянной поддержке.

Ежеквартальный журнал *The Journal of Gemmology*, издающийся Геммологической ассоциацией Великобритании, публикует оригинальные статьи, а также полезные разработки статей из других журналов. Американский геммологический институт (1660 Stewart Street, Santa Monica, California, 90404, USA) издает ежеквартально журнал *Gems and Gemmology*. Помимо оригинальных работ в нем публикуются ценные сообщения из двух лабораторий указанного института, касающиеся необычных материалов, встреченных при повседневных определениях. Ежемесячный журнал *The Lapidary Journal* (3564 Kettner Boulevard, San Diego, California) замечательно иллюстрирован, в том числе цветными рисунками, и содержит много статей по общей геммологии, а также по обработке цветных и драгоценных камней. Актуальные проблемы геммологии рассматриваются в еженедельнике *Retail Jeweller* (Northwood Publication Ltd, 49/50 Hatton Garden, London E.C.1).

## РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ПОСТАВЩИКИ

Геммологическая ассоциация Великобритании (*The Gemmological Association of Great Britain*, Saint Dunstan's House, 2 Carey Lane, London E.C.2) является современным поставщиком инструментов фирмы «Рейнер», а также располагает большим запасом геммологических инструментов и приборов, изготовленных другими фирмами. Кроме того, Ассоциация предоставляет книги и соответствующие справочные пособия по геммологии для подготовки к сдаче экзаменов.

Американский геммологический институт (*The Gemmological Institute of America*, 1660 Stewart Street, Santa Monica, California 90 404) также предоставляет книги, приборы, соответствующие пособия и т. д.

Фирма «Джемрокс» (*Gemrocks*, 7 Brunswick Centre, London, W.C.1) располагает замечательными кристаллами, необработанными драгоценными камнями, гранильным инструментом, книгами и т. д.

Фирма «Рафджемс» (*Roughgems Ltd*, Charterhouse Street, London).

<sup>1</sup> Книга переведена на русский язык: У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусманн. *Породообразующие минералы*. — М.: Мир, 1966.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Авантюрин 329, 433  
 Агальматолит 372  
 Агат 97, 324, 331, 439  
 — моховой 332  
 Азурит 387  
 Азуромалахит 387  
 Аквамарин 97, 204, 208, 288, 291, 308, 430  
 — голубой 208  
 — дублиеты 287, 288  
 — имитации из стекла 288  
 — синтетический 291  
 Аксинит 428  
 Алебастр 387  
 Александрит 136, 198, 281, 292, 294, 439  
 — синтетический 114, 155, 293, 294, 439  
 — эффект изменения окраски 293  
 Алмаз 16, 41, 75, 97, 98, 187, 226, 242, 320, 321, 428  
 — абсорбция 234  
 — бесцветный 187  
 — бурый 318  
 — включения 235  
 — двупреломление 233  
 — дисперсия 232  
 — дублиеты 168, 236, 240  
 — желтый 193, 244  
 — имитации 236  
 — канареечный 195  
 — капский 187, 222, 248, 249  
 — коричневый 244, 321  
 — облученный 245, 246  
 — розовый 221  
 — с измененной окраской 244  
 — синтетический 114, 150  
 — сырой 250  
 — твердость 228  
 — технический 221, 250  
 — типы 247, 248  
 — удельный вес 231  
 — «фантазийный» 194, 250  
 — флюоресценция 230  
 — формы природных кристаллов 227  
 Алмазные абразивные порошки 250—252  
 Алмазный блеск 226  
 «Алмазный карандаш» (Gem Diamond Pen) 244  
 «Алмазный шуп» (Diamond Probe) 243  
 Альбит 436  
 Альмандин 41, 75, 97, 190, 191, 264, 265, 339, 342, 351, 431  
 «Альнико» (Alnico), сплав 350  
 Амазонит 370, 372, 376, 435  
 Амброд 390  
 Американский геммологический институт (Gemmological Institute of America) 44, 100, 148, 244, 248, 449  
 Аметист 316, 324, 327, 433  
 — бледно-лиловый 314  
 — восточный 327  
 — тигровые включения 327, 328  
 Андалузит 41, 97, 204, 293, 294, 318, 320, 322, 429  
 Андрадит 339, 346, 431  
 Апатит 209, 211, 309, 310, 429  
 — желтый 197, 312  
 Апатитовый кошачий глаз 381  
 Арагонит 219  
 «Аралдит» (Araldite), эпоксидная смола 169  
 Асбест крокидолитовый 329  
 Астеризм 328, 383, 417  
 Атлас торговых описаний камней (Trade Description Act) 305  
 Ахроит 353, 438  
 Бадделейт 115, 153, 237  
 Бакелит 97, 318, 391—393  
 Бекке полоска 59  
 Бензол 92  
 Бенитоит 75, 203, 269, 274, 429  
 Берилл 41, 63, 75, 97, 267, 274, 276, 288, 309, 310, 381, 430  
 — желтый 307, 312  
 — Лехлейтнера с синтетическим изумрудным покрытием 143  
 — розовый 97, 314  
 — синий 267  
 — типа «машише» 208, 267, 290, 292  
 Бериллонит 75  
 Бильби слой 355  
 Бирмит 389  
 Бирюза 209, 374, 429  
 — американская 97, 429  
 — египетская 97, 374, 375, 429  
 — имитации 375, 376  
 — иранская 97, 375, 429  
 — костяная 376  
 — синтетическая Жильсона 114, 156, 375  
 — с пропиткой 376  
 Блестер-жемчуг 412  
 — культивированный 412  
 — природный 412  
 «Блу джон» 219, 438  
 Бовенит 370, 372  
 Бонамит 368, 372, 437  
 Боразон 229  
 Борт 235, 428  
 Бразилианит 75, 429  
 Бромеллит 159

