

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра «Технология обработки материалов»

549(07)  
К964

Г.М. Кушнарев

# **КАМНЕСАМОЦВЕТНОЕ СЫРЬЕ**

Учебное пособие

Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2007

УДК 549.091(075.8) + 553.8(075.8)  
К964

*Одобрено*  
*учебно-методической комиссией филиала в г. Кыштыме*

*Рецензенты:*  
В. Г. Кузьмин, А. Г. Сырейщиков

**Кушнарев, Г.М.**

К964 Камнесамоцветное сырье: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007.– 119 с.

В учебном пособии приводится классификация камнесамоцветного сырья. Дается краткая характеристика наиболее распространенных минералов, используемых в качестве камнесамоцветного сырья для декоративно-прикладного искусства, декоративно-облицовочных изделий и в коллекционном деле.

Даются области применения и технические требования промышленности к качеству камнесамоцветного сырья. Методика оценки декоративности сырья приводится с использованием рекомендаций ВИМС «Оценка полируемости и декоративности природных облицовочных камней при поисках и разведке месторождений» (1982).

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 261001 «Технология художественной обработки материалов».

УДК 549.091(075.8) + 553.8(075.8)

© Издательство ЮУрГУ, 2007

*Природа нравится, влечет к себе и воодушевляет только потому, что она естественна.*  
*Вильгельм фон Гумбольдт*

## **Введение**

Как-то, обращаясь к молодежи, академик А.П. Карпинский сказал: «Не упускаете же случая наблюдать природу, накапливайте с детства мелкие наблюдения. Это даст со временем большой естественноисторический опыт, который оказывает вам помощь независимо от того, как складывается наша дальнейшая жизнь, и какую специальность мы выберем». И люди неравнодушны к природе, особенно, если они живут на Урале. Урал – это кладовая Природы. За счет этих кладов мы живем. Называются эти кладовые месторождениями полезных ископаемых, которые использовали люди более десяти тысяч лет.

Среди них есть особенные, доставляющие особую радость людям, – это удивительные по своей красоте, разнообразию и загадочностью минералы, драгоценные камни и самоцветы. Любое природное соединение, обладающее прозрачностью, чистотой цвета, красиво окрашенное или бесцветное, обладающее естественной окраской, необычной формой и твердостью, может быть названо драгоценным камнем. Драгоценных камней мало на земле по сравнению с большим объемом горных пород и минералов, которые нас окружают.

Удивительно и то, что для рождения минерала нужны миллионы лет, особые условия в земной коре и особое сочетание химических элементов, его образующих.

Если драгоценные камни радуют наши глаза и греют душу, то многие рядовые горные породы и минералы приносят людям огромную пользу, участвуя в технологических процессах получения горючего, металлов и неметаллов, строительных и композиционных материалов. Они сыграли ключевую роль в развитии цивилизации, промышленности и вообще в развитии человеческого общества.

Археологические раскопки свидетельствуют о том, что многие столетия назад все цивилизации расценивали цветные камни как украшения или атрибуты культового поклонения. Несмотря на исключительную твердость некоторых минералов и горных пород древние мастера изготавливали из них самые разнообразные предметы от крупных до миниатюрных, со сложной резьбой и ювелирной отделкой. В настоящее время камни находят применение в технике и строительстве.

В минералогических поисках зафиксировано около шести тысяч минеральных видов. В данном учебном пособии описываются минеральные образования, наиболее часто применяемые в качестве камнесамоцветного сырья для художественной обработки и коллекционирования.

## **1. Камнесамоцветное сырье России для изделий декоративно-прикладного искусства**

Своеобразие камнесамоцветного сырья как полезного ископаемого обуславливают непостоянство требований, предъявляемых к ювелирным и камнерезным производствам, к их качеству. В России требования, предъявляемые к камням в сырье, определяются стандартами и техническими условиями (рис. 1). Однако во избежание догматического подхода и потерь ценнейшего сырья требуется индивидуальный подход к каждому виду и образцу.

Классификация цветных камней, добываемых в России, по области их применения недостаточно четко разработана, особенно в настоящее время, когда камень все шире применяется в различных областях промышленности для ювелирных, декоративных и технических целей.

При создании изделий декоративно-прикладного искусства, в частности ювелирных, тот же камень в зависимости от воплощения его в художественное произведение имеет различную художественную ценность. Например, художественная ценность изделия (кольца, броши) будет зависеть от цвета и рисунка каменной вставки в сочетании с металлической оправой.

В современном ювелирном и камнеобрабатывающем производстве используется около ста разновидностей камнесамоцветного сырья. Их ценность помимо декоративно-художественных качеств зависит от прочности, обуславливающей долговечность камня, и редкости его нахождения в природе, а в ряде случаев от моды. Действующие в настоящее время стандарты делят камнесамоцветное сырье на две группы – ювелирные (драгоценные или ограночные) и поделочные. Е.А. Киевленко выделил еще промежуточную группу ювелирно-поделочных камней [4].

Классификация драгоценных и цветных камней была предложена А.Е. Ферсманом в 1952 г. Все минералы он разделил на две большие группы: А – ограночный материал – самоцветы и Б – поделочный материал – цветные камни. В основу классификации положено такое свойство материала, как твердость. Именно от этого свойства камня зависят способы и приемы их обработки.

Группа А содержит три порядка. Первый: алмаз, рубин, сапфир, изумруд, александрит, хризоберилл, благородная шпинель. Второй: аквамарин, топаз, турмалин красный, берилл, аметист, альмандин, уваровит, гиацинт, благородный опал, циркон. Третий: гранат (не вошедший во второй порядок), кианит, диопраз, турмалин зеленый и полихромный, горный хрусталь, дымчатый кварц, аметист светлый, халцедон, агат, сердолик, гелиотроп, хризопраз, полуопал, солнечный камень, лунный камень, лабрадор, обсидиан, гагат, гематит, рутил и др.

Группа Б содержит четыре порядка. Первый: нефрит, лазурит, амазонит, лабрадор, содалит, орлец (родонит), малахит, авантюрин, кварц, агат и его разновидности, яшма, розовый кварц. Второй: лепидолит, серпентин, стеатит, обсидиан, мраморный оникс, флюорит, каменная соль. Третий: селенит, мрамор, порфиры, кварциты и др. Четвертый: жемчуг, коралл, янтарь, гагат.

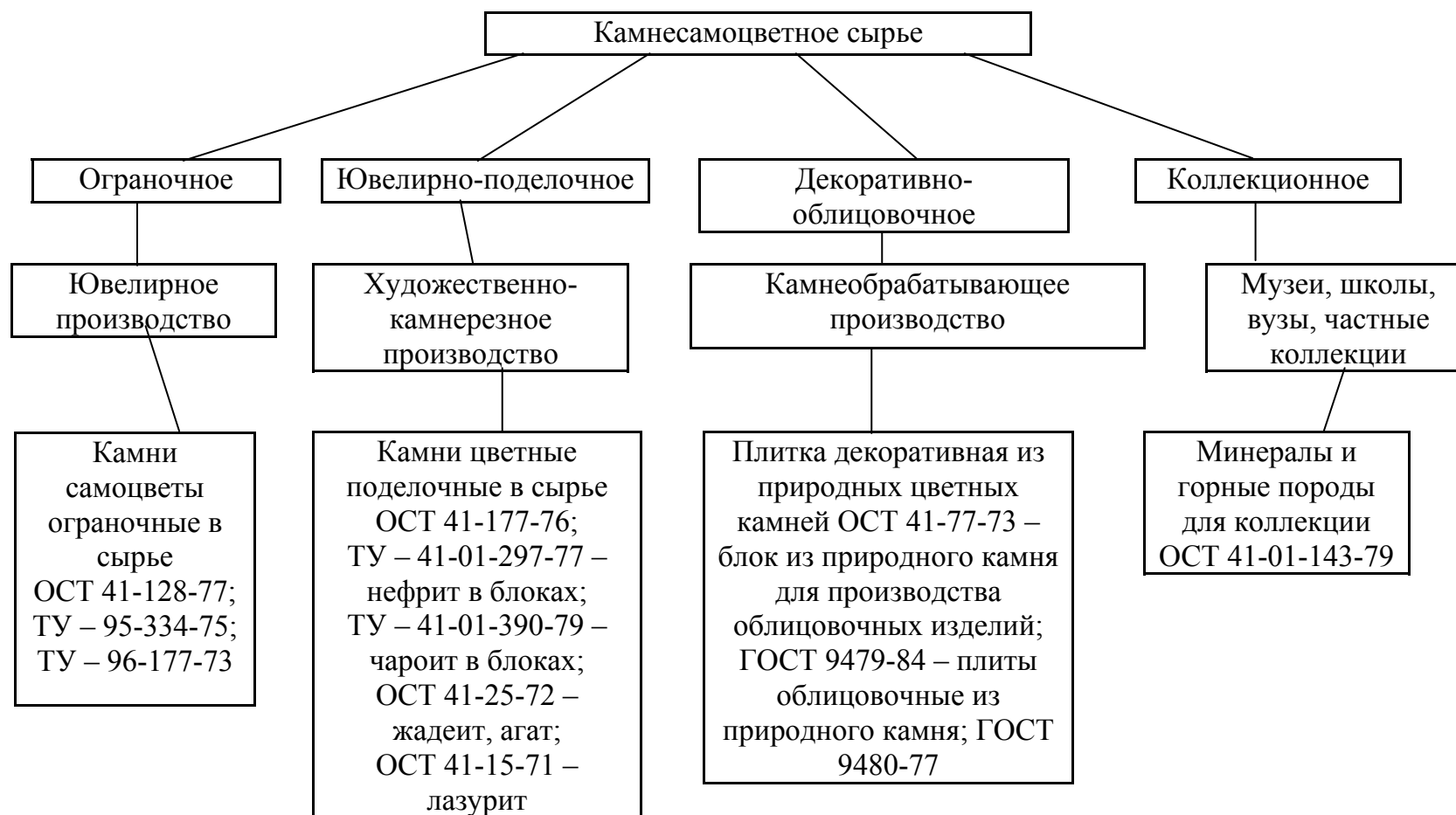


Рис. 1. – Классификация камнесамоцветного сырья по его использованию

Для художественной обработки камня наиболее удобна классификация минералов и горных пород, используемых в качестве ограночного и ювелирно-поделочного сырья; разделение этих минералов и их агрегатов производится по твердости с использованием шкалы Ф. Мооса (табл. 1). Группы, выделенные по твердости, различаются и по технологии их обработки.

Мягкие породы (твердость 1 – 3) обрабатываются режущими инструментами, изготовленными из инструментальных сталей, и абразивными инструментами из природных материалов.

Средние по твердости породы (3 – 5) обрабатывают твердосплавными, абразивными и алмазными инструментами. Абразивные инструменты изготавливают из искусственных материалов.

Твердые породы камня обрабатывают абразивными (карбид бора, карбид кремния, электрокорунд) или алмазными инструментами и пастами.

## **1.1. Ограночное сырье**

В эту группу собственно ювелирных камней выделены лишь те прозрачные минералы (кристаллы и их сростки), которые обладают красивой окраской, ярким блеском, цветовой игрой, высокой твердостью и химической устойчивостью. Ювелирные камни, как правило, используются в виде ограненных вставок в конструктивном сочетании с драгоценным металлом. Традиционной формой огранки прозрачных камней является изобретенная в 15 – 16 вв. фасетная огранка. Ограночное сырье свои свойства проявляет на малых поверхностях. Объективно оценить ювелирный камень в сырье сложно. Стоимость его обычно определяется после огранки. За единицу измерения ограночного сырья (собственно ювелирных камней) применяют метрический карат (в прошлом вес семени рожкового дерева). Карат соответствует 200 мг.

Далее приводится краткая характеристика наиболее распространенных минералов для ограночного сырья, области их применения и технические требования к качеству.

### **1.1.1. Рубин и сапфир**

Рубин и сапфир – прозрачные драгоценные разновидности корунда. Их названия происходят от латинских слов “ruber” и “sapphirus”, означающих “красный” и “синий” соответственно. На Руси они назывались красным и синим яхонтом.

В настоящее время рубином принято именовать благородные корунды красной окраски – от светло-красной до малиново-красной, а сапфиром – синие и другие и других расцветок. Поэтому название “сапфир” сопровождают указанием цвета минерала (сапфир синий, голубовато-зеленый и т.д.).

Корунд принадлежит классу простых окислов. Его состав  $Al_2O_3$  с примесью железа, титана, хрома, ванадия и др. Состав драгоценного корунда приводится в табл. 2. Оригинальная окраска благородного корунда обусловлена

Таблица 1

Классификация основных разновидностей камнесамоцветного сырья

Генетическая форма	Классы по твердости				
	высш. (10)	(7,5–9,0)	(6,5–7,5)	(5,0–6,5)	(4 и менее)
Прозрачные кристаллы	Алмаз	Ограночное сырье			
		Рубин, сапфир, хризоберилл, александрит, аквамарин, гошенит, гелиодор, изумруд, цейлонит, фенакит, воробьевит, гошенит, берилл (св. зел), топаз	Циркон, гиацинт, турмалин, рубеллит, дравит, верденит, индиголит, шерл, данбурит, пироп, демантоид, альмандин, спессартин,grossуляр, гессонит, топазолит, эвклаз, кордиерит, сподумен, аметист, цитрин, дымчатый кварц, горный хрусталь, хризолит, андалузит, аксинит, эпидот	Скаполит, клиногумит, хромдиопсид, диопраз, титанит, апатит, бериллонит, санидин, диопсид, да толит, шеелит, бразилианит	Сфалерит
Отделочные кристаллы (и с включениями)		Ювелирно-поделочное сырье			
		Астерорубин, астеросапфир, иризирующие рубин и сапфир, цимофан	Кварц-волосатик, лунный камень, кварц-авантюрин	Хризоберилловый кошачий глаз	Лабрадор, пирит, авантюриновый полевой шпат, энстатитовый кошачий глаз, астероэнстатит

Генетическая форма	Классы по твердости				
	высш (10)	(7,5–9,0)	(6,5–7,5)	(5,0–6,5)	(4 и менее)
Ювелирно-поделочное сырье					
Друзы			Щетки уваровита, щетки аметиста, щетки кварца		
Агрегаты минералов (породы)			Жадеит, хризопраз, аметистовидный кварц, розовый кварц, периливт, халцедон цв., агат, празен, сердолик, сардер, сардоникс, окаменелое дерево, (халцедоновое), кахолонг, соколиный глаз, тигровый глаз, криptomелан, гидрогроссуляр, везувианит, авантюриновый кварцит, льдистый кварц, яшма, роговик, джеспилит, графический пегматит, рисунчатый кремень, хлормеланит, ирпимит	Опал благородный, бирюза, гематиткровоавик, нефрит, чароит, родонит (орлец), обсидиан, ксонолит, амазонит, тулит, лазурит, содалит, виолан, легровит, окаменелое дерево (опаловое), беломорит, лиственит, волластонит, Геденбергитовый скамп, цветные полуопалы	Жемчуг, благородный коралл, хризолла, улексит, варисцит, янтарь, малахит, азурит, перламутр, оникс, родохрозит, флюорит, змеевик, нефритоид, офиокальцит, цветной мрамор, хлорит, талькохлорит, стеатит, алунит, агальматолит, гипсселенит, гагат, ангидрит, брусит

присутствием в его кристаллической решетке изоморфных присадок, образующих хромофорные центры. Так, красная окраска рубина связана с наличием ионов  $\text{Cr}^{3+}$ , изоморфно замещающих  $\text{Al}^{3+}$  в шестерной координации. В рубинах его содержание варьирует от 0,1 до 4 %. В лучших из них (цвета голубиной крови из Бирмы) присутствует до 2 %  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .



Наличие в рубине других примесей придает минералу самые различные оттенки. Красно-фиолетовый цвет, например, связан с присутствием ионов  $V^{3+}$ , а пурпурный  $Fe^{3+}$ . Синяя окраска сапфира вызвана ионами  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$  и парами ионов  $Fe^{2+}-Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}-Fe^{3+}$ , а зеленая ионами  $Fe^{2+}$  и повышенной концентрацией пар ионов  $Fe^{3+}-Fe^{3+}$ . Возможно у некоторых синих сапфиров окраска связана с ионами  $Fe^{2+}$  и  $Ti^{4+}$  [4].

Таблица 2

Химический состав рубина и сапфира (вес. %)

Компо- ненты	Рубин				Сапфир		
	светло- красный (Бирма)	женно- красный (Бирма)	женно- красный (Полярный Урал)	красный (Средний Урал)	голубой (Австра- лия)	светло- голубой (Австра- лия)	голубовато- зеленый (Австра- лия)
$SiO_2$	0,14	0,54	0,03	—	0,08	0,16	1,30
$TiO_2$	—	—	0,39	0,56	0,18	0,05	0,01
$ZrO_2$	—	—	—	—	0,02	следы	2,20
$Al_2O_3$	98,80	97,50	92,04	98,57	96,40	96,90	93,30
$Cr_2O_3$	0,94	1,81	3,72	0,66	0,02	0,02	0,02
$Fe_2O_3$	0,01	0,02	2,86	—	1,00	1,00	1,00
$FeO$	—	—	—	0,21	—	—	—
$V_2O_3$	0,03	0,06	0,06	—	—	—	—
$NiO$	—	—	—	—	—	—	—
$MnO$	—	—	—	—	0,02	0,02	0,02
$MgO$	0,02	0,03	—	—	0,05	0,05	0,05
$CaO$	—	—	—	—	0,05	0,05	0,05
$CuO$	0,002	0,002	—	—	—	—	—
$CdO$	0,017	0,035	—	—	—	—	—
$MoO_3$	0,005	0,012	—	—	—	—	—

Рубины и сапфиры, обладающие оптическим эффектом шестилучевой звезды, благодаря отражению света от микроскопических включений, главным образом, рутила, называются астериксами. Эти включения располагаются в плоскости, параллельной пинакoidу, в трех направлениях под углом  $120^\circ$  друг к другу. Когда они закономерно ориентированы только по одному направлению, в сапфирах и рубинах проявляются лишь шелковистые золотисто-зеленые переливы, напоминающие радужную оболочку кошачьего глаза. Такие камни получили название рубин или сапфир – кошачий глаз.

Корунд образует формы в дитргоонально-скаленоэндрической симметрии тригональной сингонии. Для рубина характерны призматическая или таблитчатая

форма кристаллов, реже встречается бипирамидальная. Кристаллы сапфира разнообразные по габитусу (лат. *habitus* – облик): бипирамидальные, пирамидальные, бочковидные, ограниченные пинакоидом, пластинчатые, ромбоэдрические [4].

Поверхности боковых граней кристаллов рубина и сапфира ровные или ступенчатые, покрытые штрихами. Спайность отсутствует, но вследствие полисинтетического двойникования в той или иной степени проявлена отдельность по ромбоэдру или пинакоиду. Излом минерала от неровного до раковистого, блеск стеклянный, яркий, напоминающий алмазный. Твердость корунда 9 (по Моосу), уступает только алмазу. Плотность благородных корундов колеблется в пределах 3,960...3,997. Минерал оптически одноосный, отрицательный;  $N_e = 1,767$ ,  $N_o = 1,779$ .