- Бромистый этилен 54  
 Бромнафталин 75  
 Бромформ 54, 92
- Ванадий 175, 184, 186  
 Варисцит 376  
 Везувиан 199, 320, 322, 369, 430  
 Венгерский кошачий глаз 329, 382  
 Верд-антик (верде антих) 371  
 Вердит 371  
 Вернейля печь 120  
 Весы пружинные 91  
 — Ханемана 85, 90, 91  
 Виллемит 219  
 Вильямсит 370, 372  
 Виридин 204  
 Включения газообразные 116  
 — жидкие 116  
 — твердые 116  
 — тигровые в аметисте 327, 328  
 — типа «лошадиного хвоста» 303, 346  
 Волосатик 137, 329  
 «Волосы Венеры» 137, 329
- Гагат 394  
 Гадолиний-галлиевый гранат 51, 152, 236, 237, 242, 348  
 Газовые пузырьки 128, 129, 257  
 Галалит 391  
 Гамбергит 439  
 Ганит 360  
 Ганошпинель 268, 360, 440  
 Гаюин 377  
 Геданит 389  
 Гелиодор 312, 430  
 Гелиотроп 332  
 Гематит 97, 349, 351, 386, 415, 430  
 Геммологическая ассоциация Великобритании (Gemmological Association of Great Britain) 10, 97, 277, 448, 449  
 Гессонит 41, 97, 319, 320, 339, 344, 345, 351, 431  
 Гиалит 333  
 Гиалосидерит 357  
 Гиацинт 318, 319, 344  
 Гидденит 437  
 Гидрогроссуляр 199, 225, 345, 369, 372  
 Гипс 387  
 Говлит 376  
 Гониометр отражательный 71  
 Горный хрусталь 98, 324, 327, 433  
 Гортонолит 357  
 Граната группа 255, 339, 430  
 Гранаты красные 95, 263  
 — магнитность 349  
 — редкоземельные 11
- синтетические 340  
 — — редкоземельные 152  
 — смешанные разновидности 348  
 Графит 16  
 Гроссуляр 199, 339, 344, 370, 431  
 Гроссулярит, термин 343
- Даймонер 152  
 Данбурит 75, 309, 310, 431  
 — желтый 313  
 Датолит 431  
 Двупреломление 17, 39, 63—70, 418  
 — аномальное 68, 109  
 — определение с использованием поляризованного света 67  
 — полное 42  
 — структурное 44  
 Демантоид 41, 75, 97, 98, 152, 199, 202, 229, 237, 241, 242, 286, 303, 339, 346, 351, 357, 431  
 — зеленый 241  
 Джевалит 153  
 Диакон 392  
 Диамонеск 238  
 Дидим 186, 197, 211  
 Диопсид 349, 431  
 — звездчатый 384  
 Дисперсия 70—76, 418  
 Диспрозий 211  
 Дистрен 392  
 Дихроизм 70, 80, 418  
 Дихроит 269, 432  
 Дихроскоп 80  
 Дравит 352  
 Дублеты красные 264  
 — синие 255, 274
- Европий 288
- Жад 363  
 — китайский 363, 431  
 — новозеландский 363  
 — трансваальский 225, 344, 369  
 — штирийский 370  
 — юньнаньский 364  
 Жадентовые имитации 372  
 Жаргон 296, 319  
 Железо 175, 184, 185  
 Жемчуг 398, 432  
 — австралийский 410, 432  
 — бива (бива-ко) 410—412  
 — венесуэльский 401, 410, 432  
 — голубой 432  
 — имитации 398, 414  
 — клам 141  
 — конх 432  
 — крашенный 416

Жемчуг культивированный 97, 225,  
398, 401, 406, 407  
— — безъядерный 410  
— мабэ 412  
— определение 403, 405, 407  
— ориенталь 97, 401, 410, 432  
— пресноводный 410, 411, 432  
— — культивированный 225  
— — природный 225  
— природный 398, 407  
— розовый 97, 393, 413  
— структура 398  
— черный 415, 432  
— японский 413

### Золото 97

Игмеральд 140  
Идокраз 318  
Измеритель алмазов Левериджа 49,  
419  
Изумруд 79, 97, 198, 276, 286, 372,  
430  
— ванадиевый 149  
— включения 279  
— дублеты 168, 284  
— Жильсона 146  
— — типа N 149, 278  
— имитации из стекла 276, 284  
— индийский 278  
— колумбийский 279  
— Лехлейтнера 278, 283  
— — Мусо 278, 279  
— — Сандавана 278, 280, 282  
— — Хабахталь 278, 280, 281  
— — Чивор 278, 279  
— полупрозрачный 368  
— просвечивающий 371, 372  
— синтетический 114, 139, 143, 146,  
149, 277, 278, 281, 283, 278  
— танзанийский 281  
— трансваальский 280  
— уральский (сибирский, или рус-  
ский) 279, 280  
— фирмы «Линде» 278  
— Церфасса 146  
— Чэтема 9, 95, 140, 141  
Имитации из стекла 159  
Иммерсионная контактная фотогра-  
фия 55  
Иммерсионные методы 53, 59  
Индиголит 266, 269, 351, 353, 360, 438  
Индикаторы плотности Рейнера 96  
Иодистый метелен 47, 54, 92  
Иолит 209, 269, 274, 432  
Ионский камень 371  
Ископаемая кость 394  
Исландский шпат 63, 98

Иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ)  
51, 75, 114, 152, 211, 212, 230,  
231, 233, 236, 237, 242, 346, 348  
Иттрий-железистый гранат 152

Казеин 392  
Калифорнит 199, 225, 345, 369, 371,  
372, 430  
Кальцит 63, 98  
Камни бесцветные 187  
— гомокреатные 113  
— желтые 193, 305  
— звездчатые 383  
— зеленые 79, 198  
— искусственные 113  
— коричневые 318  
— красные 80, 188  
— Кэшана 132  
— Лехлейтнера 144  
— лиловые 314  
— оранжевые 193, 318  
— розовые 314  
— синие 79, 205  
— синтетические 112, 113, 422  
— сиреневые 314  
— Слюкума 164, 165  
— составные 267, 423  
— с покрытием 170  
— Чэтема 132  
Карат метрический 173  
Карбид бора 229  
— кремния (карборунд) 159, 220,  
229, 252  
Карбонадо 235, 428  
Карнеол 438  
Касситерит 75, 302, 318, 320, 321,  
432  
Каталин 391  
Каури 390  
Кварц 41, 63, 75, 97, 98, 149, 242,  
306, 310, 320, 324, 380, 433  
— авантюриновый 329, 371, 372  
— дублеты 284  
— дымчатый 433  
— желтый 306, 327  
— звездчатый 328  
— имитации из стекла 326  
— кристаллический 324  
— розовый 327, 384, 433  
— синтетический 114, 149  
— — синий 210  
— скрытокристаллический 324  
Кварцевое стекло 75  
Кварцевый кошачий глаз 202, 328,  
329, 380, 433  
— тигровый глаз 381, 433  
Кварцит 329  
Кварц-топаз 305  
Кернгорм 327, 433