Рубины и цветные сапфиры обладают плеохроизмом; схема абсорбции  $N_o > N_e$ . Способность к плеохроизму не сильно выражена, но иногда, особенно у густоокрашенных камней, плеохроизм бывает отчетливым и должен учитываться при обработке камня. С целью некоторого усиления бледной или ослабления темной окраски его ориентируют определенным образом: в первом случае плоская грань камня вырезается параллельно пинакоиду, а во-втором – перпендикулярно к нему.

Уральский ученый-металлург П.П. Аносов в статье «Об уральском корунде» отметил ценный исторический факт: «Корунд открыт в Уральских горах в 1823 году близ Кыштымского завода, принадлежащего наследникам заводчика Расторгуева, во время пребывания в сем заводе сенатора В.Ю. Сойманова. Сопровождающий его в путешествии по Сибири известный профессор Казанского университета К.Ф. Фукс, пересматривая отвалы Борзовского золотого рудника, лежащего от завода к северо-западу в 13 верстах, заметил между различными горными породами, составляющими отвалы, угловатые кусочки белого полевого шпата с вкрапленными небольшими кристаллами синевато- черного цвета. При внимательном рассмотрении оных Г. Фукс признал их за корунд. Открытие в Уральских горах ископаемого, которого месторождение до сего времени исключительно принадлежало Китаю, Бенгалам, Цейлону подало повод Г. Фуку представить его Сойманову под именем сойманит. Но сей известный познаниями своими в горном деле муж, рассмотрев наружный вид кристаллов сего минерала, начертал окончательностью одного из кристаллов на стекле: «сапфир, корунд, алмазный шпат», ибо новейши минералоги все сии ископаемые соединяют в одну породу» [3].

«Наследники расторгуевских заводов, уважая память покойного Сойманова, и поныне сохраняют как драгоценность сии собственноручные строки его на стекле. У Сойманова были кристаллы корунда величиной до 4 дюймов».

На Борзовском месторождении близ Потанинских гор производилась добыча корундовой породы, названной «кыштымитом» и «борзовитовой породой». В ее составе корунд занимал от 10 до 95 %. Остальная часть принадлежала плагиоклазу. Петрографическое название породы – корундовый плагиоклазит. Корунд темно-серый, синий, голубой и почти белый, кристаллы до 5 см, обычно

5...8 мм, часто трещиноваты, изогнуты и поломаны. Добытая порода подвергалась размолу и применялась без обогащения в качестве абразива на Кыштымском заводе и вообще на Урале до 1939 года.

На Кызыл-Ташском и Иртяшском месторождениях добывался наждак, содержащий 5...65 % корунда с хлоритоидом. Первое открыто в 1902 году академиком А.П. Карпинским. Для переработки наждака Теченский железодельный завод перестроили в корундовую фабрику. На ней, например, в 1944 году получили для оборонной промышленности 128 тонн шлифпорошка, 16 тонн микропорошка, 56,5 тысяч штук наждачных брусков и 135 тонн знаменитого «минутника», пользовавшегося большим спросом за границей для шлифовки стволов орудий и изделий из стекла и хрусталя. Фабрика работала до 1952 года [3].

Есть корунд в Ильменских горах (там есть даже корундовая гора), у рек Каменка и Санарка, у г. Снежинска (Синарское месторождение).

Рубин и сапфир использовались людьми за несколько тысячелетий до нашей эры в качестве амулетов и талисманов. Позднее, в Древнем Риме, эти камни, наряду с другими, служили украшениями и приобрели высокую эстетическую и материальную ценность у римской знати. В средние и новые века благородный корунд использовался для изготовления религиозных и династических регалий, включая короны и скипетры – символы государственной власти.

В древние и средние века рубину и сапфиру приписывались чудодейственные свойства. Считалось, что ношение рубина надежно защищает от тяжелых болезней, обеспечивает благополучие и сохраняет титулы. Сапфиру приписывались сверхъестественная сила усмирять страсти и даровать ясность мысли.

Благородный корунд широко используется и в наши дни. Он идет на вставки и дорогие ювелирные изделия, является эквивалентом валюты (природные рубины и синие сапфиры). Наряду, с этим искусственно выращенные рубины и сапфиры применяются в точной механике (спорные камни в часах и точных приборах), используются в лазерах, а также в солнечных батареях космических аппаратов.

Рубин и сапфир обладают не только привлекательной окраской, но и очень ярким блеском. Чтобы максимально проявить эти свойства, камни гранят в ступенчатой форме или в комбинированной, когда нижней половине камня придается бриллиантовая огранка, а верхней ступенчатая. В форме кабошона обрабатываются звездчатые рубины и сапфиры, камни, обладающие эффектом «кошачьего глаза», а также образцы с очень густой окраской и с другими дефектами.

Ограненные благородные корунды дорого ценятся на мировом рынке. В 1985 г. розничные цены в США на камни высокого качества колебались в следующих пределах (в долларах за карат): рубин весом от 0,4 до 2,5 карат – 400...2900, сапфир синий весом от 1 до 5,5 карат – 220...1800, сапфир оранжевый, зеленый, фиолетовый и др. весом от 1 до 14,5 карат – 50...1700.

### 1.1.2. Шпинель

Прозрачная ярко окрашенная шпинель является драгоценным камнем и применяется с доисторических времен в качестве украшений так же, как рубин, от которого ее не всегда удавалось отличить. Название минерала, как полагают, происходит от латинского слова «spina», означающего шип, благодаря остроконечной форме кристалла. На Востоке и в России драгоценная шпинель была известна под названием «лал».

Шпинель принадлежит к классу сложных окислов. Общая формула минерала  $MgAl_2O_4$ , где вместе с магнием присутствует двухвалентное железо, либо цинк, либо оба вместе.

Различаются следующие разновидности: собственно шпинель – магниевая; хлоршпинель травяно-зеленая разновидность магниевой шпинели, в которой часть алюминия замещена трехвалентным железом; плеонаст (цейлонит) – зеленая, черная, желто-бурая железо-магниевая, с содержанием закиси железа до 23 %, ганношпинель – цинково-магниевая разновидность синей, коричневой или черной окраски; ганит – цинковая разность шпинели серовато-зеленого цвета; герцинит – черная железистая, с содержанием закиси железа до 41,3 %; пикотит – темно-коричневая хромсодержащая разновидность герцинита.

Собственно шпинель в качестве примесей обычно имеет хром, железо, марганец. Теоретический состав:  $MgO$ –28,2 %,  $Al_2O_3$ –71,8 %. Окраска разнообразная: красная, фиолетово-красная, фиолетовая, розово-красная, розовая, оранжево-красная, желтая, травяно-зеленая (хлоршпинель).

В качестве ценного ювелирного камня в основном используются красные, фиолетово-красные, розово-красные и розовые разновидности, реже ярко-зеленые и ярко-синие, ввиду их редкости.

К теоретическому составу наиболее близка красная шпинель. Прозрачная красная шпинель из аллювиальных россыпей Шри-Ланки содержит (в вес. %):  $MgO$  – 28,10;  $Al_2O_3$  – 70;  $SiO_2$  – 0,74;  $TiO_2$  – 0,10;  $Cr_2O_3$  – 0,39;  $FeO$  – 0,45;  $CaO$  – 0,06.

Красная и розовая окраска шпинели обусловлена примесью хрома, замещающего алюминий, а фиолетово-розовая, фиолетово-красная связана с изоморфным замещением части алюминия хромом и двухвалентным железом одновременно. Синяя, зеленая и бурая окраска вызвана присутствием ионов двух- и трехвалентного железа в кристаллической решетке минерала.

Шпинель кристаллизуется в гексоктаэдрическом виде симметрии кубической сингонии в форме октаэдрических кристаллов с хорошо развитыми гранями октаэдра. Характерны двойники по шпинелевому закону (срастание по грани октаэдра). Минерал оптически изотропен, блеск в бездефектных образцах очень яркий, излом раковистый, спайность не выражена, хрупок. Твердость 8 – 8,25 по Моосу. Плотность розовых и красных разновидностей 3,85...3,61, а в зеленых и синих повышается до 3,68...3,80. Показатели преломления изменяются от 1,712 до 1,80; у красной шпинели он не выше 1,74, а у синей, достигает 1,77...1,80.

По окраске красная шпинель очень похожа на рубин. Некоторые крупные камни, считавшиеся рубинами, после тщательной диагностики оказались шпинелью, например, знаменитые камни британской короны «Черный принц» и «Тимур-рубин».

При огранке кристаллом шпинели придается ступенчатая, бриллиантовая или комбинированная форма. Применяется также огранка в форме кабошона.

В США розничные цены на ограненные камни шпинели ювелирного качества в 1985г. варьировали от 30 до 1100 долл. за карат [4].

### 1.1.3. Берилл и топаз

Берилл – кольцевой алюмосиликат, химическая формула которого  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ . В качестве примесей могут присутствовать: 1) катионы двух- и трехвалентного железа, хрома, скандия и магния, изоморфно замещающие алюминий; 2) щелочные и щелочноземельные ионы калия, натрия, лития, цезия, рубидия, кальция, бария и вода, заполняющие трубчатые каналы в структуре минерала. Для некоторых бериллов типичны примеси гелия и, иногда, аргона.

По содержанию примесей щелочей ювелирный берилл можно разделить на следующие типы: а) бесщелочные – собственно берилл, аквамарин; б) слабо щелочные (0,5...1 % щелочей) – гелиодор; в) щелочные (1...2 % щелочей); г) сильно щелочные с литием, рубидием и цезием (2...7 % щелочей) – ростерит, воробьевит. Наиболее распространены бесщелочные разновидности берилла.

Берилл кристаллизуется в гексагональной сингонии дипирамидального вида симметрии. Габитус кристаллов в значительной степени определяется условиями образования и характером элементов – примесей. Для бесщелочных и слабо щелочных бериллов характерны вытянутые призматические формы, для сильно щелочных разновидностей короткостолбчатые и таблитчатые. Кристаллы, образовавшиеся в миароловых пустотах в условиях свободного роста, обладают наиболее полным набором граней простых форм симметрии и имеют, помимо гексагональных призм, хорошо выраженные пинакоидные головки, дипирамиды и другие простые формы. В условиях стесненного роста концевые грани, как правило, не развиваются.

Удельный вес берилла 2,6...2,9. Причем бесщелочные и слабо щелочные разновидности имеют наименьший удельный вес 2,6...2,67, щелочные – 2,67 ...2,73 и сильно щелочные бериллы – 2,9. Показатель преломления также зависит от щелочности берилла, возрастая с увеличением последней (от 1,568 до 1,602 по No и от 1,564 до 1,595 по Ne). Твердость минерала не постоянна и варьирует от 7,5 до 8,0. Блеск стеклянный, жирный, спайность неясная. Минерал одноосный, оптически отрицательный [4].

К ювелирным разновидностям относятся разноокрашенные (и бесцветные) прозрачные и бездефектные кристаллы берилла, интенсивность окраски повышает ценность камня. Окраска берилла обусловлена присутствием примесей различных элементов – красителей. Зеленую окраску кристаллов вызывают присутствие в них окисного и закисного железа, голубую и синюю – только

окисного трехвалентного железа. Розовые и фиолетово-красные тона сильно щелочных бериллов связаны с присутствием в их составе редких щелочей лития, цезия, рубидия.

Топаз – минерал с химической формулой  $\text{Al}_2[\text{Fe,OH}]\text{SiO}_4$ . В качестве примесей в незначительных количествах могут присутствовать калий, натрий, кальций, магний, железо, хром, титан.

Топаз кристаллизуется в ромбо-дипирамидальном виде симметрии ромбической сингонии. Форма кристаллов короткостолбчатая, реже длиннопризматическая, для них обычно обилие простых форм. По кристаллографическим особенностям топазы подразделяются на следующие габитусные типы:

1) мурзинский – кристаллы имеют почти изометрический габитус с хорошо развитыми призмой и пинакоидом, характерны также грани дипирамиды и диэдра;

2) ильменский – кристаллы обладают бочонкообразным габитусом; пинакоид сильно сужен рядами дипирамид; призма придает кристаллам гексагональный облик;

3) коростеньский – для кристаллов характерны хорошо развитые грани призмы и отсутствие пинакоида;

4) шерловогорский тип (как и борщовский) – кристаллы имеют удлиненный габитус, относительно равномерно развитую призму и отчетливо выраженный диэдр.

Топазу свойственна высокая твердость (8 по шкале Мооса) и совершенная спайность в одном направлении. Удельный вес его также достаточно высок и составляет 3,52...3,57. Блеск минерала стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый.

Природная окраска топазов весьма разнообразна: нежно-голубая, синяя, синевато-зеленая, винно-желтая, чайно-желтая, бурая, розовая, красновато-фиолетовая. Широко распространены также бесцветные водяно-прозрачные разновидности. Встречаются полихромные кристаллы топаза, содержащие зоны разного цвета или одного цвета, но разной интенсивности.

Окраска топазов обусловлена присутствием различных примесей. Так, голубая окраска вызвана наличием в минерале одновременно окисного и закисного железа, а розовая примесью лишь одного окисного железа. Весьма устойчивые розовая и красно-фиолетовая окраски кочкарских топазов со Среднего Урала обуславливаются примесью трехвалентного хрома, изоморфно замещающего алюминий. Окраска топазов, как правило, неустойчивая – под длительным воздействием солнечного света топазы обесцвечиваются. Восстановить, изменить или усилить окраску можно искусственно с помощью термического воздействия или радиоактивного облучения. Так, облучение бесцветных топазов рентгеновскими лучами вызывает получение коричнево-оранжевой или янтарной окраски, которую объясняют наличием дефектов кристаллической решетки минерала и потерей кислородом электронов, переходящих в свободное состояние. Такая окраска еще более неустойчива и при длительном пребывании минерала на

солнце или при нагревании его до 300 °С исчезает. Бурые и желтые бразильские топазы при нагревании приобретают розовый и красный цвета.

И берилл, и топаз из-за большой твердости, разнообразной (часто яркой) окраски, высокого показателя преломления и сильного блеска в ювелирных разностях представляют собой прекрасный ограночный материал. Из этих материалов изготавливаются ограненные фасетной огранкой вставки в кольца, перстни, серьги, броши, кулоны, ожерелья. Значительно менее ценны вставки-кабашоны из дефектных (с трещинами и включениями) бериллов и топазов, которые также используются в ювелирных изделиях.

Берилл очень хорошо гранится и полируется. Основными формами его огранки являются: бриллиантовая, роза, ступенчатая, шахматная и смешанная. Наиболее ценятся на мировом рынке разновидности берилла редкой окраски – розовые и красные воробьевиты (морганиты) и темно-синие бериллы. Также высоко ценятся аквамарины, особенно ярко-голубые камни цвета небесной лазури. Достаточно редкими, а потому и ценными, являются желтые гелиодоры с четко выраженным астеризмом. Наиболее обычны желтые, желто-зеленые и зеленые разности.

Топаз, обладая совершенной спайностью, представляет собой значительно более трудный для огранки материал. Из него получают красивые камни, наиболее распространенной формой огранки которых является ступенчатая, реже применяются бриллиантовая и комбинированная форма огранки.

Наиболее ценными на мировом рынке являются топазы розовой окраски, далее идут интенсивно окрашенные винно-желтые топазы, затем топазы густо-чайного цвета и голубые разности. Топазы бесцветные или бледно окрашенные ценятся значительно ниже.

Следует иметь в виду, что в последнее время большую ценность приобрели ювелирные бериллы и топазы в друзах-штуфах. Это вызвано все возрастающим во всем мире интересом к коллекционированию.

Технические требования на ювелирные берилл и топаз определяются ОСТ 41.128-77.

Бериллы разных видов и топазы имеются в Ильменских горах и на Тайгинском графитовом карьере в пегматитовых жилах [3].

Стоимость граненых бериллов в США колеблется от 1...2 до 75 долларов за карат в зависимости от характера и интенсивности окраски и величины камня; стоимость граненых топазов составляет от 2...4 до 60 долларов за карат, достигая 100 долларов за карат камня интенсивной розовой окраски [4].

#### 1.1.4. Изумруд

Изумруд – изумрудно-зеленая разновидность берилла. Прозрачные кристаллы изумруда относятся к драгоценным камням I-го порядка.

Греки и римляне называли его «смарагдус» или «смарагдос», в Западной Европе это название превратилось в «эсмеральд», от которого, по-видимому, произошло и английское слово «эмеральд» [1].

Изумруд соответствует формуле  $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$  и принадлежит к кольцевым силикатам. Минерал оптически одноосный, отрицательный. Изумруд и обыкновенный берилл по составу очень близки, различаются лишь содержанием отдельных элементов. Так, для изумруда характерно повышенное содержание хрома и несколько пониженное алюминия (табл. 3); кроме того, в изумруде отмечается (в %): железо до 1, магний до 3, ванадий 0,05...0,5, литий до 0,15, щелочь до 3, вода до 3, сотые доли и менее никеля, кобальта и меди.

Цвет изумруда обусловлен присутствием окиси хрома, на что указывает прямая зависимость окраски минерала от содержания в нем хрома. Так, светло-зеленые кристаллы изумруда содержат 0,1...0,2% окиси хрома (Изумрудные копи, Урал, Мустард, Новелло-Клаймс, Южная Родезия и др.), а густо-зеленые – 0,5...0,6%, реже 1% (Изумрудные копи, Урал, Шикванда, Сандавана, Южная Родезия). Ряд авторов (Меренков, 1936; Naccon, Jackson, 1970) отмечает, что окраска изумруда иногда обусловлена присутствием ванадия [4].

Таблица 3

Химический состав изумруда и берилла

Окислы	Изумруд				Берилл
	Урал	Австралия, Пууна	Южная Родезия, Сандавана		Урал
$\text{SiO}_2$	64,69	64,42	65,00	63,84	66,03
$\text{BeO}$	13,37	14,28	13,60	13,28	12,33
$\text{Al}_2\text{O}_3$	15,16	18,03	14,20	18,06	18,95
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	0,19	0,23	0,50	0,60	—
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,35	0,05	0,50	—	0,42
$\text{FeO}$	—	Следы	—	0,30	—
$\text{MnO}$	Следы	0,19	—	—	—
$\text{MgO}$	1,89	0,52	3,00	0,75	0,21
$\text{CaO}$	0,80	0,16	—	—	0,78
$\text{Na}_2\text{O}$	1,80	0,48	2,00	2,03	0,63
$\text{K}_2\text{O}$	Следы	0,14	—	0,05	0,55
$\text{Li}_2\text{O}$	0,09	Следы	0,15	0,10	1,10
$\text{H}_2\text{O}^+$	1,29	1,60	—	1,07	0,55

Изумруд встречается обычно в виде кристаллов гексагональной формы с хорошо развитыми гранями призмы и пинакоида. Грани дипирамид развиты хуже и нередко отсутствуют. Кристаллы в этом случае имеют плоские или куполообразные вершины. Грани призм часто покрыты вертикальными штрихами. Встречаются кристаллы, сдвойникованные по пирамиде 2-го порядка. Изредка находят друзы и шестоватые агрегаты изумруда. Необычной формой обладают некоторые колумбийский кристаллы, известные под названием «trapeiche emerald» с полый конусообразной внутренней частью, расположенной по длинной



оси кристалла. В сечении корневой части таких кристаллов хорошо видно шестиугольное отверстие. Кристаллы изумруда обладают несовершенной спайностью по призме и пинакoidу. Твердость его по шкале Мооса 7,5 – 8,0, минерал хрупкий, при раскалывании образует неровный, часто раковистый излом.

Для изумруда характерна зеленая окраска различной интенсивности. Наиболее красивые и потому самые ценные – кристаллы, окрашенные в густой изумрудно-зеленый цвет. Наблюдаются вариации оттенков цвета: голубоватый оттенок присущ кристаллам Колумбии (Чивор, Коскуэз), желтоватый – изумрудам Южной Родезии (Сандавана и др.). Как правило, для кристаллов изумруда характерна зональность окраски, которая чаще всего проявлена по пинакoidу (осевая зональность), реже по призме (кольцевая зональность), перпендикулярно длинной оси кристалла. Периферийная часть кристалла почти всегда окрашена слабее.

Степень прозрачности кристаллов изумруда различна. Совершенно прозрачные кристаллы считаются ювелирными, но они редки. Чаще кристаллы бывают мутными из-за включений, коррозии или трещин. Подобные кристаллы на колумбийских месторождениях называют «maralla».

Блеск кристаллов изумруда стеклянный. Некоторые кристаллы обладают свойством иризации, что объясняется наличием тончайших трещин внутри кристалла. Размеры кристаллов изумруда по длинной оси варьируют от 2...5 до 20 см. Качественные ювелирные кристаллы обычно мелкие, не длиннее 5 см. Находки крупных кристаллов («Патриция» 5,5×8×12 см из Колумбии или «Изумруд Каковнина весом 11130 карат», Урал) уникальны.

Плотность минерала колеблется от 2,64 для светлых кристаллов до 2,75 для густоокрашенных. Показатели преломления:  $N_g=1,576...1,590$ ,  $N_p=1,572...1,584$ . Прозрачные разности изумруда при нагревании становятся мутными. Перед паяльной трубкой минерал плавится тем легче, чем больше щелочей в его составе. В кислотах практически не растворяется, устойчив в экзогенных условиях.

Среди включений в кристаллах различаются твердые, жидкие и газообразные. Они захватываются кристаллами во время роста или залечивают в них трещины. Твердые включения иногда прорастают кристалл насквозь. Нередко включения занимают всю центральную часть, а периферийная часть его остается чистой. Эти явления наиболее часто отмечаются на месторождениях России, Индии, Южной Родезии, ЮАР. Минеральный состав твердых включений зависит от состава вмещающих пород. Так, для месторождений, связанных со слюдами, характерны включения флогопита, мусковита, талька, корундофиллита, актинолита и т. п. Внутри кристаллов колумбийских изумрудов отмечаются кубики золотистого пирита; нередко наблюдается инкрустация кристаллов изумруда кварцем, пиритом и гетитом, внешне эти кристаллы очень эффектны. Кроме того, в изумрудах Музо отмечаются включения углистых частиц.

Как и в древности, так и теперь основное применение изумруд находит в ювелирной промышленности. Кристаллы изумруда гранят или кабошонируют, а затем используют как вставки в перстни, подвески, броши.

Лабораторным путем может быть получен синтетический изумруд, внешне почти не отличимый от природного. Он обладает приятной изумрудно-зеленой окраской и имеет гексагонально-призматическую форму, прозрачен. Несколько

отличается содержанием химических компонентов (в %): повышенным содержанием окиси алюминия – 18,65 % и окиси хрома – 2,00 % и значительно уменьшенным содержанием окиси магния – 0,1 %, натрия – 0,56 %, и воды – 0,14 %. Показатели преломления синтетического изумруда низкие (1,561...1,562). Хорошо различаются природный и искусственный изумруды по свечению в

ультрафиолетовых лучах. При длине волны 2537 Å природный изумруд дает бледно-зеленое, иногда окаймленное красной чертой свечение и крайне редко слабо-красное; искусственный изумруд светится ярко-красным до малинового цвета.

Для изумруда разработаны технические условия (ТУ 95-177-73), в основе которых лежат требования к интенсивности окраски, его прозрачности и массе. К дефектам, снижающим качество изумруда как драгоценного камня, относятся твердые включения, трещиноватость кристаллов, их замутненность и неравномерное распределение окраски. Прозрачные, густоокрашенные бездефектные кристаллы изумруда ценятся иногда дороже алмаза.

В зависимости от цвета изумруды делятся на четыре сорта: 1 – нежно-зеленый, 2 – нормально-зеленый, 3 – средне-зеленый, 4 – светло-зеленый.

В зависимости от размеров кристаллов и их обломков изумрудное сырье делится на четыре класса: I – более 20 мм, II – от 10 до 20 мм, III – от 5 до 10 мм, IV – от 2 до 5 мм.

Обработанные изумруды относятся к двум категориям: граненые и кабошоны, каждая из которых в зависимости от интенсивности окраски подразделяется на пять цветовых групп, от степени, прозрачности – на качественные, группы (граненые на три, кабошоны на две) и от размеров кристаллов и их обломков – на весовые группы (в каждой цветовой группе выделяется до 14 весовых групп).

Подобное (без весовых групп) деление изумрудного сырья существует и в Колумбии. Здесь принято шесть цветовых классов, в каждом из которых выделено по четыре группы, учитывающие дефекты кристаллов (степень прозрачности).

Активным спросом на мировом рынке пользуются колумбийские ограненные изумруды стоимостью от 500 до 3000 долларов за карат. Отдельные высококачественные камни реализуются по 10000 долларов за карат. Также высоко оцениваются изумруды из стран Африки (Трансвааль, Южная Родезия) и Южной Америки (Бразилия), индийские низкокачественные изумруды предлагаются по 25...30 долларов за карат [4].

#### 1.1.5. Турмалин

Благородные разновидности турмалина издавна используются в качестве ограночного камня. Это обусловлено высокой твердостью, отсутствием спайности, сильным блеском, а главное – красотой и богатством цветовой гаммы.

Есть у турмалина одна интересная природная особенность: если нагреть кристалл турмалина или сжать его, в нем возникает электрический заряд, как у кристалла кварца, при этом образуется полярность – один конец кристалла

заряжается положительно, другой – отрицательно, то есть минерал обладает эффектом пьезоэлектрика. Голландские моряки и купцы, привозившие этот минерал в Европу, знали и использовали этот эффект, они чистили с помощью нагретых кристаллов свои пеньковые курительные трубки. Отсюда примерно и происхождение названия на сингальском языке (Цейлон) – «турмали» [3].

Турмалин – это алюмоборосиликат кольцевого строения, отличающийся сложным химическим составом, что вызвано широким проявлением изоморфных замещений. Обобщенная формула турмалина  $\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}, \text{Li}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3 \text{Al}_6[(\text{BO}_3)_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}](\text{OH}_2\text{F})_4]$ . Правая часть формулы соответствует алюмоборокислородному радикалу, характерному для всех разновидностей минерала, который мало изменяется по содержанию составляющих элементов. В кристаллической структуре минерала этот радикал образует изолированные двухслойные кольца. Левая часть формулы представлена ионами натрия (иногда и кальция), которые находятся в кристаллической решетке в шестерной координации кислорода и связывают кольцевые радикалы друг с другом с оси «с». В центральную часть формулы входят катионы, содержание которых подвержено резким колебаниям. В кристаллической структуре минерала все катионы центральной части формулы находятся в шестерной координации кислорода и образуют винтообразные цепочки, соединяющие кольцевые радикалы по тройным осям элементарной ячейки и являются типоморфными: их соотношение определяет образования разновидностей минерала, которые составляют природные изоморфные ряды турмалина.

Среди турмалинов различают: 1) шерл – черный, богатый железом; 2) дравит – коричневатый, желтый или бесцветный, обогащенный магнием; 3) эльбаиты – (ахроит – бесцветный, рубеллит – розовый, красный, пурпурный, верделит – зеленый, индиголит – синий) – щелочные, содержащие натрий, литий и фтор; 4) жилаизит – желтый, богатый марганцем; 5) хром-турмалин – изумрудно-зеленый, обогащенный хромом.

По относительному содержанию магния, железа, лития и марганца среди турмалинов выделяются два основных изоморфных ряда: шерлит-дравитовый и шерлит-эльбаит-тсилаизитовый. В современном ювелирном деле используются главным образом цветные турмалины второго ряда. Среди эльбаитов этого ряда выделяют две группы: первая – розовые и красные рубеллиты, ахроиты и полихромные разновидности (биолары) с зональной розово-красной окраской, суммарное содержание в них меньше 1 %; вторая – зеленые верделиты, синие индиголиты и их полихромные разновидности, суммарное содержание железа в них достигает 7...8 %. Эта группа является связующей между эльбаитами и шерлитами. Тсилаизит по составу близок эльбаиту. Принято считать эльбаитами турмалины с содержанием окиси марганца менее 3 %.

В турмалине обычно содержится 35...38 % кремнезема, 8...11 % окиси бора, вода присутствует в форме гидроксила 0,6...5,4 %, который замещается фтором; как примеси отмечаются K, Cr, Ti, V, Be, Rb, Cs, Zn.

Все известные разновидности турмалина кристаллизуются в дитригонально-пирамидальном классе тригональной сингонии. Габитус кристаллов

длиннопризматический, столбчатый, короткопризматический и игольчатый. По характеру развития граней вертикального пояса различают два габитусных типа – гексагонально-призматический с поперечным сечением шестиугольной формы и тригонально-призматический, поперечное сечение которого приближается к сферическому треугольнику. Кристаллы турмалина бывают одно- и двухголовые. На головках кристаллов развивается своеобразный комплекс граней большим (до 30 и более) числом простых форм. Турмалины альбаитового ряда встречаются в виде хорошо образованных кристаллов, а также в форме сросшихся индивидов, шестоватых и радиально-лучистых агрегатов. Размеры кристаллов очень разнообразны и составляют от нескольких сантиметров до десятков сантиметров в длину и от нескольких миллиметров до 6...10 см в поперечнике. Обычно размеры кристаллов благородного турмалина 1...5 см в длину и 0,5...2 см в поперечнике. Наиболее крупные кристаллы рубеллита и верделита, добытые на отечественных месторождениях, достигали 15...20 см в длину при поперечнике 6...8 см; на месторождениях Калифорнии попадались экземпляры ювелирного рубеллита размером до 25×10 см.

Физические свойства турмалинов зависят от химического состава. Цвет минерала весьма разнообразен и чрезвычайно чувствителен к незначительным колебаниям содержания элементов – хромофоров. Этим обусловлено не только разнообразие цветового диапазона окрасок, но и развитие полихромных (двух-, трех- и даже пятицветных) кристаллов, типичных для турмалинов эльбаитового ряда. Окраска турмалинов, по данным С.В. Грум-Гржимайло (1956 г.), полученным при изучении кривых спектров поглощения, вызвана присутствием ионов марганца и железа. При этом красный или розовый цвет обусловлен ионами марганца, зеленый – двухвалентного железа, а синий – одновременно присутствием двух- и трехвалентного железа. При нагревании до 400 °С наблюдается необратимое обесцвечивание розового турмалина, что связано, видимо, с переходом окиси марганца в закись под влиянием превращения закиси железа в окись в процессе прокаливания.

В многозональных полихромных кристаллах различают два типа зональности: поперечно-полосатую со сменой цвета и тональности окраски вдоль удлинения кристалла, и концентрическую со сменой окраски поперек удлинения в виде разноокрашенных цилиндров, как бы вставленных один в другой. Последовательность смены цвета в полихромных эльбаитах закономерна. Образование зон разного цвета идет в последовательности: черный (ранний) – синий – зеленый – бесцветный – светло-зеленый – бледно-розовый – черный (поздний шерл). Естественно, что полный набор цветовых зон в одном кристалле практически никогда не встречается. Достаточно часты кристаллы с 3 – 5 зонами, наиболее распространенными из которых являются зоны черного, розового и зеленого цвета разных оттенков. Встречаются кристаллы и с аномальной сменой цветовых зон.

Среди коллекционеров светлоокрашенные кристаллы с черной головой называются «головой мавра», а с красной – «головой турка». «Арбузниками» называют бразильские турмалины зональной окраски.

Для цветных турмалинов характерен плеохроизм, который необходимо учитывать при обработке камня.

Твердость турмалина высокая и колеблется от 7 до 7,5 по шкале Мооса, достигая максимума в бездефектных кристаллах; излом минерала раковистый.

Плотность составляет  $2,92 \dots 3,26 \text{ г/см}^3$  и зависит от химического состава минерала. Наиболее низкая плотность у рубеллитов, средняя характерна для верделитов и наибольшая для шерлов.

Установлена также прямая зависимость между плотностью и показателями преломления турмалина. Разности с низкой плотностью, как правило, имеют меньше показатели преломления. Так, рубеллиты имеют следующие показатели преломления:  $N_g = 1,634 \dots 1,642$ ;  $N_p = 1,616 \dots 1,624$ ; верделиты  $N_g = 1,637 \dots 1,648$ ;  $N_p = 1,613 \dots 1,628$ ; шерлы  $N_g = 1,658 \dots 1,668$ ;  $N_p = 1,628 \dots 1,633$  [4].

На Урале первые упоминания о турмалине относятся к 1668 году, когда Д. Тумашев написал челобитную о красном шерле по реке Нейве (севернее Екатеринбурга). В районе Ильменских гор турмалин впервые упоминается В. Севергиным в 1809 году как «шерл близь Чебаркульской крепости».

Лучшие цветные турмалины добывались из пегматитовых жил Среднего Урала «... близь деревень Шайтанки, Мурзинки и Сарапулки. Камни отличались густым карминно-красным цветом. Их называют рубеллитами, сиберитами, а у горных рабочих они известны под именем «самоцвет», – отмечает М. Пыляев в 1988 году. Здесь также добывались хорошие синие индиголиты и зеленые верделиты. На Всероссийской Мануфактурной Выставке в Санкт-Петербурге в 1870 году были выставлены ограненные вставки из превосходного малинового шерла, принадлежащего Государю Императору. Малиновый шерл обладает своим прелестным цветом только днем, вечером же или при искусственном освещении он совершенно теряет свою красивую окраску». Позднее, а именно в 1900 году, прекрасные рубеллиты в виде сореролоидов и отдельных кристаллов нашли на пашне у деревни Липовки близ города Реж. Это были лучшие рубеллитовые копи России. Но чаще встречается шерл по всему Уралу.

На Южном Урале кроме Ильменских гор турмалин имеется на Светлинском пегматитовом карьере, Тайгинском графитовом карьере, Борзовском месторождении корунда у Кыштыма на восточном берегу оз. Аргазы, на р. Каменке, в сланцах по северному подножию горы Беркут у п. Терегусты, в полевом шпате дюротверитовой жилы на Увильдах. Был слух о пегматитовой жиле с лепидолитом и розовым турмалином у оз. Глубостров близ Кыштыма [3].

Ювелирный турмалин является ценным ограночным материалом и, по последней классификации, относится к драгоценным камням IV порядка. В современной ювелирной промышленности используются главным образом турмалины эльбаитового ряда, изредка применяются дравиты и еще реже черные непрозрачные шерлы.

Турмалины, в отличие от некоторых минералов с совершенной спайностью (топаз, кунцит, хромдиопсид), очень легко принимают полировку без растрескивания и замутнений обычными тонкими пастами. Бездефектные цветные разновидности идут на изготовление вставок, обработанных фасетной

(многогранной) огранкой, для колец, серег, брошей, кулонов и других ювелирных изделий. Основными формами фасетной огранки являются: ступенчатая, бриллиантовая, роза, шахматная и комбинированная. Полупрозрачные трещиноватые, но красиво окрашенные разновидности обрабатываются в виде кабошонов, ценность которых значительно уступает ценности ограненных камней.

В последние годы на мировом рынке пользуются спросом прозрачные тонкие призматические кристаллы рубеллита, верделита или полихромного турмалина, которые в естественном виде без обработки, оправленные в благородный металл, выглядят оригинально и эффектно. Наибольшей ценностью обладают густоокрашенные рубеллиты розовых, пурпурных и малиновых тонов, а также ярко-синие индиголиты. Уступают им в цене полихромные турмалины и зеленые слабо окрашенные верделиты. Большую ценность в качестве коллекционного материала имеют друзы или сростки кристаллов цветного турмалина в ассоциации с другими минералами.

Кроме использования в ювелирном деле, турмалины находят применение в качестве сильных пьезоэлектриков в радиоэлектронике и приборостроении, где их не могут заменить даже высшие сорта пьезокварца. В технике применяются абсолютно бездефектные кристаллы турмалина, из которых изготавливаются пластинки прямоугольной или округлой формы. Кристаллы турмалина обладают свойствами поляроида и применялись в поляризационных микроскопах для получения плоскополяризованного света. Кроме того, турмалин – источник элемента бора.

По временным техническим условиям на пьезотурмалин, утвержденным в 1969 г. Трестом «Цветные камни», к кондиционному сырью относятся прозрачные и непрозрачные (шерл), бесцветные и окрашенные разновидности турмалина, имеющие бездефектную монокристалльную область размером не менее  $4 \times 4 \times 2$  мм.

В соответствии с техническими требованиями на ювелирный турмалин (дополнение № 2 к Прейскуранту 06 – 07, 1966) к кондиционным кристаллам относятся чистые прозрачные и их обломки размером не менее 6 мм по наименьшему измерению при весе не менее 5 г при этом окраска материала и ее интенсивность могут быть различными; бесцветные и черные турмалины не являются ювелирным сырьем (табл. 4).

На мировом рынке в настоящее время наблюдается неуклонный и устойчивый рост цен на все натуральные драгоценные камни. По данным Бюллетеня иностранной коммерческой информации за 1974 год (№ 72, 86) в 1972 – 1973 г.г. цены на эти камни увеличились вдвое. Сильно выросла стоимость мелких камней, не пользовавшихся ранее заметным спросом. Например, ограненный среднеокрашенный рубеллит весом 1,5 карата стоит от 15 до 25 долларов за карат, а густоокрашенный камень того же веса – до 100 долларов за карат. Цена зеленого турмалина (верделита) высшего сорта достигает 300 долларов за карат. В то же время наблюдается резкое снижение цен на искусственные драгоценные камни. В США такие ограненные камни разной окраски размерами от  $8 \times 6$  до  $10 \times 8$  мм продавались по цене от 0,66 до 0,77 долларов за камень.

Очень высоко за рубежом ценятся коллекционные образцы. Крупные и совершенные по форме кристаллы цветного турмалина или любые по размерам друзы подобных кристаллов в ассоциации с другими минералами стоят иногда дороже, чем тот кондиционный материал, который из них может быть получен для огранки. Цена таких кристаллов и друз колеблется от 20 до 1000 долларов за штуф (кусок) в зависимости от качества, размеров и степени сохранности [4].