- Кианит 268, 274, 433  
 Китайский кошачий глаз («раковина») 382  
 Клам-жемчуг 414  
 Клеричи жидкость 92  
 Клинохлор 370  
 Клиноцоизит 204  
 Кобальт 175, 184, 186  
 Коллекция драгоценных камней 24  
 — — — собрание 23  
 — — — хранение 27  
 Коннемарский мрамор 205, 371  
 Конхиолин 398  
 Копал 390, 392  
 Коппер-Уорлд, месторождение 387  
 Коралл 97, 393  
 — благородный (драгоценный) 393  
 Кордиерит 269, 432  
 Коричный камень 318, 344  
 Корнеол 332  
 Корнерупин 205, 381, 433  
 Корнерупиновый кошачий глаз 381  
 Корунд 41, 63, 75, 97, 121, 253, 310, 320, 433  
 — розовый 315, 316  
 — синтетический 98, 121—132, 293, 294, 314, 315  
 — — звездчатый 132  
 Кость гиппопотама 396  
 — кашалота 396  
 — моржа 396  
 — нарвала 396  
 — «растительная» 97, 396  
 Кровавик 332  
 Крокидолит 329, 382, 433  
 Крокидолит-асбест 329  
 Крон 163  
 Ксилонит 397  
 Кубическая окись циркония 12, 115, 153, 230, 231, 236, 237, 242  
 Кунцит 219, 314, 316, 317, 437
- Лаборатория «Белл телефон» (Bell Telephone Laboratory) 118, 148  
 — Кашана (Kashan Laboratory) 131, 263  
 — по исследованию алмазов концерна «Де Бирс» (de Beers Adamant Research Laboratory) 151, 296  
 — Чтема (Chatham Laboratory) 131  
 Лабрадор 312, 385, 436  
 Лазулит 377, 379, 434  
 Лазурит 97, 377, 434  
 — имитации 378  
 — синтетический 158, 379  
 — чилийский 379  
 — швейцарский (немецкий) 329, 377, 433
- Лампа дневного света «Бартон» (Burton) 215  
 — коротковолновая «Минералайт» (Mineralight) 127, 214, 272  
 — натриевая разрядная 38  
 Лауэ метод 405  
 Лешательерит 166  
 Лиддиокатит 352, 353  
 Линии поглощения 174  
 — роста 122—124  
 Лиобат 158, 159, 210, 233, 242  
 Лондонская диагностическая лаборатория (Gem Testing Laboratory) 14, 37, 47, 79, 148, 169, 180, 213, 214, 250, 402, 408  
 Лунный камень 97, 385, 435  
 — — голубой 330  
 — — черный 385  
 Лупа бинокулярная 23  
 — карманная 21, 22  
 Люминесценция, определение 213  
 Ляпис-лазурь 377
- Мабэ-жемчуг 413  
 Малахит 387, 437  
 Марганец 175, 184, 186  
 Марказит 386  
 Матура-алмаз (матара-алмаз) 296  
 Мау-сит-сит 371  
 Машины, рудник 208, 267, 268, 292  
 Медь 175, 184, 186  
 Международная ассоциация геммологов (N.A.G.) 277  
 — конфедерация торговли ювелирными изделиями (CIBJO) 277  
 Международный комитет по технической терминологии (International Committee on Technical Terminology) 113  
 Метод Бенсона 44, 45  
 — Бриджмена — Стокбергера 115  
 — Вернейля 113—115, 119, 131  
 — выращивания кристаллов из раствора в расплаве 115, 116, 131, 146, 147, 148, 262, 282, 284, 293  
 — «вытягивания» кристаллов из расплава (метод Чохральского) 115, 154, 159  
 — гидростатического взвешивания 85—91  
 — гидротермального выращивания кристаллов из щелочных водных растворов (гидротермальный метод) 116, 283  
 — дистанционного наблюдения 42  
 — зонной плавки 115  
 — кристаллизации в условиях высоких давлений 116  
 — Лауэ 405