Таблица 4

Технические требования к турмалину

Качественная характеристика сырья	Выход бездефектной монокристалльной области, %	Сорт
<b>А. Пьезотурмалин</b>		
Прозрачные альбаитовые турмалины	Не менее 65	I
То же	От 10 до 65	II
Шерлы	От 75 до 100	III
<b>Б. Ювелирный турмалин</b>		
Прозрачные цветные турмалины	Не менее 65	I
То же	Не менее 35	II
То же	Не менее 15	III
То же	Менее 15	IV

#### 1.1.6. Хризолит

Хризолит является прозрачной разновидностью оливина. Его название происходит от греческих слов *chrisos* – золото и *lithos* – камень и обусловлено золотисто-зеленым цветом минерала. За рубежом ювелирные разновидности оливина часто именуют перидотом.

В течение многих лет «уральскими хризолитами» называли демантоиды Урала (прозрачные зеленые разновидности граната андрадита). Химическая формула хризолита –  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$ . Он является железистой разновидностью форстерита, содержащей от 10 до 30 % фаялитового компонента. Химический состав ювелирных хризолитов представлен в табл. 5.

Хризолит кристаллизуется в ромбической сингонии; хорошо образованные призматически-дипирамидальные кристаллы его довольно редки, обычно он встречается в виде неправильных, изометрических зерен от 2 до 15 мм.

Твердость по шкале Мооса составляет 6,5 – 7,0. Вязкость и твердость меняются по кристаллографическим направлениям, что затрудняет обработку камня. Спайность развита плохо. Излом раковистый, блеск стеклянный, несколько жирный. Удельный вес 3,32...3,50. Хризолит – минерал двуосный ( $2V = 80...83^\circ$ ), оптически положительный. С увеличением содержания железа удельный вес и показатели преломления хризолита возрастают. Хризолит не подвергается заметному растворению в соляной кислоте, однако порошок его бурно реагирует с концентрированной серной кислотой. Температура плавления минерала около 1890 °C.

Таблица 5

## Химический состав хризолитов, вес. %

Компо- ненты	Кимберлитовая трубка Удач- ная, Якутия	Кимберлито- вая трубка Мир, Якутия	Хризолитонос- ные линзы Холбын- Хаирхан, Восточные Саяны	Антигарито- вые прожилки озеро Зебергет, Красное море	Хризолитонос- ные жилы массива Кугда, Красноярский край	Пегматоид- оливинит Бор-Урах, Краснояр- ский край	Элювиально- делювиальные отложения массива Кугда, Крас- ноярский край
SiO <sub>2</sub>	41,62	40,20	40,25	40,70	41,30	41,62	40,48
TiO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	0,08	0,05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	0,74	—	0,50	0,20	0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	2,03	2,33	—	—	0,97	0,65
FeO	9,60	5,57	3,78	11,15	11,70	6,49	9,88
MgO	49,02	51,03	52,35	47,45	43,40	49,56	47,30
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	—	—	—	—	—	0,03
CaO	—	—	0,38	—	0,38	0,27	0,06
MnO	0,01	0,08	0,10	—	0,37	0,37	0,43
NiO	—	0,29	—	—	0,23	—	0,35
K <sub>2</sub> O	—	0,03	0,05	—	—	0,15	0,13
Na <sub>2</sub> O	—	0,25	0,04	—	—	0,12	0,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0,02	—	—	0,02	—
CoO	—	0,01	—	—	0,02	—	—
H <sub>2</sub> O	0,79	—	—	0,79	—	—	0,26



Цвет хризолита зеленый с различными оттенками – золотистым, желтым, фисташковым, травяным, оливковым и бурым. Зеленая окраска минерала вызвана закисным железом, а ее яркость и интенсивность обуславливается присутствием ионов никеля. В серпентизированных оливиновых породах (дунитах) хризолит приобретает зеленый оттенок за счет метасоматического серпентина, который развивается по трещинкам минерала. С повышением содержания окисного железа хризолит приобретает желтые и бурые оттенки. При переходе закисного железа в окисное хризолит становится черным и непросвечивающим.

Хризолит используется в ювелирном деле в течение нескольких тысячелетий. Известное с глубокой древности месторождение ювелирного оливина на о. Зебергет (Сент-Джонс) в Красном море упоминается Плинием в «Естественной истории», написанной еще в начале эры. Образцы хризолита с этого острова обнаружены при археологических раскопках в Александрии. Известны ограненные хризолита, относящиеся к периоду греческой античной культуры. В средние века крестоносцы привозили в Европу (в числе военной добычи) великолепные ювелирные изделия из хризолита. В древности хризолит ценили не только за его красоту, этому камню приписывали и свойство предохранять владельца от неразумных поступков и ограждать от дурных снов.

Большим спросом хризолит стал пользоваться в начале 20-ого века вследствие «зеленой моды», наряду с изумрудным весьма повышался интерес и к другим камням зеленого цвета.

В современном ювелирном производстве хризолит используется в золотых изделиях в виде граненых вставок и, реже, кабошонов. Общепринятой формой его огранки является бриллиантовая, благодаря которой камень приобретает яркую игру. Прозрачные интенсивно окрашенные разновидности хризолита относятся к драгоценным камням 4-ого порядка.

Технические требования (ОСТ 41.128-77), утвержденные министерством геологии СССР применительно к ювелирному хризолиту Кугдинского месторождения (Таймырский национальный округ), приведены в табл. 6.

Таблица 6

Технические требования к ювелирному хризолиту в сырье

Качественная характеристика сырья в бездефектной области камня	Минимальные размеры без- дефектной области камня, мм	Сорт
1. Кристаллы, их обломки или зерна зеленого, желтовато-зеленого и оливково- зеленого цветов. Окраска яркая	8×8×6 5×5×4 3×3×3	Высший I II
2. Кристаллы, их обломки или зерна зеленого, желтовато-зеленого и оливково- зеленого цветов. Окраска бледная	4×4×3	III

Дефектами хризолита являются замутнения, трещиноватость, включения магнетита и золотисто-бурой слюды, почти черные участки.

Розничные цены на хризолиты в США колеблются от 48 до 75 долларов за один ограненный камень в зависимости от качества камня и его размеров, а на импортный из США – 1,5...2,0 доллара за карат [4].

### 1.1.7. Гранаты

Гранат [лат. – granatus], названный так еще в древности за сходство по цвету и форме кристаллов с зернами плода граната, объединяет группу минералов класса ортосиликатов с общей формулой  $R_3^{+2}R_2^{+3}[\text{SiO}_4]_3$ , где  $R^{+2}$  – Ca, Mo, Fe, Mn,  $R^{+3}$  – Al, Fe, Cr, реже Ti и V. Теоретический химический состав основных видов гранатов приведен в табл. 7.

Таблица 7

Теоретический химический состав основных видов гранатов

Компоненты	Пироп	Альмандин	Спессартин	Уваровит	Гроссуляр	Андрадит
SiO <sub>2</sub>	44,8	36,2	36,4	35,9	40,0	36,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,4	20,5	20,6	–	22,7	–
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	30,6	–	–
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	–	–	–	–	30,5
FeO	–	–	–	–	–	–
CaO	–	43,3	–	33,5	37,3	33,0
MnO	–	–	43,0	–	–	–
MgO	29,8	–	–	–	–	–

Все минералы группы гранатов разделяются на две подгруппы, характеризующиеся полным изоморфизмом; смесимость между подгруппами ограничена. Первая подгруппа объединяет минералы альмандинового ряда и названа по начальным буквам основных его членов – пироба, альмандина, спессарита – пиральспитами, а вторая по минералам андрадитового ряда – уваровита, гроссуляра, андрадита – уграндитами.

Гранаты андрадитового ряда встречаются значительно реже альмандинового. Благодаря очень высокой дисперсионной способности они обладают красивой игрой и ценятся очень дорого. Демантоид на мировом рынке приравнивается к изумруду.

Все минералы группы гранатов кристаллизуются в гексоктаэдрическом виде симметрии кубической сингонии. Кристаллы граната, как правило, хорошо образованы, за исключением пироба и демантоида, для которых кристаллические формы не характерны. Известны друзы кристаллов граната. Размеры кристаллов колеблются в широких пределах от долей до десятков миллиметров.

Для минеральных индивидов физические свойства близки. Спайность отсутствует или несовершенная, параллельная додекаэдру: твердость по шкале Мооса 6,5 – 8,0. Величина двупреломления высокая от 1,705 до 2,000. Блеск стеклянный, часто с оттенком смолистого; у демантоида и топазолита (разновидности андрадита) – алмазный. Цвет минералов очень разнообразный и охватывает практически всю шкалу цветового спектра – от белого до черного (исключая синий). Наиболее часто встречаются гранаты красного, коричневого, желтого, зеленого, розового и черного цветов различных тонов и оттенков. Цвет минералов определяется примесями железа, марганца, хрома и титана. Бездефектные (без трещин, включений и т. п.) светлоокрашенные просвечивают чаще всего лишь в тонком сколе.

Гранаты широко применяются в промышленности как абразивный материал. Красиво окрашенные прозрачные разновидности его используются в ювелирном деле. Гранаты, кроме демантоида,grossуляра и родолита, относятся к ювелирным камням IV порядка. Большая часть их (пироп, альмандин и др.) широко распространены в недорогих ювелирных изделиях. Демантоид, grossуляр и родолит, относящиеся к камням III порядка, ценятся очень дорого, особенно первый.

Ниже рассматриваются основные виды благородных (ювелирных) гранатов. Пироп [гр. пур – огонь], названный так за красивый красный цвет, относится к магнезиально-алюминиевым гранатам и содержит пиропового компонента от 59,7 до 70 %, альмандинового – от 9,4 до 22,5 % и уваровитового от 2,2 до 11,9 %. Присутствие последнего повышает интенсивность окраски и в густо окрашенных разновидностях уваровитовый компонент достигает максимума. Химический состав пиропов из разных месторождений представлен в табл. 8.

Пироп обычно встречается в виде округлых, иногда несколько сплюснутых зерен размером от долей до 10 мм, редко более. Наиболее обычны размеры зерен 2...4 мм, более крупные разновидности редки. Уникальными являются два пироба из делювиальных россыпей Средне-Чешских гор. Первый, размером 18×27×33 мм, весил 468,5 карата, а второй с голубиное яйцо, – 633,4 карат.

Бездефектные бледно окрашенные зерна пироба прозрачны, густо окрашенные просвечивают. Включения посторонних минералов редки. Пироп окрашен в красный, лиловый, розовый и оранжевый цвета различных тонов и оттенков, изредка встречаются почти бесцветные разновидности. Как ювелирные камни наиболее высоко оцениваются рубиново-красные и кроваво-красные пиробы, оранжевые и желтые разновидности ценятся ниже. Величина показателя преломления пиропов тесно связана с интенсивностью окраски и составляет у бледно окрашенных разновидностей 1,0725, а у густо окрашенных 1,784, реже более. Твердость по шкале Мооса 7,0. Плотность колеблется от 3,60 до 3,86 т/м<sup>3</sup>.

Пироп является магматическим минералом, образующимся в условиях высоких давлений и температур, обычно он встречается в виде равномерной вкрапленности в ультраосновных породах (кимберлитах, перидотитах и пироксенитах). Весьма устойчив в экзогенных условиях и накапливается в россыпях.

Таблица 8

## Химический состав ювелирных пиропов (в вес.%)

Компоненты	Лингорка	Мируница	Удачная	Зарница	Де-Бирс
	Чехия		Якутия		Ю. Африка
SiO <sub>2</sub>	40,80	42,94	41,80	41,20	40,89
TiO <sub>2</sub>	–	–	0,13	0,76	–
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,11	21,43	20,23	19,24	21,84
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,83	1,97	2,38	1,56	1,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,43	1,00	6,07	3,22	1,87
FeO	7,05	7,80	3,03	7,40	9,06
MnO	0,25	0,47	0,20	0,22	0,30
MgO	19,75	20,52	20,85	17,70	19,70
CaO	6,06	4,42	5,64	6,83	4,93
H <sub>2</sub> O	1,04	–	0,09	1,12	–

Крупные месторождения пиропы, получившие широкую известность, находятся в Чехии, в районе Средне-Чешских гор, начиная с 13 века пироп добывается преимущественно из россыпей, образовавшихся при разрушении гранатоносных эруптивных базальтовых брекчий.

В России (трубки Мир и Удачная – Западная Якутия), в Южной Африке (Ким-берлей, Де-Бирс), Восточной Африке (месторождение в Танзании) и других странах мира пироп извлекается попутно из алмазоносных кимберлитовых трубок. Небольшое количество высококачественного пиропы добывается из комплексных россыпей драгоценных камней на острове Шри Ланка.

Родолит [гр. rodos – розовый] является железистой разновидностью пиропы и содержит две молекулы пиропового компонента, одну альмандинового и следы андрадитового и грюсслярного рядов. В природе распространен нешироко в виде мелких (до 2 см) хорошо ограненных кристаллов. Более крупные камни редки. Самый крупный из известных родолитов (США, штат Северная Каролина) весил 43,3 карата. Для ювелирных разновидностей характерны яркий блеск и красивая от бледно до темно-розовой с пурпурным оттенком окраска. Показатель преломления 1,76, твердость по шкале Мооса 7,0, плотность 3,83...3,93 г/см<sup>3</sup>.

Родолит имеет метаморфический генезис. В США он извлекался попутно при разработке гиперстеновых гнейсов на абразивное сырье (отработано в начале 19 века).

Альмандин (по названию древнего местечка Алабанда, Малая Азия) является наиболее распространенным из ювелирных гранатов. Он относится к железисто-алюминиевым гранатам и содержит примерно равное количество пиропового и альмандинового компонента с небольшой примесью других гранатовых составляющих.

Альмандин – один из древнейших камней. Наших предков он привлекал тревожным кроваво-красным цветом и высокой твердостью. Любимая форма огранки граната альмандина, как у древних народов так и в наше время, в виде блюдечка. В глубокой древности альмандин называли карбункулом и антраксом, в России – венисою.

Химический состав ювелирного альмандина, на примере месторождения Форт Врангеля, Аляска представляется в следующем виде (в вес %):  $\text{SiO}_2$  – 39,29;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 21,70;  $\text{FeO}$  – 30,82;  $\text{MnO}$  – 1,51;  $\text{MgO}$  – 5,26;  $\text{CaO}$  – 1,29.

Твердость по Моосу 7,0–7,5. Показатель преломления 1,77...1,83. Плотность 3,83...4,30 г/см<sup>3</sup>. Для альмандина характерна высокая кристаллизационная способность и обычные для гранатов кристаллические формы ромбододекаэдра тетрагонтриоктаэдра. На гранях часто развита штриховка. Размеры кристаллов варьируются в широких пределах от нескольких миллиметров до 44 мм, в ювелирном деле используются кристаллы размером не менее 5 мм. Основным дефектом альмандина, как ювелирного камня, является неоднородное строение минерала – зональность и включения посторонних минералов, что часто делает его непрозрачным и пригодным к использованию только в качестве абразивного сырья. Для альмандина наиболее характерна фиолетово-красная окраска, именуемая сериам; более редким является густо окрашенный, почти черный – обыкновенный гранат, с коричневым и темно коричневым оттенком – фалум, красный глубокого чистого тона – драгоценный (благородный) гранат.

Ювелирный альмандин встречается в топазоносных россыпях Бразилии, в золотоносных россыпях Австралии и Уругвая, в пегматитах Малагасийской республики, в метаморфических сланцах на Аляске, в СНГ (Кительское, Султан-Уиздагское и др.). Наиболее качественные камни добываются из комплексных россыпей острова Шри Ланка и Бразилии [4].

На Урале альмандин впервые был обнаружен П.С. Палласом в 1786 году в окрестностях д. Кундравы (багрянцевоцветный гранат) и у Верхнее-Увельской слободы в гнейсах и сланцах. Институтом прикладной минералогии с 1928 года на Южном Урале обнаружено около 40 месторождений, из которых самым значительным оказалось Исылское, расположенное в 25 км к северо-востоку от Златоуста, в 3 км южнее вершины горы Исык. Альмандины ярко-фиолетовой и фиолетово-красной окраски имели размеры до 2 см, иногда до 10 см.

Буро-красные до 1 см есть на берегу Халитовского залива Аргазинского водохранилища. Пески с высоким содержанием граната найдены на берегах озера Иткуль (пласт мощностью до 1 м на протяжении 9 км) [3].

Спессартин (по названию местности Шпессарт в Баварии) – марганцево-алюминиевый гранат медово-желтого и желто-оранжевого цветов. Химический состав спессартина из Блюмовской копи на Урале составляет (в вес. %):  $\text{SiO}_2$  – 38,80;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,73;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 8,83;  $\text{FeO}$  – 9,19;  $\text{MnO}$  – 1,51;  $\text{CaO}$  – 2,60. В небольшом количестве имеются титан и магний. Для высококачественных камней характерен темно-оранжевый оттенок, обусловленный примесью альмандинового компонента. Чистые спессартины в природе редки, чаще

встречаются гранаты альмандин – спессартинового типа, называемые эспессандинами, для которых характерна более густая окраска.

Показатели преломления составляют 1,790...1,820, твердость – 7,0–7,03 по Моосу, плотность – 4,0...4,3 г/см<sup>3</sup>. Кристаллы в форме трапецоэдра, реже октаэдра невелики по размерам. Ювелирные камни весом более 5 каратов редки. По характерным тонам окраски спессартин является более интересным камнем по сравнению с красными гранатами и ценится значительно дороже.

Обычно спессартин добывается с другими драгоценными камнями (турмалином, топазом) из пегматитов (США, штат Невада; Мексика, Сьерра-Сан-Педро; Урал и др.). Особенно красивые камни встречены в натро-литиевых пегматитах в США (округ Рамона, штат Калифорния) и в Малагасийской республике [4].

Спессартин имеется около залива Садок оз. Увильды в гнейсах и сланцах вместе с дюмортьеритом и турмалином [3].

Уваровит (по фамилии президента Российской Академии наук, министра просвещения России и героя Отечественной войны 1812 года С.С. Уварова) является кальциево-хромным гранатом с уваровито-гроссулярной основой и небольшим количеством андрадита. Химический состав уваровита из Сарановского хромитового месторождения на Урале представляется в следующем виде (в вес. %): SiO<sub>2</sub> – 35,18...37,11; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21,81...23,45; CaO – 30,34...32,22; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 5,68...6,25; FeO и MnO присутствуют в отдельных образцах в количестве 2,44 и 1,54 соответственно. В кристаллах некоторых месторождений Южной Африки и Финляндии присутствуют в небольшом количестве титан и магний.

Кристаллы уваровита, развивающиеся по стенкам трещин в виде щеток, обычно очень мелкие, не больше 0,5...1,0 мм в поперечнике. Индивиды размером до 3 мм уникальны, однако на медном руднике Оутокумпу (Финляндия) добывались кристаллы, достигающие 1,5 см в длину. Характерная форма кристаллов – ромбододекаэдры.

Уваровит обладает ярким изумрудно-зеленым цветом, обусловленным окисью хрома. Присутствие железа усиливает зеленый цвет, а титана придает ему ржаво-зеленый оттенок. Показатель преломления уваровита 1,78...1,85, блеск стеклянный, твердость по Моосу 7,5...8,0. По своим декоративным качествам (блеску, цвету) уваровит – «уральский изумруд» не уступает демантоиду, но из-за крайне мелких размеров кристаллов в ювелирном деле практически не используется. Применяется уваровит как декоративный материал в виде щеток и мелких друз.

Уваровит образуется в результате воздействия гидротермальных растворов, производных гранитных интрузий, на ультраосновные породы. Развивается он, главным образом, на стенках трещин, пересекающих тела хромитовых руд. Проявления уваровита известны в России, США, Канаде [4].

Находки уваровита известны на некоторых хромитовых рудниках Урала (Сарановское на Среднем Урале и Татищевское на Южном Урале), в том числе на Ирмельском месторождении, «близь Кыштымского завода» и на старинном

демидомском Старо-Иткульском руднике у озера Иткуль недалеко от Шайтан-Камня [3].

Гроссуляр – зеленая, цвета крыжовника (гроссулярия) кальциево-алюминиевая разновидность граната с небольшой примесью андрадитового компонента. Окраска минерала обусловлена присутствием трехвалентного железа, изоморфно замещающего алюминий. Камни, содержащие менее 2 % железа, почти бесцветны, но даже незначительная примесь хрома вызывает ярко-зеленую окраску. Показатель преломления 1,735...1,800, твердость по Моосу 6,5–7,5.

Характерная форма кристаллов ромбододекаэдра и тетрагонтриоктаэдра, но встречаются и искаженные формы. Размеры кристаллов изменяются в широких пределах, большинство кристаллов непрозрачны. В ювелирном производстве используются только чистые прозрачные кристаллы.

Гроссуляр встречается довольно часто в известковых скалах и продуктах гидротермального изменения серпентинитов и габбро. Месторождения гроссуляра известны в России, Индии, Пакистане и др. Наиболее известен гроссуляр из Пакистана, называемый «пакистанским изумрудом», он светло-зеленого цвета с сильным блеском, подобно демантоиду. На Южном Урале находили гроссуляр на г. Магнитной, у г. Верхний Уфалей на Шеелинском месторождении никелевых руд.

Кроме гроссуляра в ювелирной промышленности используется гидрогроссуляр. Наиболее известны гидрогроссуляры из США и Южной Африки, называемые аризонским и трансваальским жадом из-за внешнего сходства с жадеитом. Гидрогроссуляр – массивная мелкозернистая полупрозрачная порода, мономинеральная с рассеянными зернами хромита. Как ювелирное сырье используются только зеленые и розовые разновидности гидрогроссуляра. Окраска первой обусловлена присутствием хрома, а второй – марганца. Показатель преломления гидрогроссуляра из Южной Африки 1,72...1,73; твердость по Моосу 7,5. В США он добывается из россыпей, а в Южной Африке из коренных месторождений, связанных с горизонтами габбро Бушвельдского массива [4].

Гессонит является железистой разновидностью гроссуляра, содержащий до 50 % андрадитового компонента. Для гессонита характерна очень красивая медово-оранжевая окраска, реже встречается гессонит пурпурно-красной, лилово-красной (аметистоподобной) окраски. Внешне он очень похож на гиацинт (циркон), но обладает несколько меньшей твердостью, что обусловило его название (по гречески «эссон» значит более слабый, худший). Показатель преломления 1,742...1,748, твердость 7,0. Встречается гессонит только в известковых скалах как пневматолито-гидротермальный минерал. В небольшом количестве он добывается из комплексных россыпей драгоценных камней на острове Шри Ланка. Находки его известны и у нас в стране: на Среднем Урале (Палкинская копь) и на Южном Урале (Ахматовская копь на Чернореченских горах). Имеется он и в Италии [3, 4].

Демантоид является ювелирной разновидностью андрадита, окрашенной в ярко-зеленый цвет. Он обладает прекрасной игрой цвета, обусловленной сильным светопреломлением, и ярким блеском, особенно при искусственном освещении, что отразилось в названии камня: «диамант» – алмаз. Название камню «демантоид» дано Н. Норденшильдом в 1856 году, который привез камень в Петербургский горный институт со Среднего Урала.

По составу демантоид относится к кальциево-железистым гранатам (в вес. %):  $\text{SiO}_2$  – 34,54;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 31,43;  $\text{CaO}$  – 33,34 (Бобровское месторождение, Урал). Окраска минерала обусловлена присутствием окисного железа, яркость и интенсивность окраски усиливается примесью хрома, содержание которого не превышает обычно сотых долей процента.

Для демантоида характерны хорошо выраженные кристаллические формы, чаще встречаются округлые или овальные зерна, образно называемые горняками Италии «семенами асбеста». Для мелких зерен характерно радиально-лучистое строение и включения серпентина и асбеста. Зерна демантоида обычно мелкие и редко превышают 10 мм. Найденные в 19 веке два камня на Урале имели массу 29,8 г и 50,5 г, и считались уникальными. Коэффициент дисперсии демантоида составляет 0,057, что в два раза выше, чем у других гранатов. Показатель преломления 1,83...1,90, твердость 6,5 (ниже, чем у других гранатов), плотность 3,80...3,90 г/см<sup>3</sup>.

Демантоид очень красив и довольно редок, ювелирами ценится значительно дороже, все другие гранаты.

Месторождения демантоида известны только на Урале, где он иногда неправильно назывался «хризолитом». Отсюда он наряду с изумрудом экспортировался в конце 19 – начале 20 вв. На Урале два месторождения демантоидов. Оба на речках Бобровках. Одно – восточнее Нижнего Тагила, другое – севернее Верхнего Уфалея. Последнее месторождение Полдневской Бобровки включает до 20 отдельных проявлений, связанных с Каркодинским массивом пород габбро и перидотитов. Демантоиды добывались из россыпей на впадающих в Бобровку речках Хризолитка, Солдатенка, Крутоберега и Шароглазка. Это месторождение известно с 1874 года от коллекционера А.В. Калугина, который ошибочно назвал минерал хризолитом.

Топазолит – редко встречающаяся разновидность андрадита. Из-за характерного медово- или золотисто-желтого цвета имеет сходство с топазом (отсюда название). Показатель преломления 1,84...1,89, твердость 6,5–7,0, плотность 3,75...3,85 г/см<sup>3</sup>. Топазолит встречается в виде мелких зерен. Известные проявления топазолита в России, Италии, Швейцарии имеют лишь минералогическое значение.

Гранаты используются в абразивной промышленности и в ювелирном деле. В качестве абразивов чаще всего применяются железистые гранаты и, особенно, альмандин, несколько реже родолит, спессартин и андрадит.

Из красиво окрашенных, преимущественно прозрачных камней изготавливаются вставки для колец, брошей, кулонов, бус. К драгоценным



камням относятся (по мере возрастания их ценности) демантоид, гроссуляр, гессонит, родолит, топазолит, спессартин, пироп и альмандин. Уваровит и гидрогроссуляр используются в основном как поделочные камни.

Демантоид гранится по форме бриллиантовой огранки, реже ему придается плоская ступенчатая форма. Пироп, альмандин, спессартин и гессонит обычно обрабатываются в виде кабошонов. Для осветления очень темных камней с тыловой стороны кабошона выбирается часть камня по серповидному профилю.

Названные разновидности гранатов нередко используются вместе с другими более дорогими камнями – алмазом, изумрудом и т. д. Кроме того, альмандин и гессонит используются для изготовления камней. Щетки уваровита и гидрогроссуляр идут на декоративные поделки, причем изделия из уваровита ценятся значительно дороже, чем из гидрогроссуляра.

Гранаты широко распространены в природе, но ювелирные их разновидности встречаются значительно реже. Только пироп, демантоид и альмандин являются объектами самостоятельной добычи, в связи, с чем технические требования к сырью в настоящее время разработаны только для этих камней (демантоид – ОСТ 41.128-77, пироп и альмандин – МРТУ 41-2-70) (табл. 9).

Таблица 9

Технические требования к сырью

Наименование камня	Бездефектная область камня		Сорт
	Качественная характеристика	Минимальные размеры	
Демантоид	Зеленый,	3×3×3	Высший
	Травяно-зеленый	1,5×1,5×1,5	I
	Светло-зеленый	3×3×3	II
	Золотисто-зеленый	1,5×1,5×1,5	III
	Табачный, шоколадный	5×5×5	IV
Пироп	Красный, темно-красный, лилово-красный. Окраска равномерная интенсивная.	5×5×5	I
	Красный, лилово-красный. Окраска равномерная различной интенсивности	4×4×4	II
Альмандин	Красный, буровато-красный, густо-оранжевый, темно-вишневый. Окраска равномерная интенсивная	5×5×5	I
	Красный, оранжевый. Окраска равномерная различной интенсивности	4×4×4	II

Стоимость гранатов на мировом рынке неодинакова. Постоянно пользуется большим спросом и высоко ценится демантоид, который в последние годы

экспортировался в небольшом количестве из Италии в США по цене от 500 до 5000 долларов за карат. Весьма дорогими являютсяgrossуляр и гессонит, экспортируемые Танзанией и, в меньшей степени, Кенией и Канадой по цене от 200 до 1000 долларов за карат. Продолжает оставаться дорогим (до 200 долларов за карат) родолит, поставляемый на мировой рынок Танзанией, республикой Шри Ланка и, в меньшем количестве, США. Пироп (из США, ЮАР, Танзании и Кении) и альмандин (из Малагасийской республики, Шри Ланки, реже из Индии и Бразилии) оцениваются от 10 до 100 долларов за карат [4].

#### 1.1.8. Горный хрусталь

В данном разделе рассматриваются бесцветные и окрашенные кристаллы кварца, используемые для огранки и возможных поделок (ювелирное и ювелирно-поделочное сырье), а также декоративные друзы кристаллов кварца (коллекционный материал). Исключение составляет фиолетовый кварц – аметист, который описан в разделе 1.1.9.

Группа горного хрусталя объединяет кристаллические разновидности низкотемпературной модификации кварца, устойчивой до температуры 573 °С. Химическая формула минерала  $\text{SiO}_2$ . Теоретический химический состав Si – 46,7% и  $\text{O}_2$  – 53,5%. Наиболее близок к этому составу бесцветный горный хрусталь, но и он содержит примеси Fe, Al, Ti, Ca, Na,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др., суммарное количество которых не составляет 0,1...0,2 %. Одни примеси являются структурными, а другие присутствуют в виде мельчайших твердых и газовой-жидких включений.

Кварц кристаллизуется в тригональной сингонии (тригонально-трапецоэдрический вид симметрии). Наиболее развиты грани гексагональной призмы и ромбоэдров. Слабее развиты грани дипирамиды и тригонального трапецоэдра. Обычный облик кристаллов коротко- и длиннопризматический, пальчато-игольчатый, уплощенно-пластинчатый.

У кварца отсутствует плоскость симметрии и центр инверсии, что обуславливает развитие правых и левых энантиоморфных кристаллов, различающихся по положению граней тригональной пирамиды и тригонального трапецоэдра относительно ребра призмы.

Кристаллы кварца обычно сдвойникованы. Наиболее распространены дофинеиеские и бразильские двойники, изредка встречаются японские.

Кварц имеет твердость 7,0 по шкале Мооса, плотность его обычно 2,651. Блеск стеклянный, спайность неясная по ромбоэдру, излом раковистый. Он стоек по отношению к кислотам и растворим только в плавиковой кислоте.

Кварц оптически положительный, одноосный минерал с показателем преломления  $N_o = 1,544$ ,  $N_e = 1,553$ , двупреломление 0,009. Характерным свойством чистого горного кварца является способность пропускать ультрафиолетовые и инфракрасные лучи и вращать плоскость поляризации

световой волны. Эти свойства кварца используются в оптике. Прозрачные кристаллы кварца, лишенные двойников, включений и структурных дефектов, обладает резко выраженным пьезоэлектрическим эффектом, в связи, с чем широко применяются в ультразвуковой технике и радиоприборах.

По окраске в группе горного хрусталя выделяются: 1) собственно горный хрусталь – бесцветный, водяно-прозрачный; 2) раухтопаз – дымчатый прозрачный горный хрусталь; 3) морион – смоляно-черный; 4) цитрин – желтый, прозрачный.

Название «горный хрусталь» происходит от греческого «христаллос» – лед (кварц – это окаменелый лед в представлении древних). Очень мелкие двуконечные кристаллы водяно-прозрачного кварца с ярким блеском получили название «диаманты» (от измененного греческого «адамас» – алмазоподобный). К названию «диамант» обычно добавляются соответственно названия мест находок и распространения кварца (мармарошские по названию Мармарошского массива в Карпатах, алансонские, бристольтские, херкимерские – от названия местечек и провинций Франции, Англии, США и т. д.). Морион – сокращенное от «морморион» – бурый горный хрусталь, обычно густо окрашенный до черного, просвечивающий лишь в тонких стеклах. Дымчатый кварц, или раухтопаз, в отличие от мориона, всегда прозрачный, оттенки его цвета изменчивы, от очень бледного до темно-коричневого. Цитрин – назван так за его желтый цвет («цитрус» по латински подобный лимону). Окраска его варьирует от золотисто-желтой до оранжевой и каньячно-желтой. Окраска кристаллов кварца бывает однородной или распределяется неравномерно в виде тонких полос или зон роста, параллельных вершинным граням. В крупных кристаллах кварца иногда зонально чередуются разные виды окраски.

Дымчатый цвет кристаллов кварца обусловлен изоморфным замещением четырехвалентного кремния трехвалентным алюминием, а смоляно-черный цвет мориона связан с наличием центров дымчатой окраски и дефектов кристаллической структуры непримесного характера.

У цитринов наблюдается три типа окраски. Окраска первого типа у желто-бурых железистых цитринов обусловлена примесью коллоидного железа и трехвалентного железа. Окраска второго типа у золотисто-желтых цитринов обусловлена замещением четырехвалентного кремния трехвалентным алюминием. При нагревании до 200 °С окраска исчезает. Такая окраска редка и называется радиационной. Окраска третьего типа получается отжигом морионов при 300...400 °С.

Кроме чистых кристаллов кварца в природе встречаются кристаллы с включениями рутила, актинолита, тремолита, турмалина, хлорита, эпидота, серицита, карбонатов, пирита, гематита. Среди них выделяются следующие разновидности: кварц-волосатик, моховой или пейзажный кварц, зональный кварц. Кварц-волосатик или просто волосатик – это кристаллы бесцветного или дымчатого горного хрусталя с включениями игольчатых или нитевидных минералов. Толщина иголок обычно не превышает 0,3мм при длине 2см и

более, реже достигает 3...5мм. Иногда включения закономерно срastaются друг с другом, например, в виде сагенитовой решетки рутила.

В моховом и пейзажном кварце неравномерно располагаются чешуйчатые включения хлорита, эпидота, серицита, короткие иголки турмалина и других минералов, часто создавая прихотливый рисунок.

В зональном кварце присыпки чешуек серицита, хлорита, гематита в виде узких полосок по зонам роста подчеркивают внутреннюю структуру кристалла. К перечисленным разновидностям можно добавить образцы горного хрусталя с золотисто-желтыми додекаэдрами пирита, ориентированными параллельно кристаллическим граням кварца. К числу довольно редких разновидностей относятся кристаллы кварца с включениями золота или самородной меди.

Природные кристаллы горного хрусталя в технике и ювелирном деле успешно заменяются синтетическим кварцем. Разработаны способы выращивания цветного кварца и изменения или усиления окраски природных кристаллов. Так, например, для синтеза коньячно-желтых цитринов с первым типом окраски в шихту добавляют железо. Железистые цитрины с более эффектной и устойчивой окраской получают посредством отжига бледноокрашенного аметиста при температуре 450...500 °С, а цитрины с радиационной окраской – при гамма-облучении синтетических бесцветных кристаллов кварца со специально введенными примесями. Наконец, цитрины с окраской третьего типа и раухтопазы получают облагораживанием мориона в результате отжига кристаллов в автоклавах при температуре 250...300 °С и давлении 150...200 атм. Способом термической обработки кристаллов для получения более дорогого цитрина издавна пользовались уральские горщики, запекая темно-дымчатые кристаллы кварца в хлебе.

Кварц имитируется стеклом. Изделия из стекла можно отличить от изделий из горного хрусталя по твердости (у кварца она выше), по отсутствию эффекта охлаждения кожи рук, щеки и т. п. [4].

Горный хрусталь известен на Урале со времен палеолита. В прошлом на Урале кристаллы звались «струганцы» (как карандаш). Да и во всем мире он вызывал восхищение. Известный поэт и минералог Гете написал о кварце: «В мире минералов самым прекрасным является самое простое...». «Из воды образуется хрусталь, когда она полностью утрачивает теплоту», – философствовал Аристотель. Минералог Г.Г. Леммлейн, долгие годы посвятил изучению кварца, назвал его самым элегантным минералом.

Горный хрусталь по убеждению греков и римлян был символом скромности и чистоты. Оккультисты используют кристаллы кварца в медитациях. Роберт Грин в 1592 году сказал: «камень ценный – хрусталь – полон тайных качеств».

Очень популярны были в древности (5–6 вв. до н. э.) «магические кристаллы» – шары. Их изготавливали до наших дней. Использовали «читающие шары» прорицатели. На Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году экспонировался шар из хрусталя диаметром 16,5 см. В национальном музее в Вашингтоне имеется шар диаметром 33 см весом 48,5 кг, изготовленный китайским мастером из камня, найденного в Бирме. Самый большой шар из горного хрусталя диаметром 75 см был сделан в Японии.

Найдены таинственные хрустальные черепа возрастом в тысячи лет: в 1924 году в развалинах города Майя Лубаантуна (Южная Америка), в 1927 году в

Белизе, затем в Европе «Британский хрустальный череп», в Монголии и на Тибете (череп «Макс»).

В 19 в. в моде личные печати из камня, в том числе из горного хрусталя, так как он отлично полируется. Печати изготовляли мастера Екатеринбургской гранильной фабрики.

Самый крупный в мире чистый кристалл горного хрусталя весом 5,5 т был найден в Бразилии в районе Диамантина в 1938 году. На Южном Урале в 1967 году найдены два гигантских кристалла «Юбилейный I» и «Юбилейный II» весом по 3 т на Светлинском месторождении. Кроме этого кварц найден в п. Слюдорудник, у с. Кузнецкого, на Астафьевском месторождении около г. Магнитогорска, в г. Карабаше и других местах [3].

При археологических раскопках в Египте, Ассирии, Греции, Риме найдены мелкие изделия, бусы, печати из бесцветного горного хрусталя. Известны сделанные с высоким мастерством крупные резные чаши, вазы, бокалы, часто с гравировкой и инкрустированные серебром и золотом китайской, японской и арабской работы 7 – 8 вв. Из художественных изделий высоко ценились шары для охлаждения рук в жаркие дни, а также зажигательные стекла для обжигания ран.

Начиная с 19 в., в связи с развитием производства хрустального стекла, применение бесцветного горного хрусталя, применение бесцветного горного хрусталя в ювелирном деле становится ограниченным. Стал широко использоваться дымчатый кварц.

Так как пьезокварц ценится выше, чем ограночный, сырьем для ювелирной промышленности являются кристаллы, не пригодные по своим размерам и качеству для применения в технике.