- Метод Лехлейтнера 144—146, 283  
 — минимального отклонения 71  
 — определения плотности жидкости 89  
 — — показателя преломления неза-  
 крепленных камней 49  
 — плавления в пламени 115  
 — прямого измерения показателя пре-  
 ломления 47  
 — пятна 44  
 — скрещенных фильтров 214, 216  
 — тяжелых жидкостей 91  
 — Эспига 140  
 — яркой полосы 46
- Методы выращивания кристаллов из  
 расплава 115  
 — — — раствора 115  
 — — ювелирных кристаллов 115  
 — иммерсионные 53  
 — определения имитаций из стекла  
 160—162
- Метрический карат 173  
 Микролин 435  
 Микрометр 173  
 Микрон 173, 420  
 Микроскоп бинокулярный 103, 105  
 — «Зенит» 106  
 — модели «Грино» (Greenough) 106  
 — монокулярный Викакса 107  
 — поляризационный 68  
 — стереоскопический бинокулярный  
 Викакса 105  
 — стандартный 101, 102  
 Микрофотография 109  
 Миллимикрон 173, 420  
 Минералы аллохроматические 184,  
 417  
 — двуосные 65  
 — идиохроматические 184, 418  
 — одноосные 64
- Могок, район добычи драгоценных  
 камней 253
- Молдавит 166  
 Монобромбензол 54  
 Монобромнафталин 54, 93  
 Монооднафталин 54  
 Моноодобензол 54  
 Монохлорбензол 54  
 Монохроматический свет 38  
 Мооса шкала твердости 228  
 Морганит 144, 314, 316, 430  
 Моррион 327, 433  
 Морская кость 394—396  
 Мрамор декоративный 387  
 Муаровое погасание 134, 135  
 Мусо, месторождение 278, 279
- Нанометр 173, 420  
 Неодим 186, 197, 211, 301
- Нефрит 97, 363, 381, 434  
 — индийский 371  
 — новозеландский 366  
 — сибирский 366  
 Нефритовый кошачий глаз 366  
 Никель 175, 184  
 Ниобат лития (линобат) 158, 159,  
 210, 133, 242  
 Нитрат целлюлозы 391  
 Нитрид бора 229  
 Номенклатурный комитет Междуна-  
 родной конфедерации торговли  
 ювелирными изделиями (Nomen-  
 clature Committee of the CIBJO)  
 277
- «Облака» из мелких газовых пузырь-  
 ков 129, 130, 133  
 Обсидиан 97, 166  
 «Огневые метки» 125, 131  
 Одонтолит 376  
 Оливин 357  
 Олигоклаз 436  
 Оникс 331, 439  
 — мексиканский 387  
 — мраморный 387  
 — черный 332, 394  
 Опал 41, 97, 332, 435  
 — белый 335, 434  
 — — австралийский 336  
 — благородный 156, 333  
 — бразильский 336  
 — водяной (студенистый) 335, 434  
 — дублеты 168, 169, 336  
 — Жильсона 158, 335, 336  
 — игра цветов 335  
 — молочный 334  
 — облагораживание (улучшение)  
 337  
 — огненный 97, 193, 318, 320, 335,  
 434  
 — синтетический 114, 156, 335  
 — черный 335, 434  
 — «эссенс» 165  
 — ювелирный 335
- Определение камней с высоким по-  
 кажателем преломления 47  
 Оптическая ось 64, 420  
 Ортоклаз 330, 435  
 — желтый 196, 435  
 Отрицательные кристаллы 280, 281  
 Оуро-Прето, месторождение 305, 306  
 Офиокальцит 371
- Падпарадшах 193, 318  
 Пакет для хранения драгоценных  
 камней 24—26  
 Панцирь черепахи 97, 392, 393