Цитрин благодаря своей яркой и красивой окраске не уступает по цене рядовому аметисту и относится к ювелирным драгоценным камням IV порядка, тогда как бесцветный горный хрусталь, дымчатый кварц и морион принадлежат к ювелирно-поделочным камням I порядка. В 1974 году цены на цитрин, импортируемый в США из Бразилии, составляли 1...10, а на дымчатый кварц 0,25...2 доллара за карат.

Прозрачные бесцветные кристаллы кварца гранятся в бриллиантовой или комбинированной форме, непрозрачные морионы – в плоской, а волосатики и кварцы с декоративными включениями шлифуются в форме кабошонов. Диаманты используются в ювелирных изделиях, не подвергаясь специальной обработке, в естественном виде.

Кристаллы кварца являются ценным коллекционным материалом, иногда более дорогим, чем кондиционное сырье, которое может быть из них извлечено для использования в технике или ювелирном производстве. В качестве коллекционных используют друзы или хорошо образованные одиночные кристаллы кварца однородной или зональной окраски, фантом кристаллы (зональные кристаллы горного хрусталя с призрачным контуром ранних форм роста), образцы с эффектом голубых лучей и т. д.

Требования промышленности к качеству ограночного кварца в сырье регламентируется для ограночного кварца стандартом ОСТ 41-128-77, а для ювелирно-поделочных сортов волосатика, цитрина и мориона в сырье МРТУ 41-2-70 (табл. 10, 11).

Таблица 10

## Технические требования к дымчатому кварцу в сырье

Декоративно-качественная характеристика бездефектной области камня	Минимальные размеры бездефектной области камня, мм	Сорт
Окраска равномерная дымчатая различной интенсивности с розоватым или фиолетовым оттенком	15×15×12	I

Примечание. Для всех сортов камней, предназначенных для огранки, допускаются единичные точечные газово-жидкие включения.

Дефектами ювелирного и ювелирно-поделочного кварца являются трещины, замутнения, газово-жидкие, а также недекоративные твердые включения. Обычные дефекты диамантов – сколы по вершинам и ребрам кристаллов и вкрапления черных пылевидных частиц [4].

Таблица 11

## Технические требования к ювелирно-поделочному кварцу (волосатику, цитрину, мориону) в сырье

Название камня	Качественная характеристика сырья	Минимальные размеры бездефектной области, мм	Выход бездефектной области, %	Сорт
Волосатик	1. Бесцветный или слабоокрашенный в дымчатые, фиолетовые или золотистые тона с четко выраженными блестящими игольчатыми, нитевидными включениями различных минералов, степень насыщения включениями 20...60 %	20×20×20	75...100	I
	2. То же. Степень насыщения включениями 5...20 и 60...80 %	20×20×20	75...100	II
	3. То же. Допускается газово-жидкие включения, мутины, вуали в количестве не более 20 % объема камня	20×20×20	75...100	III
Морион	Окраска равномерная смоляно-черная	15×15×15	60...100	I
Цитрин	1. Окраска интенсивная равномерная оранжево-желтая, золотисто-желтая, лимонно-желтая или «чайная»	10×10×10	75...100	I
	2. Окраска различной интенсивности равномерная оранжево-желтая, лимонно-желтая или «чайная»	10×10×10	50...100	II

### 1.1.9. Аметист

Название камня происходит от греческого *ametistus* – безалкогольный. В Древней Греции так именовались все фиолетовые и пурпурно-красные драгоценные камни, по преданию предохраняющие от чрезмерного опьянения. В настоящее время аметистом именуется низкотемпературная модификация кварца, окрашенная в фиолетовый цвет различных оттенков.

Аметист известен человечеству несколько тысячелетий. Он использовался для изготовления гравированных печатей в эпоху цивилизации эллинов. Аметист – один из 12 драгоценных камней, упомянутых в Библии.

Аметист представляет собой двуокись кремния  $\text{SiO}_2$  содержащую в весовых процентах Si – 46,8% и  $\text{O}_2$  – 53,2% с постоянной примесью  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . С увеличением содержания  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  возрастает и интенсивность окраски. В бледно-фиолетовых камнях количество  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  колеблется от 0,004 до 0,015 %, в фиолетовых от 0,005 до 0,07 %, а в темно-фиолетовых от 0,02 до 0,35 %. Из других примесей встречаются Al, Li, Na, K, Ca, Mo, C, Mn, Ti, Cu.

Аметист относится к тригонально-трапецоэдрическому классу симметрии тригональной сингонии. Для его кристаллов характерны укороченные гексагонально-призматические формы с развитием граней ромбоэдров и гексагональной призмы. Грани тригонального трапецоэдра и тригональной дипирамиды редки. Часто наблюдаются скипетровидные кристаллы, образованные в результате нарастания аметиста на бесцветные, молочно-белые и дымчатые кристаллы кварца. Нередко встречаются кристаллы многоглавого роста и блочного строения, реже – имеющие вторую генерированную головку. Для аметистов характерно интенсивное двойникование по бразильскому закону.

Кристаллы аметиста обычно имеют небольшие размеры. Сравнительно крупные индивиды длиной до 10...15 см встречаются редко, в большей своей части они непрозрачны или полупрозрачные, сильно трещиноватые, и только небольшие участки таких кристаллов прозрачны и равномерно окрашены. По габитусу различаются два типа кристаллов: призматический, или обелисковый, со сравнительно однородной окраской, характерный для бразильских и уругвайских месторождений с зональной неравномерной окраской, обычной для уральского аметиста.

Твердость аметиста по шкале Мооса 7,0, плотность  $2,651 \text{ г/см}^3$ , однако при наличии тонкорассеянных включений гематита он может быть несколько выше. Спайность несовершенная по граням отрицательного ромбоэдра и отчетливая по граням положительного ромбоэдра. Аметист оптически одноосен, иногда обнаруживает аномальную двуосность, связанную с двойникованием.

Цвет аметиста фиолетовый с синеватым и красноватым оттенком различной интенсивности. Встречаются разновидности слабоокрашенные, почти бесцветные, и густо окрашенные, бархатистые. Лучшими считаются яркоокрашенные камни с кроваво-красным оттенком. Как правило, окраска в кристалле распределена неравномерно в виде серии тонких слоев,

параллельных граням ромбоэдров, либо в виде расходящихся от центра лучей (по секторам роста положительного ромбоэдра). Иногда встречаются камни с беспорядочным пятнистым расположением окрашенных участков. Известны бесцветные кристаллы с чередующимися бесцветными, дымчатыми и фиолетовыми зонами.

Аметисты разных месторождений обычно отличаются оттенками окраски: мадагаскарские имеют синевато-лавандовый цвет, кристаллы из штата Северная Каролина (США) обладают красновато-фиолетовым оттенком, тогда как бразильские и уругвайские бывают с желтоватым, цитриновым оттенком. Аметистам некоторых месторождений Мадагаскара, Урала и США (штат Пенсильвания) свойственна смешанная фиолетово-дымчатая окраска.

Лучшие уральские аметисты отличаются красивой окраской в кроваво-красных тонах, а также способностью сохранить ее при искусственном освещении, в то время как многие саксонские и бразильские камни становятся при этом серыми и непрозрачными.

В природных условиях окраска аметиста, как правило, устойчива. В россыпях Цейлона, Бразилии и Мадагаскара кристаллы мутнеют лишь в тонком поверхностном слое, сохраняя внутри прозрачность и цвет. Однако известно, что под воздействием солнечных лучей цвет аметиста может изменяться. Например, некоторые аметисты бразильских и африканских месторождений становятся желтовато-зелеными или обесцвечиваются даже после непродолжительного солнечного облучения.

Окраска аметиста изменяется также и при термической обработке. Обесцвеченный при нагревании до температуры 200 °С аметист восстанавливает свою окраску при охлаждении. Прокаливание аметиста при температурах до 350...400 °С ведет к утрате окраски, которая может быть восстановлена под действием рентгеновских или солнечных лучей. Нагревание до более высоких температур (450...500 °С) приводит к появлению устойчивой желтой окраски. После прокаливания выше 545...575 °С бразильский аметист становится мутно-молочным, опалесцирующим, в то время как уругвайский не теряет прозрачности. Это свойство бразильских аметистов используется для получения из некачественных образцов материала, имитирующего лунный камень. Путем радиоактивного облучения можно добиться существенного увеличения интенсивности окраски, однако эта добавочная окраска быстро исчезает под действием солнечного света [4].

В свое время уральские аметисты не имели соперников на мировом рынке. Академик А.Е. Ферсман отмечал, что «аметисты всех других месторождений при искусственном освещении теряли игру, красоту, сочность тона. Аметисты Среднего Урала сохраняют свой блеск, а камни Тальяна и Санарки загораются кровавым отблеском». Специалисты безошибочно определяли ограненные камни из Ватихи, Хасаварки, Карабаша, Алданских и Дашкесанских месторождений по ярким свойствам цвета и игры.

По историческим описаниям аметист отмечается в Кыштымском горном округе. Одно месторождение расположено в 6 верстах от Верхнего-



Кыштымского завода, в белом глинистом песке, представляющем продукт разрушения гранита. Камни были светлые и окрашенные лишь на концах. Второе месторождение находится на северо-западном берегу озера Иткуль. Находка аметистов была сделана случайно крестьянином под растительным слоем почвы. В гнезде было четыре-пять пудов камней. Впоследствии их добывали здесь возами. Эти аметисты были прорезаны иголочками рутила [3].

А.Е. Ферсман в 1920 году писал в труде «Самоцветы России»: «В шести верстах от Кочкаря, по дороге к деревне Захаровке на восток, здесь встречен шурф с темными горными хрустальными, которые к вершинам переходит в аметист превосходного цвета и игры». Это Чухсинское месторождение около Пласта.

Аметист отмечается в россыпях реки Санарки, «однако главное распространение аметист имеет по реке Каменке, особенно по ее притоку – речке Теплой. Эти камни, попадающиеся в шлихе после промывки золота, шли в огранку», – упоминает А.Е. Ферсман. Эти места расположены южнее города Пласт. Находят аметист у Карабаша на Уфимском увале, обрывов Юрмы, по всему восточному склону Уральских гор.

Но наиболее крупные месторождения по объему добычи аметиста расположены за рубежом. На Ватике запасы аметиста составляют 2500 кг. А Бразилия только за год поставляет на мировой рынок 5 т. аметиста. А в Африке его добычи в 1958–1964 гг. 60 т. На Урале в 1948–1978г.г. добыли 900 кг аметиста. [3].

Аметист широко использовался для изготовления ювелирных изделий, гравированных печаток и гемм еще в античные времена. Начиная со средних веков, этот камень стал излюбленным украшением предметов церковного обихода и одежды служителей христианской церкви. Для ювелирных изделий аметист снова стал широко применяться в Европе во второй половине 18 века после открытия Дрездена. В России он получил широкую известность в конце 18 века.

В современном ювелирном производстве аметист применяется для изготовления ожерелий, брошек, бус, а также вставок в кольца, серьги, запонки и т.п. Его прозрачные интенсивно окрашенные разновидности относятся к драгоценным камням IV порядка.

Аметист довольно легко распиливается и хорошо полируется. Существуют различные способы обработки камня: очень густо окрашенные или замутненные аметисты кабошонируются, а прозрачные гранятся в ступенчатой или комбинированной (бриллиантово-ступенчатой) форме.

Технические требования на ювелирный аметист в сырье регламентированы ОСТ 41.128-77 (табл. 12 и 13) [4].

Таблица 12

## Технические требования к аметисту для огранки

Месторождение	Качественная характеристика сырья	Минимальные размеры бездефектной области камня, мм	Сорт
Хасаварка, Ватиха, Обман	Прозрачный фиолетовый или пурпурный: а) окраска интенсивная	15×15×12	Высший
		10×10×8	I
		6×6×5	II
	б) окраска средней интенсивности	10×10×8	I
		6×6×5	II
		10×10×8	I
	в) окраска слабая		

Примечание. Допускается зональная и струнчатая окраски.

Таблица 13

## Технические требования к аметисту для вставок в форме кабошенов

Месторождение	Качественная характеристика сырья	Минимальные размеры бездефектной области камня, мм	Минимальная масса камня	Сорт
Хасаварка, Ватиха, Обман	Прозрачный фиолетовый или пурпурный различных оттенков с мутинами, вуалью, мелкой трещиноватостью, газово-жидкими включениями твердых минералов: а) интенсивно и средне окрашенные б) слабоокрашенный			
		10	5	I
		16	10	II

Примечание. Для всех сортов неокрашенные бесцветные участки допускаются в объеме не более 10 % от массы куска камня.

## 1.1.10. Клиногумит

Прозрачная разновидность клиногумита желтого или медово-желтого цвета – новый оригинальный ограночный материал, широко рекламируемый за рубежом.

Формула минерала  $Mg_9(SiO_4)_4[OH, F]_2$ , в качестве примесей могут присутствовать Ti, Fe, Al, Ca, K, Na и др. Кристаллизуется в призматической форме симметрии. Образует кристаллы, а также зернистые агрегаты. Форма кристаллов обычно неправильная, реже изометрическая, богатая гранями. Цвет желтый, оранжевый или коричневый. Окраска связана с присутствием ионов титана в октаэдрических позициях кристаллической решетки.

Блеск клиногулита стеклянный, твердость 6,0–6,5 по Моосу, плотность 3,17...3,25. Спайность несовершенная по пинакoidу. Оптически двуосный, положительный. Угол погасания с  $N_p=7...15^\circ$ . Величина показателей преломления (минимальные у бедных железом):  $N_g = 1,651...1,698$ ,  $N_m=1,636...1,673$ ;  $N_p=1,623...1,664$ . Яркая золотисто-желтая окраска проявлена по  $N_p$ , что учитывается при огранке камня [2, 4].

Ювелирный клиногулит желтого цвета из шпинель – форстеритовых скарнов месторождения Кухилал имеет следующий химический состав (в вес. %):  $\text{SiO}_2$  – 37,88;  $\text{TiO}_2$  – 3,01;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,21;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,02;  $\text{FeO}$  – 0,18;  $\text{MgO}$  – 57,14;  $\text{CaO}$  – 0,017;  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,20;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,20;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,17; F – 1,90 [4].

## 1.2. Ювелирно-поделочное камнесамоцветное сырье

Группа ювелирно-поделочных камней включает в основном просвечивающие и непрозрачные моно- (агат, малахит, кахолонг и др.) и полиминеральные (лазурит, родонит, чароит т др.) агрегаты. Камни этой группы обладают красивой окраской, иногда в сочетании с оригинальным рисунком, которые проявляются равно как на малых, так и на крупных поверхностях – это позволяет использовать их для изготовления ювелирных, художественных и декоративных изделий.

В ювелирном и галантерейном производстве ювелирно-поделочные камни используются для кабошонов, бусин, плоских вставок; при этом ювелирные камни сочетаются в конструкции с драгоценными металлами и реже с мельхиором, а ювелирно-поделочные – с мельхиором, реже с серебром, а также с дешевым металлом.

Кабошоны различной формы служат вставками в кольца, запонки, зажимы для галстуков, перстни, браслеты, броши, кулоны и другие украшения. Наиболее эффектны кабошоны из просвечивающих камней (жадеита, сердолика, иризирующих лунного и солнечного камня, обсидиана). Из непрозрачных и слабо просвечивающих камней чаще делают плоские вставки – пластинки различных форм (круглые, овальные, угловатые, прямо- и косоугольные) с нормальными краями или «заваленными» (округлыми) и снятыми фасками. Нередко плоские вставки из однородных камней (нефрита, кахолонга) инкрустируют металлом в виде различных символов (монограмм, вензелей, знаков зодиака и др.).

Бусинам для ожерелий и различного рода подвесок чаще придают круглую форму, а также форму цилиндров, призм со скругленными ребрами многогранников и различные неправильные формы, получаемые в результате голтования (окатывания) остроугольных обломков в специальных барабанах. Для голтования обычно используются отходы камнерезного производства или некондиционный по величине камень.

Полосчатые контрастно окрашенные ювелирно-поделочные и поделочные камни (агат, кремень, некоторые разновидности полосчатых яшм) – прекрасный материал для изготовления гемм. Наиболее эффектны в геммах сочетания слоев белого и красного или черного и белого цветов. В настоящее время геммы вырезают с помощью ультразвука.

Ценность изделий из высокодекоративных ювелирно-поделочных камней определяется не только стоимостью самого камня и материала оправы, но и в значительной мере художественными достоинствами, совершенством формы и сложностью техники исполнения (трудоемкостью).

Некоторые ювелирно-поделочные камни (малахит, нефрит, родонит и др.) имеют более широкий диапазон использования – от вставок и кабошонов в ювелирных изделиях до облицовки элементов интерьера уникальных зданий и памятников. Так, малахит и родонит, являясь сырьем для изготовления вставок в броши, серьги, кольца или высокодекоративных камнерезных изделий (пепельниц, чернильных приборов, шкатулок, чаш и т. п.), в тоже время используются как великолепный облицовочный материал (например, родонит в оформлении станции метро «Маяковская» в Москве, а малахит – в облицовке колонн Исаакиевского собора и Малахитового зала Зимнего дворца в Санкт-Петербурге). В качестве собственно поделочных камней используются те же породы и минеральные агрегаты, обладающие красивой окраской и рисунком, но у некоторых эти качества обычно проявляются на относительно крупных поверхностях, что и определяет их использование в камнерезном производстве для изготовления художественных изделий и предметов декоративно-утилитарного назначения. Из разновидностей, имеющих мелкий рисунок, делают кабошоны и плоские вставки для недорогих украшений.

Поделочные камни – сырье для производства различного рода камнерезных изделий как из монолитов, так и сборных из пластин. Изделия могут выполняться из одного или нескольких камней, а также из камня в сочетании с металлом или деревом.

Для сувениров обычно используются небольшие яркоокрашенные камни, приполированные с одной или нескольких сторон. Традиционные русские сувениры из цветного камня – уральские «горки», мозаичные палитры и наборы каменных яиц.

В виде кусочков и пластин различных форм и размеров цветные камни используются в мозаике – многоцветных картинках, панно, столешницах и аналогичных изделиях. Некоторые ювелирно-поделочные камни при достаточно большой блачности используются в качестве декоративно-облицовочного материала для оформления интерьеров, в том числе офиокальцит, змеевик, мраморный оникс и др.

Ювелирно-поделочные камни оцениваются в сырье, в полированных пластинах или штуфах, так как при распиловке выясняется механическая прочность камня, а на полированной поверхности ярче проявляются основные декоративные свойства камня – рисунок, цвет, степень просвечиваемости и однородность сложения [4].

### 1.2.1. Жадеит

Жадеит получил свое название от слова жад – упрощенного испанского *piedra de jade*, означающего поясничный или почечный камень, по приписываемой ему в 16 веке способности устранять боли в боку. Термином жад европейцы называли очень похожие по внешнему виду, но, как потом оказалось, разные минералы. Только во второй половине 19 века французскому минералогу А. Демуру удалось установить, что жад имеет две разновидности: одна относится к группе амфибола, а другая к группе пироксена. Первую он назвал нефритом, а вторую жадеитом. Однако в зарубежной литературе до сих пор слово жад используется для обозначения как нефрита, так и жадеита. Жадом называют также похожие на нефрит и жадеит тонкозернистые агрегаты: гидрогроссуляра – трансваальский жад, везувина – калифорнит, серпентина – серпентиновый жад или бовенит и др.