- Сапфир синтетический оранжевый 193  
 — цейлонский 188, 205  
 Сард 331  
 Сардоникс 331, 439  
 Светлопреломление 29  
 Свилы 161  
 Секция драгоценных камней Лондонской торговой палаты (Precious Stone Section of the London Chamber of Commerce) 277  
 Селадонит 332  
 Селенит 388  
 Сердолик 97, 324, 332  
 Серебро 97  
 Серпентин 370  
 Симегит 389  
 Сингалит 9, 97, 197, 202, 301, 318, 320, 351, 358, 436  
 Синтетические драгоценные камни 112  
 Системы (сингонии) кристаллов 17, 424—426  
 Скаполит 75, 219, 381, 437  
 Слокума камни 12, 164, 165, 338  
 Слоновая кость 97, 394, 395  
 — — африканская 396  
 — — имитации 397  
 Смитсонит 368, 372, 437  
 Смолы искусственные 391  
 Совок для работы с драгоценными камнями 21  
 Содалит 377, 379  
 Соколиный глаз 329  
 Солнечный камень 385, 436  
 Соссюрит 371, 372  
 Спектрометр настольный 71  
 Спектроскоп 78, 178, 423  
 — «Вейвленф» (Wavelength) 182  
 — обратный Хартриджа 177  
 — призмный 173  
 — — фирмы «Бек» 176, 181, 182  
 — прямого наблюдения 174  
 — с дифракционной решеткой 173  
 — фирмы «Рейнер» 176, 182  
 — — «Цейс» 181  
 — «Хартридж» (Hartridge) 182  
 Спектроскопическая установка «Калт-лихт» (Kaltlicht) 180  
 Спектры редкоземельных элементов 211  
 Спессартин 41, 75, 197, 318—320, 339, 343, 351, 431  
 — оранжевый 193  
 Спессартит 343  
 Сподумен 41, 63, 75, 97, 437  
 — желтый 197  
 — сиреневый 314  
 Сталагмитовый мрамор 387  
 Стекло авантюриновое 329  
 — — синее 378  
 — берилловое 164, 284, 286, 291  
 — боросиликатное 163  
 — кальциевое 163  
 — канареечное 219  
 — кварцевое 166  
 — кобальтовое 210  
 — красное 264  
 — Крукса 341  
 — опаловое 338  
 — природное 165—167  
 — свинцовое 163  
 — синее 274, 384  
 — черное 394  
 «Стрелы Амура» 137  
 Сукцинит 389  
 Сфалерит 75, 98, 237, 239, 318, 320, 322, 437  
 Сфен 41, 63, 75, 97, 229, 237, 421, 242, 301, 318—320, 348, 437  
 — желтый 241, 312  
 — коричневый 241  
 Тангиван 370  
 Танзанит 13, 20, 83, 210, 266, 267, 440  
 Таффеит 320  
 Тектиты 166  
 Термофлуоресценция 213  
 Тигровый глаз 329  
 Тикис 333  
 Типы излучения для возбуждения флуоресценции 213  
 Титан 175, 184  
 Титанат стронция 9, 75, 114, 138, 229, 231, 236, 240, 242  
 Толуол 54, 92  
 Топаз 41, 63, 75, 97, 98, 242, 264, 265, 267, 277, 291, 305, 310, 320, 437  
 — бразильский 305  
 — голубой 288  
 — драгоценный 305  
 — дымчатый 305, 327  
 — желтый 219  
 — оранжевый 193  
 — розовый 192, 305, 314, 316, 317  
 — синий 267  
 Топаз-кварц 305  
 Топазовые пасты 308  
 Топазолит 431  
 Трансваальский жад 225, 344, 369  
 Тремолитовый кошачий глаз 366, 381  
 Триллиумит 13  
 Тулит 440  
 Турмалин 41, 63, 75, 97, 98, 209, 255, 263, 264, 274, 285, 286, 310, 317, 318, 320, 321, 352, 381, 438  
 — бесцветный 353  
 — желтый 307, 312

- Турмалин зеленый 204, 285, 351  
 — коричневый 321  
 — красный 192  
 — розовый 308, 314, 316  
 — синий 269  
 — темно-зеленый 351  
 Турмалиновые щипцы 355  
 Тяжеловес 305, 327
- Уваровит 339  
 Увит 352  
 Угол критический 31  
 — падения 29, 30  
 — преломления 29, 30  
 Уграндиты 339  
 Уран 186
- Фабулит 138  
 Фаялит 357, 358  
 Фенакит 75, 142, 278, 281, 438  
 Фенилдинодоарсин 54  
 Феррогортонолит 357  
 Фианит 115, 237, 238  
 Фибролит 438, 440  
 Фильтр Вуда 214  
 — Чанса  $Ox_7$  214, 215, 247  
 — Челси 78, 135, 424  
 Флинт 163  
 Флооресценция 213  
 — красная 216  
 — методика скрещенных фильтров 216  
 — под действием длинноволнового ультрафиолетового света 218  
 — — — коротковолнового ультрафиолетового света 223  
 — — — рентгеновских лучей 224  
 Флюорит 41, 75, 97, 204, 285, 286, 372, 438  
 — «блу джон» (дербширский шпат) 219, 438  
 — изумрудно-зеленый 285  
 — просвечивающий 371, 372  
 — синтетический 114  
 Форстерит 357  
 Фосфоресценция, определение 213  
 Франклин-Фернес, месторождение 219  
 Фраунгоферовы линии 174  
 Фуксит 329
- Хабахталь, месторождение 278, 280, 281  
 Халледон 97, 199, 324, 329, 372, 438  
 — хромовый 199, 331, 368  
 Ханнемана шкала 51  
 Хиастолит 429  
 Хризоберилл 41, 63, 75, 97, 98, 136, 292, 309, 310, 318—321, 380, 439  
 — желтый 196, 307, 311  
 — зеленый 201  
 — коричневый 321  
 Хризоберилловый кошачий глаз 202, 380, 439  
 Хризокolla 377, 388  
 Хризолит 41, 63, 75, 97, 98, 202, 286, 303, 312, 346, 348, 351, 357, 358, 435  
 — аризонский 358  
 — коричневый 320  
 — уральский 357  
 Хризопраз 199, 325, 330, 331, 368, 438  
 Хром 175, 184, 185, 276  
 Хромдиопсид 202, 381
- Цаворит (цаволит) 346  
 Цвет драгоценных камней 77  
 Цейлонит 440  
 Целлон 391, 392  
 Целлулоид 97, 391—393, 397  
 Цимофан 439  
 Циркон 41, 63, 75, 97, 203, 209, 229, 242, 264, 265, 286, 291, 296, 308, 310, 318—320, 439  
 — белый 187  
 — бесцветный 236, 238  
 — бирманский 297  
 — высокий 203  
 — голубой 288, 298  
 — желтый 196, 312  
 — зеленый 286, 347  
 — красный 192  
 — низкий 203  
 — метамиктный 298—300  
 — определение 301—304  
 — показатель преломления 95  
 — цейлонский 203, 296, 297  
 Цирконовая огранка 297  
 Цитрин 306, 324, 327, 433  
 Цоизит 41, 97, 210, 266, 274, 440
- Шеелит 75, 223, 237—239, 242, 320, 322  
 Шелк 125, 132, 257, 424  
 Шерл 352  
 Шпатель 41, 75, 97, 188, 255, 274, 316, 342, 359, 440  
 — бледно-лиловая 314  
 — красная 189, 263, 341  
 — синтетическая 97, 113, 121, 132, 135, 136, 242, 264, 274, 288, 291, 293, 294, 314—317, 378  
 — — бесцветная 236, 240  
 — — голубая 288, 304, 362  
 — — дублеты 284  
 — — красная 361  
 — — синяя 210  
 — — спеченная 378  
 — — синяя 95, 207, 266, 268

- Щелевой осветитель Ханнемана —  
Ходжкинсона 66
- Эбонит 394  
Эвклаз 440  
Эканит 106, 299  
«Эклипс» (Eclipse), магнит 350  
Элатский камень 388, 416  
Элементы-хромофоры (переходные)  
77, 130, 175, 184, 186, 276, 345,  
421  
Эльбаит 352, 353  
Эмерит 143  
Эндоскоп 402  
Энстатит 202, 381, 441  
Эпидот 204, 351, 441  
Эрбий 211  
Эриноид 97, 391, 393  
Эффект звездчатый (астеризм) 383
- зонтика 245  
— изменения окраски 293  
— Керенца 354  
— клаузонэ 338  
— кожи ящерицы 157, 158, 336  
— кошачьего глаза 380, 421  
— магнитного притяжения 350  
— оргáнной трубы 189  
— раздвоения 65, 70  
— шелковистости 381
- Янтарь 96, 97, 389, 392, 441  
— балтийский 389, 441  
— бирманский 389, 441  
— прессованный 390  
— румынский 389, 441  
— сицилийский 389, 441  
— стеклянные имитации 393  
Яшма 329, 433

3891