Жадеит является натровым алюмосиликатом пироксеновой группы, химическая формула которого  $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ ; теоретический состав (вес. %): кремнезема 59,44, глинозема 25,22, окиси натрия 15,34. В природном жадеите натрия частично замещается кальцием, а алюминий магнием, трехвалентным железом и хромом. В наиболее чистом белом жадеите из Бирмы содержание кремнезема близко к теоретическому составу, некоторое уменьшение глинозема (24,2...25,1 %) и окиси натрия (12,7...14,6 %) компенсируется содержанием  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (0,16...0,48 %),  $\text{FeO}$  (0,12...0,76 %),  $\text{MnO}$  (от следов до 0,03 %),  $\text{MgO}$  (0,27...0,39 %),  $\text{CaO}$  (0,44...1,74 %),  $\text{K}_2\text{O}$  (0,08...0,35 %). Белые жадеиты Северного Прибалхашья отличаются от бирманских более высокими содержаниями (вес. %):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (до 1,2%),  $\text{MgO}$  (0,48...1,41),  $\text{CaO}$  (0,78...2,04 %).

Обычно жадеит – твердый раствор, содержащий примесь других пироксенов, преимущественно диопсида, кроме того, геденбергида и эгирина. По количеству каждой из примесей и по соотношению этих примесей различают три разновидности жадеита: собственно жадеит, диопсид жадеит и хлормелатин. В собственно жадеите количество жадеитовой составляющей не ниже 80 %. В белом жадеите содержание жадеитовой молекулы достигает 92...98 %, а в зеленом – 80...85 %.

Диопсид – жадеиты находятся в середине изоморфного ряда жадеит – диопсид. Содержание жадеитового компонента в нем составляет 40...60 %, реже несколько больше. Минерал этой разновидности окрашен в зеленые тона и по сравнению с собственно жадеитом характеризуется повышенным содержанием кальция и магния и соответственно, понижением натрия и алюминия.

Хлормеланит – разновидность щелочного пироксена, окрашенная в темно-зеленый цвет. От собственно жадеита и диопсид-жадеита отличается пониженным содержанием глинозема, окиси натрия и, соответственно, высоким содержанием железа, кальция и магния.

Среди других пироксенов, в состав которых входит жадеитовая молекула, следует отметить омфацит. В этом минерале, сходном по окраске с

диопсиджадеитом, существенно преобладает диопсидовая составляющая по сравнению с жадеитовой.

Жадеит кристаллизуется в моноклинной системе. Хорошо образованные кристаллы очень редки и встречены в глаукофановой породе в районе Кловердейла, штат Калифорния, США. Обычно жадеит образует плотную зернистую мономинеральную породу. Она может состоять либо из чистого или почти чистого жадеита, либо из диопсид-жадеита, а также из омфацита или хлормеланита. В небольших количествах иногда присутствует альбит, амфидол, слюда, анальцит, натролит и др.

Макроструктура жадеитовой породы может быть от очень тонкой до средне и даже крупнозернистой. Наиболее мелкозернистые разновидности полупрозрачны. В большинстве случаев зернистая структура устанавливается невооруженным глазом, именно это и отличает жадеитовые породы от сходных по внешнему виду нефритов, всегда обладающих чрезвычайно тонкой спутано-волокнистой структурой.

Микроструктура кристаллического агрегата жадеита тоже разнообразна: призматически-зернистая, зубчатая, гранобластовая, катакластическая, цементная, игольчатая, радиально-лучистая или сноповидная. Характерно очень плотное сцепление зерен, обуславливающее высокую вязкость породы.

Блеск жадеита стеклянный, слегка матовый или перламутровый, спайность хорошая. Твердость по Шкале Мооса составляет 6,5–7,0 и выше, чем у нефрита. Плотность 3,2...3,5 г/см<sup>3</sup> тогда как у нефрита не больше 3,0. Оптически двуосный, положительный. Показатели преломления у чистого бирманского жадеита  $N_a = 1,683$ ,  $N_e = 1,556$ ,  $N_g - N_p = 0,027$ , угол оптических осей  $2V = 75^\circ$ . Дисперсия оптических осей слабая или совсем отсутствует (кроме диопсид-жадеита).

Цвет мономинеральных минералов жадеитовых пород может быть белый, зеленый от желтовато-зеленого до изумрудно-зеленого, иногда черный, розовый, коричневый, красный, желтый, фиолетовый, синий. Ярко-зеленые изумрудные окраски обусловлены хромом, а мутно-зеленая и желто-зеленая – железом, замесившими алюминий в кристаллической решетке. В прозрачной изумрудно-зеленой разновидности жадеита, напоминающей изумруд, содержание хрома обычно не превышает сотых долей процента, тогда как в непрозрачном минерале, так называемом хромжадеите, содержание хрома может достигнуть 7% и более. Ярко-красная и желтая окраски обычно наблюдаются в приповерхностном слое жадеитовых валунов (Бирма) и обусловлены проникновением гидроокислов железа в мелкие поры и микротрещины во время длительного процесса выветривания.

Перед паяльной трубкой жадеит легко плавится в прозрачный шарик, который при дальнейшем нагревании мутнеет из-за раскристаллизации жадеитового стекла в смесь нефелита и альбита. Благодаря присутствию натрия пламя окрашено в желтый цвет.

Жадеитовая порода, наряду с нефритом и менее вязкими кремнями, использовалась человеком еще в каменном веке в качестве скребков, долот и других инструментов. По мере развития цивилизации жадеит становится излюбленным материалом для изготовления художественных предметов культово-религиозного и декоративного назначения. Жадеит, известный под названием чалчихуитла, у ацтекских племен Мексики (во времена завоевания ее испанцами) ценился дороже золота. Это был культовый драгоценный камень ацтекской знати, подобно нефриту в Китае. До сих пор при археологических раскопках на полуострове Юкатане (в Южной Мексике), в Гватемале, Панаме Коста-Рике находят многочисленные художественные изделия и амулеты из жадеита культуры Майя и более ранних культур.

В 16 веке резные изделия из жадеита украшали многие храмы Мексики и были непременным атрибутом в ритуалах, связанных с культом поклонения солнцу. Жадеит служит также в качестве средства, якобы исцеляющего от смертных болезней.

В древнем Китае жадеит наряду с нефритом широко применялся для изготовления художественных резных украшений, кубков ваз, перстней, браслетов и других предметов. Благодаря высоким декоративным свойствам, большой твердости, способности принимать зеркальную полировку жадеитовая порода широко используется в современном ювелирном и камнерезном производстве. Наиболее высоко ценится изумрудно-зеленая просвечивающая разновидность, которая идет на вставки в кольца, серьги и другие ювелирные украшения. Ярко-зеленые полупрозрачные и непрозрачные камни обрабатываются в форме кабошонов и бусинок.

В Бирме различают ряд торговых сортов жадеита.

1. Империял – изумрудно-зеленая прозрачная и полупрозрачная тонко-зернистая разновидность однородной окраски. Лучшие образцы ценятся очень высоко, почти как изумруд.

2. Комершиал – прожилки и пятна полупрозрачного изумрудно-зеленого жадеита на фоне зеленого непрозрачного.

3. Утилиты – ярко-зеленая непрозрачная разновидность.

Кроме того, имеются другие товарные разновидности, к числу которых относится зеленая с облачной окраской, просвечивающая, похожая на талый снег, белая матовая полупросвечивающая, напоминающая бараний жир, и белая полупрозрачная с ярким блеском. Выделяется также сорт темно-зеленый хлормеланит, идущий на изготовление дешевых украшений.

Качество жадеита в сырье регламентируется отраслевым стандартом ОСТ 41-117-76, согласно которому не допускаются трещины, мякотины, ожелезнение, инородные минеральные включения. За эталон принят жадеит Итмурундинского месторождения, для которого характерна неравномерная зеленовато-белая и серая окраска с мелкими зелеными пятнами. Минимальный размер бездефектной области камня 100×100×100. Оптовая цена поделочного жадеита составляет 4...50 долларов за 1 кг.

Во всесоюзном научно-исследовательском институте минерального сырья разработана методика искусственного окрашивания белой и серой жадеитовой породы в ярко-зеленый цвет, имитирующий природную окраску ювелирно-поделочного жадеита. Это позволяет использовать нестандартное по окраске сырье для дешевых украшений [4].

### 1.2.2. Хризопраз

Название «хризопроз» происходит от греческих слов «хризос» – золотой и «празос» – лук-порей. Хризопраз представляет просвечивающую разновидность халцедона микроволнистой или тонкозернистой структуры, окрашенную в зеленый цвет рассеянными частицами гидратированного силиката никеля. Оттенки окраски минерала варьируют от яблочно-зеленой, травяно-луково-зеленой до изумрудно-зеленой. Благодаря окраске, заключающейся в смене интенсивности и оттенка цвета минерала в пределах одного куска (или изделия).

Блеск хризопраза может быть матовым или восковым, стеклянным, полустеклянным и смолистым.

Микроструктура хризопраза весьма разнообразна – от микроволнистой и радиально-лучистой до микрозернистой.

На примере хризопраза с отечественного месторождения Сарыкулболды электронно-микроскопическим способом устанавливается четкое различие в микроструктуре образцов хризопраза разной прозрачности, просвечиваемости и степени окраски. Слабопросвечивающий хризопраз из прожилка голубовато-зеленой окраски (низкокачественный) представляет собой разнотернистый агрегат с относительно крупным максимальным размером зерен кварца (0,006...0,007мм). В нем часто встречаются выделения кварца четкой огранки, широко развиты зерна с признаками перекристаллизации, иногда встречаются выделения радиально-лучистого кварца с признаками геометрического отбора. Хризопраз луково-зеленый с хорошей просвечиваемостью из крупного куска (кондиционный) имеет равнотернистую структуру, хорошо образованных кристаллов в нем не обнаружено. Включения и в том, и в другом виде составляют 5...10 % от массы хризопраза; большая часть из них представлена чешуйчатым минералом с совершенной спайностью. Микродифракционным методом этот минерал определен как слоистый силикат типа парагонита.

В результате травления в хризопразе образуется большое количество ямок травления по границам зерен, что свидетельствует о различной кристаллографической ориентировке кварца в соседних зернах. Мелкие ямки травления возникают внутри зерен за счет газово-жидких и твердых включений, а также на месте дислокаций и других дефектов решетки кварца.

Твердость хризопраза 6,5–7,0 по шкале Мооса, плотность 2,5...2,6 г/см<sup>3</sup> спайность отсутствует или весьма несовершенная. Характер излома может быть ровным или неровным, занозистым или раковистым.



Теоретический химический состав хризопраза его формулы  $\text{SiO}_2$  следующий: кремния – 46,7%, кислорода – 53,3%. Однако за счет примесей содержание кремнезема обычно ниже. Обязательной примесью является окись никеля, содержание которой колеблется от 3,3 до 0,29%. Как правило, наиболее интенсивно окрашенные разности имеют небольшое содержание этой примеси.

Окраска хризопраза в естественных условиях может быть устойчивой или слабо блекнет на солнечном свете. При полировке из-за перегрева и потери поровой воды окраска может изменяться до серой и восстанавливается затем только после помещения образца во влажную среду. На мировом рынке был известен такой хризопраз из месторождения Шкляры (Польша) под названием «Прусский серый».

Агат, окрашенный солями никеля или хрома, имитирует хризопраз. Искусственная окраска устойчива к свету и теплу, но имеет более глухой тон. Через цветной фильтр челси она распознается благодаря остаточному коричневато-красному цвету, в то время как настоящий хризопраз выглядит зеленым. Хризопраз может быть имитирован также стеклом, которое, однако, содержит много пузырьков.

В естественных выходах (элювий, делювий и пролювий) хризопраз бывает покрыт буроватой коркой, под которой часто наблюдается непрозрачная белесоватая или белая зона толщиной до нескольких миллиметров, образовавшиеся вследствие выщелачивания. Это делает хризопраз труднораспознаваемым на фоне бурых и желто-бурых обломков силифицированных серпентитов, в которых он обычно залегает. Иногда хризопраз бывает преобразован и в сыпучую массу, напоминающую маршаллит.

Следует различать хризопраз и празопал (никельсодержащий опал), у которых одинаковый цвет; празопал имеет раковистый излом, меньшую твердость и более тусклый блеск.

На хризопраз похож зеленый или зеленовато-голубой халцедон с примесью хриколы, который был встречен на медных рудниках округа Хила, штат Аризона (США). В начале 20 в. он продавался наряду с настоящим хризопразом под названием «голубой хризопраз».

Хризопраз можно спутать с пренитом-минералом зеленого и желтовато-зеленого цвета, который кристаллизуется в ромбической системе и, в отличие от хризопраза, обычно встречается в сплошных массах почковидных агрегатов с радиально-волокнустым строением в пустотах среди изверженных основных горных пород.

Встречающиеся совместно с хризопразом моховой халцедон, сапфирин, празопал, кахолонг могут представлять интерес как ценное поделочное сырье.

Хризопраз принадлежит к ювелирным (драгоценным) камням четвертого порядка и используется в традиционной для таких камней форме кабошона, бус и камей. Изделия из хризопраза были особенно популярны в 17–18 вв.

Хризопраз широко применялся для производства предметов роскоши, украшения предметов церковного ритуала в некоторых странах Западной

Европы, мозаики, а также для инкрустаций мелких поделок. Так, в Оружейной палате хранятся медальон и табакерка, в отделке которых наряду с золотом, драгоценными и полудрагоценными камнями использовался хризопраз.

Наша промышленность вырабатывает мелкие украшения из хризопраза главным образом потому, что крупные куски встречаются редко: кабошоны овальной формы размером  $18 \times 7,7 \times 7,3$  мм, вставки для перстней  $17 \times 14 \times 4,5$  мм, а также круглые кабошоны  $10 \times 5,13 \times 7,15 \times 7$  мм. Из хризопраза бледной окраски изготавливаются плоские вставки для перстней.

При обработке хризопраза следует учитывать, что это хрупкий камень и легко раскалывается, приобретая занозистость по краям сколом. При шлифовке его нужно предохранять от слишком большого нагревания, так как он обесцвечивается вследствие обезвоживания.

Камень хорошо режется алмазным инструментом с охлаждающими жидкостями — водой или соляровым маслом. Шлифуется на чугунной планшайбе шлифпорошками № 3, 10, микропорошками М40, М20, М10; доводка производится микропорошками М5. Полируется зеленым, крокусом на войлоке, принимая зеркальную полировку. При полировке достигается красивый блеск. Технические требования к сырью определяются ОСТ 41-117-76.

Обычными дефектами хризопраза являются трещиноватость, каверзность, наличие обесцвеченных участков, примеси гидроокислов железа.

Цены на хризопраз на мировом рынке всегда остаются относительно высокими. Так в начале 20 в. стоимость хризопраза, добытого на ныне отработанных месторождениях в Калифорнии и Аризоне, составила в среднем 168,4 доллара за 1 кг. При средней стоимости 1 кг сырья, добытого в 1968 — 1970 гг. на австралийском месторождении Мальборо-Крик, от 5 до 9 долларов коммерческие цены в зависимости от качества и блачности сырья составляли в долларах за 1 кг:

- за хризопраз в кусках весом до 400 г. — 176;
- за зеленый хризопраз прекрасного качества и голтованный хризопраз — 141;
- за хризопраз яблочно-зеленый с минимумом включений или голубовато-зеленый, в некоторых кусках прозрачный и полупрозрачный — 105,8;
- за хризопраз хорошего качества стандартного цвета с редкими пятнышками в пластинках толщиной 8...15 мм — 60;
- за хризопраз яблочно-зеленый отборный, разрезанный на отдельные куски — 50.

Несортное по размерам и декоративным показателям сырье используется в качестве коллекционного материала и головок. В кустарном производстве за рубежом охотно применяется хризопраз с жилками и пятнами коричневого цвета за счет окрашивания железом из боковых пород [4].

### 1.2.3. Агат

Агатом называется агрегаты халцедона полосчатого строения. Различают тонкополосчатые разновидности – собственно агаты и грубополосчатые – халцедониксы. В собственно агатах толщина слоев может быть настолько мала, что на 1 см. укладывается до 68 000 слоев, в халцедониксах ширина полос достигает 0,5...1,0 см.

Выделяют также многочисленные разновидности агатов по цвету и рисунку полос и другим признакам. Так, агат красного и красновато-бурого цвета называют карнеолом или сердоликом, оранжево-бурого цвета до красновато-коричневого – сардером. Агаты с концентрически-зональным расположением полос носят название фортификационных (бастионных) по сходству из рисунка с планами древних крепостей. Этот тип полосчатости характерен для бразильских месторождений и потому получил название бразильского, плоско-параллельный рисунок полосчатости называют уругвайским, так как он характерен для агатов уругвайских месторождений.

Ониксами называют агаты с чередованием контрастных по цвету плоскопараллельных слоев. Наиболее часты комбинации окрашенных слоев со слоями белого цвета: у халцедониксов – сине-серых, у арабского оникса – черных, у карнеолоникса – красных, у сардоникса – бурых. Возможно и другое сочетание окрашенных полос.

Существуют многочисленные разновидности агатов неполосчатого строения: моховой агат с дендритовидными выделениями хлорита, гидроокислов железа и марганца; ландшафтный, глазчатый, звездчатый, ленточный и брекчиевидный агаты. Известны своеобразные миндалины агата, контур которых на поперечном срезе напоминает пятиконечную звезду или четырехугольник, а сама миндалина, сложена ленточным агатом. Они имеют индейское название «громовые яйца» (thunder eggs).

Формы выделения агата в природе весьма разнообразны. Чаще всего он встречается в виде миндалин, жеод, желваков, жильных и трубчатых тел, представляя продукт выполнения полостей различного происхождения (газовых пузырей в лавах, пустот от выгоревших стволов деревьев в вулканическом пепле, контракционных и тектонических трещин и т. д.). Иногда агат не полностью выстилает пространство «полости, и в этом случае центральная часть ее обычно занята крупнокристаллическим кварцем – горным хрусталем, аметистом, реже раухтопазом, а также кальцитом, сидеритом, гетитом, хлоритом, цеолитами, неполосчатым халцедоном или опалом. Иногда она остается пустой. Размер миндалин может колебаться от нескольких миллиметров до нескольких десятков сантиметров, в редких случаях размер миндалин достигает более полутора метров в диаметре. Вес таких миндалин может достигать много сотен килограммов. Поверхность миндалин часто бывает покрыта бугорками, выступами, почковидными наростами, углублениями. Воронкообразные углубления, как считают, являются окончаниями «выдувных» каналов или отверстий, вблизи которых внутри

миндалины халцедоновые слои выклиниваются. Нередко присутствует корка окременелой породы, иногда покрывающая миндалину наподобие футляра и маскирующая ее истинную форму и размеры.

Агат в среднем содержит (в вес.%):  $\text{SiO}_2$  – 98,8;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,52;  $\text{CaO}$  – 0,62;  $\text{H}_2\text{O}$  – 0,2. Наиболее высокие содержания кремнезема (99,5 %) характерны для светлоокрашенных и молочно-белых его разновидностей. Присутствие воды обусловлено включением опала и водных окислов железа.

Под микроскопом агат имеет микроволокнистую или сферолитовую структуру. Волокна халцедона вытянуты, как правило, перпендикулярно слоистости. Халцедон, в отличие от кварца, имеет более низкие показатели преломления:  $N_g = 1,538 \dots 1,539$ ,  $N_p = 1,530 \dots 1,531$ .

Содержание опаловых слоев в агатах различных месторождений различно и колеблется, например, от 4,26 до 13,48 % в голубых агатах Бразилии и от 12,60 до 30,69% в серых агатах Мадагаскара. Нередки и кварцевые слои, перемежающиеся с халцедоновыми.

Агат имеет восковой блеск и неровный, занозистый излом. Твердость минерала 6,5–7,0, плотность 2,57...2,64 г/см<sup>3</sup>. Агат просвечивает в пластинах до 5мм, причем в одном образце слои часто различаются по степени прозрачности. Иногда встречаются агат с эффектом иризации.

Агат обладает пористостью. Именно из-за различной степени пористости отдельных слоев возможна искусственная окраска. Цвет может быть различным: красный, оранжевый, зеленый, голубой, синий, желтый, коричневый, черный. Издавна известен способ получения черных агатов путем длительного пропитывания бесцветных разностей горячим раствором сахара или меда с последующим обугливанием сахара в результате прокаливании и обработки концентрированной серной кислотой. Коричневую, красную или зеленую окраску можно получить, пропитывая агаты растворами азотнокислого железа или хромовых квасцов и затем обжигая. Длительность термических и химических способов окрашивания зависит от пористости и количества аморфной кремнекислоты и составляет от нескольких часов до 20...30 суток. Искусственная окраска устойчива и имеет большую глубину проникновения.

Агат обладает высокой вязкостью. Он кислотоупорен и растворяется только в плавиковой кислоте. В щелочах растворяется легко, особенно в КОН.

В природе агат легко распознается благодаря своеобразным внешним формам выделений. Однако даже опытному специалисту трудно предсказать качество агата без предварительной распиловки миндалин. Только в образцах из аллювия и, частично, делювия, лишенных внешней непрозрачной корки, можно непосредственно наблюдать внутреннее строение минерала.

Иногда агату сопутствуют другие разновидности халцедона, представляющие ценное поделочное сырье – зеленый халцедон с красными пятнами окислов железа или яшмы, напоминающими пятна крови, – гелиотроп и кровавик (не путать с гематитом-кровавиком), а также яблочно-зеленый однородный халцедон-хризопраз.

Издавна из-за красоты, высокой твердости и способности принимать зеркальную полировку агат использовался как ювелирно-поделочный камень. Особенно широко применялся искусственно окрашенный агат. С развитием техники нашли применение и такие свойства агата, как вязкость, кислотоупорность, прочность на истирание. Технический агат ценится дороже ювелирно-поделочного. Зачастую низкосортные технические агаты используются как ювелирно-поделочное сырье. Технический агат используется для производства ступок, пестиков, цапф для теодолитов и нивелиров, опорных призм для точных весов и т. д.

Художественные изделия из агата многообразны – это амулеты Востока и скараabei Древнего Египта, камеи, геммы и печати античного мира, кулоны, брелки, запонки, табакерки и другие изящные поделки. Кабинетные образцы агата обладают высокой декоративностью. Одним из наиболее крупных и интереснейших образцов обработанного агата является плоское блюдо диаметром 75 см, вырезанное из целого куса минерала. Хранится оно в палате драгоценностей Музея истории искусства в Вене.

Ювелирно-поделочные агаты характеризуются четким чередованием слоев, густотой и яркостью окраски, а также иногда причудливым рисунком, напоминающим деревья, мхи, водоросли, очертания животных, людей и даже пейзаж. Превосходным материалом для изготовления кабошонов являются огненные агаты – полосчатые радужные красновато-коричневые с включениями мельчайших кристаллов гетита. Эффект световой игры камня появляется, если при обработке оставить над радужным слоем достаточно тонкую оболочку прозрачного халцедона.

Для изготовления камей и гемм лучше всего подходят ониксы. Используя двух- и трехслойные ониксы, добиваются объемности изображения. Например, в знаменитой камее Гонзага фон сделан из голубого темного слоя, лица изображенных персонажей из следующего светлого, а детали одежды и волосы сделаны из верхнего темного слоя. Мастером использованы естественные линии и оттенки камня для подчеркивания характерных художественных деталей.

Технический агат, в противоположность ювелирному, характеризуется однородной бледной окраской, едва заметной или неясной полосчатостью. Требования на технический агат и халцедон определяются отраслевым стандартом ОСТ 41-117-76.

Наиболее часто встречаются в агатах дефекты, снижающие качество, – трещиноватость камня, раскол по слоям (скорлуповатость), включения других минералов (кальцита, цеолита, опала и др.), обесцвечивание вдоль трещин и в краевых частях миндалин.

Согласно ГОСТ 15519-70 устанавливаются следующие марки и сорта технического агата.

АТ-1 – агат технический однородной текстуры, радиально-лучистой сферолитовой структуры с равномерным расположением центров кристаллизации (месторождение Памач, Ахалцихский район, Грузия).

АТ-2 – агат технический однородный и неяснополосчатой текстуры, микрозернистой структуры с участками раскристаллизации зерен халцедона до мелко- и среднезернистого кварца (месторождение Шурло, Ахалцихский район, Грузия).

Агат технический марки АТ-1 должен применяться для изготовления приборных камней по ГОСТ 8898-68, ГОСТ 8896-68 и других приборных камней; агат технический марки АТ-2 должен применяться для изготовления приборных камней по ГОСТ 10093-68.

В зависимости от размеров горных площадей и наличия дефектов агат подразделяют на три сорта (табл. 14).

Таблица 14

Сорта технического агата

Сорт	Нормы		
	Наименьшая длина годного участка, мм	Площадь горного участка в среднем минимальном сечении куску или миндалины, см <sup>2</sup> , не менее	Площадь участков акварцевания и локализованных включений к общей площади сечения, %, не более
I	40	25	10
II	25	12	20
III	20	6	50

Мелкие куски агата марки АТ-1, не имеющие трещин, зональной окраски, включений других минералов и корки вмещающей породы, массой не менее 100 г. относятся к III сорту. В агате I сорта допускается не более одной трещины в сечении и наружной поверхности куска или миндалины; в агате II и III сортов – не более двух.

Годная площадь не должна иметь трещин, участков окварцевания, включений других минералов и резко выраженной зональной окраски; допускаются локализованные лишь в одном месте включения других минералов (кальцита, цеолита, опала и др.). Допускаются полые пространства, при этом наименьшая длина годного участка считается от края пустоты до края корки куска или миндалины. При определении полезной массы куска или миндалины масса окварцованных участков и кварцевых щеток должна исключаться. Мелкополосчатые разновидности агатов не допускаются. Наибольшая толщина корки вмещающей породы должна быть не более 10мм [1,4].

#### 1.2.4. Благородный опал

Опал, в том числе и благородный, – это водосодержащий кремнезем состава  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Кремнезема в опале содержится 80...90%, воды 1...21%, изредка до 34 %. Большая часть воды сорбционная, легко удаляющаяся при обезвоживании, меньше кристаллизационная, входящая в структуру опала и выделяющаяся при температуре от 250 °С и выше.

В опале всегда содержатся примеси в виде окислов алюминия, железа, кальция, магния, марганца, а также щелочи. Глинозем присутствует в количестве от долей процента до нескольких процентов. Каждая из остальных примесей не превышает одного процента. Изредка отмечаются примеси  $\text{SO}_3$  и органического вещества (опалы из Вирджин-Велли, штат Невада, США).

Опалы с радужной игрой цвета, то есть обладающие опалесценцией, называются драгоценными или благородными. Название камня произошло, вероятно, от латинского «*opalus*» или санскритского «*uralu*», каждое из которых означает «драгоценный камень». Красоту драгоценного опала ценили с древнейших времен. Так, римский историк Плиний писал: «Среди всех драгоценных камней наиболее трудно описать опал с его сочетанием в себе красоты многих камней – жгучего пламени карбункула, великолепного пурпура аметиста, зеленого моря изумруда и золотисто-желтого топаза».

В зависимости от окраски и характера опалесценции выделяются следующие разновидности благородного опала:

- белый опал – светлоокрашенный, прозрачный с опалесценцией в светло-голубых тонах;

- черный опал – черной или темно фиолетовой, синей, зеленой или бордовой окраски с опалесценцией преимущественно красного цвета, одна из самых красивых и дорогих разновидностей;

- арлекин-опал – необычный опал полихромного мозаичного рисунка, состоящего из прямоугольных, остроугольных или округлых фигур, каждая из которых обладает собственной опалесценцией различного (красного, голубого, желтого или зеленого) цвета; к арлекин-опалу относятся точечно-огненный опал с опалесценцией в виде близко расположенных мельчайших крапинок или точек, а также «кошачий глаз» (редчайшая разновидность арлекин-опала) обычно ярко-зеленого цвета с концентрически-зональными переливами;

- огненный опал – желтая до красного, просвечивающая до прозрачности разновидность опала с огненной опалесценцией; к нему же относятся: золотой опал с игрой желтого цвета, солнечный опал от коричневатой до медово-желтой окраски, искристый опал рубиновый с зелеными или красными вспышками;

- царский опал (очень редок) – ядро камня цвета темно-красной бронзы, окружено ярко-зеленой каймой;

- джиразоль – голубая или белая прозрачная разновидность опала с опалесценцией в красных тонах;

– лекозос-опал – молочно-зеленый с игрой густых (глубоких) зеленого и карминного цветов;

– опал-матовый (матричный) – благородный опал, включенный во вмещающую (матричную) породу в виде тонких (мм) прожилков или сети таких прожилков, или рассеянных мелких пятнышек; как правило, матовый опал полируют вместе с породой.

Кроме драгоценных благородных опалов, среди опаловых минералов известны: опал-оникс, состоящий из чередующихся слоев обыкновенного и драгоценного опалов; обыкновенный опал – просвечивающий до непрозрачного, окрашенный в различные цвета ярких или тусклых тонов, без игры цветов; сюда же относится и неправильно называемый огненным желто-красный обыкновенный опал без опалесценции; молочно-белый опал – белая разновидность обыкновенного опала с очень слабым зеленоватым, голубоватым или желтоватым оттенком; полуопал – слегка просвечивающая или непрозрачная.

Разновидность обыкновенного опала, содержащая механические примеси; гиалит – прозрачный и бесцветный опал, иногда слабоокрашенный, встречаются просвечивающие молочные или белые его разновидности, изредка гиалит проявляет слабую опалесценцию подобно драгоценному опалу; гидрофан – белая или слабоокрашенная, просвечивающая до непрозрачной разновидность обыкновенного опала, для него характерно появление опалесценции после насыщения водой; калохонг – фарфороподобная непрозрачная или в бледных тонах голубоватого, желтого, даже красноватого цвета, иногда проявляется блеск, напоминающий перламутр; празопал – просвечивающая яблочно-зеленая разновидность обыкновенного опала без цветовой игры; древесный опал – обыкновенный опал желтоватой или буроватой окраски, возникший в результате процесса опализации обломков деревьев, часто сохраняется структура древесины.

Черный благородный опал относится к ювелирным камням II класса, а другие разновидности благородного опала к III классу. Опал-оникс, обыкновенный опал, празопал и кахолонг относится к ювелирно-поделочным и поделочным камням. Гидрофан и гиалит из-за своих физических свойств не используется в камнерезной промышленности.

Окраска благородного опала, так же, как и обыкновенного, зависит от химического состава примесей (железо, марганец, никель и др.). Красный цвет опала иногда определяется киноварью, оранжево-желтый – аурипигментом. Бесцветный опал в лабораторных условиях легко окрашивается различными веществами.

Степень прозрачности у опалов различна. Они могут быть от прозрачных до непрозрачных (мутных). Для благородных опалов наиболее характерна полупрозрачность. Любопытно отметить, что при насыщении влагой едва просвечивающие мутные опалы могут иногда становиться полупрозрачными.

Блеск опала стеклянный, полустеклянный. Для обыкновенных опалов, гидрофана и кахолонга наиболее характерен смолистый, восковидный или



перламутровый блеск. Опал имеет белую черту, спайность отсутствует, излом у опала раковистый, плоскораковистый или неправильный. Минерал хрупкий, может самовольно растрескиваться при внезапном изменении температуры или дегидратации, что весьма отрицательно сказывается на качестве опала. Благородные опалы из Австралии наименее хрупки, за что они и ценятся дороже других опалов.

Твердость опала по шкале Мооса изменяется от 5,0 до 6,5. Плотность опала варьирует от 1,9 до 2,3 г/см<sup>3</sup> в зависимости от содержания воды, различных примесей, пористости и трещиноватости.

Из других физических свойств опала следует отметить его сравнительно легкую растворимость в сильно щелочных растворах, таких, как КОН или KF. Нерастворимый остаток обычно представлен смесью глинистых минералов халцедонового кремнезема, окислов железа и др. Частично или полностью опал растворяется также в горячей концентрированной HCl и HF. Быстрота растворения зависит от структуры опала.

Опал относится к аморфным минералам. В шлифах опал прозрачен, изотропен, но изредка он ведет себя как оптически одноосный отрицательный минерал. Показатели преломления варьируют от 1,435 до 1,455 в зависимости от содержания воды и примесей.

Достигнуты некоторые положительные результаты по получению синтетического благородного опала в лабораторных условиях.

Благородный опал имитируется опалесцирующим стеклом. Природа опалесценции – радужной игры – в благородном опале издавна интересовала ученых. Еще в 19 веке было выдвинуто несколько гипотез, объясняющих цветовую игру опала интерференцией лучей света на составляющие цвета спектра. Современные представления о причинах опалесценции благородного опала основаны на данных электронной микроскопии.

Опал, в том числе и обыкновенный, в структурном отношении представляет собой трехмерную пространственную решетку. Основу слоя решетки составляют мелкие частицы кремнезема – мицеллы или глобулы. В природных благородных опалах глобулы достаточно крупные и достигают в диаметре

1500...4000 Å. Они одинаковы по величине, что обусловило однородную и плотную упаковку. Для обыкновенных опалов характерна разновеликость и неупорядоченность сферических частиц. Интерстиции между глобулами благородного опала представляют правильно распределенные поры, имеющие почти тетраэдрические формы. Эти поры частично заполнены гидратированным аморфным кремнеземом, который служит цементом частиц. Цементация, вероятно, происходила уже после правильной упаковки частиц.

Таким образом, создается дифракционная пространственная решетка. Свет, проходя через такую решетку, разлагается и, отражаясь, рассеивается на ряд монохроматических лучей вследствие дифракции. Большие по размеру решетки обладают большей способностью разделять близкие спектральные линии. В свою очередь, размеры решетки зависят от размеров сферических частиц и

соответственно увеличиваются при укрупнении глобул до 1500...4000 Å. Так при диаметре глобул 1500...2000 Å. наблюдается опалесценция в фиолетовых тонах; при диаметре глобул до 4000 Å опалесценция зеленого цвета и выше красного. Интенсивность цветовой игры в благородном опале зависит также от степени заполнения порового пространства между глобулами и в случае наибольшего заполнения пор аморфным кремнеземом исключается возможность дифракции и возникает обыкновенный стекловатый опал.

Благородный опал и красиво окрашенные разновидности обыкновенного опала используются с древних времен. Так называемые восточные опалы из Карпат были известны уже в I век до н.э. Во времена Римской империи изделия с опалами имели большую популярность и ценились весьма дорого. В 19 в. спрос на камень упал из-за суеверного представления о том, что опал приносит несчастье (видимо, из-за способностей минерала к растрескиванию). Однако интерес к камню не мог исчезнуть надолго из-за исключительной красоты опала. В настоящее время благородный опал используется большим спросом на мировом рынке. Его используют в современной ювелирной промышленности как драгоценный камень для вставок в кулоны, броши, серьги, перстни и браслеты. Нередко изделия с благородным опалом дополняют осыпью из мелких бриллиантов. Кроме того, для ювелирных изделий, иногда и для декоративных, используются маточные опалы: изделия из красновато-бурых, иссиня-серых или черных пород, на фоне которых опалесцируют разноцветные многочисленные прожилки благородных опала, выглядят весьма эффектно. В декоративных целях используются также и обыкновенный красиво окрашенный опал и кахолонг. Из этих камней вырезают различные изделия – фигурки, статуэтки, пепельницы, сигаретницы, бусинки, реже вставки в недорогие ювелирные украшения.

Обрабатывают благородный опал в виде высоких или плоских полусферических форм-кабошонов. Исключение составляют лишь однородно окрашенные и прозрачные опалесцирующие огненные опалы, известные в Мексике (штат Идальго), которые подвергаются фасетной огранке.

Возможность использования в ювелирной промышленности благородных опалов ограничена их дефектами. К наиболее важным из них относятся хрупкость, приводящая к растрескиванию, а также способность мутнеть и терять опалесценцию при дегидратации. Благородные опалы Австралии менее других поражены подобными дефектами.

Обработку опала производят осторожно из-за хрупкости камня. Нельзя резать благородный опал, используя масло, так как камень впитывает его, теряя опалесценцию, и мутнеет. Обдирку изделия производят на обычном точильном круге, затем полируют о мягкую кожу. Зеркальная полировка сохраняется долго при правильном уходе за изделием.

Технические требования приведены в ГОСТ 41.117-76 [1,4].

Коммерческая ценность благородного опала определяется его свойствами – окраской, опалесценцией, прозрачностью, прочностью. Размеры практически не ограничиваются, так как благородный опал даже самых незначительных размеров используются в изделии вместе с вмещающей породой. Как уже отмечалось, наиболее высоко ценятся черный и арлекин-опалы. Образец черного опала, найденный в 1919 году на месторождении Рейнбоу-Ридж, штат Невада, весом 17 торговых унций (1 торговая унция равна 28,349527 г.) был оценен в четверть миллиона долларов.

#### 1.2.5. Окаменелое дерево

Окаменелым деревом называют ископаемые древесные остатки (стволы и ветви деревьев, а также их обломки), подвергшиеся процессам окаменения. Ископаемые древесные остатки в зависимости от условий, в которых они находились после захоронения, претерпевают различные изменения, выражающиеся в обугливание древесины, либо в ее окаменении, то есть замещении органического вещества тем или иным минеральным веществом, в результате чего они превращаются в окаменелости. Из процессов окаменения наиболее распространён процесс силификации древесины, при котором она замещается кремнеземом.

В табл. 15 приведены сведения о минеральном составе окаменелого дерева по преобладающим в нем минералам.

Таблица 15

Минеральный состав окаменелого дерева

Месторождения	Минеральный состав
Гордерзское (Грузия), Курдюмовское (Приморский край)	Опал
Гордерзское (Грузия), Армутлинское (Армения), Тринти-Рендж (США, шт. Невада), Холи (США, шт. Орегон), Реттлснейк (США, шт. Вашингтон)	Халцедон
Гордерзское (Грузия), Сериарское (Армения), Дружковское (Украина), Хикоянское (Армения)	Опал и халцедон в различных соотношениях (от 1:1 до 5:1) Халцедон углистое вещество (50%) и кальцит
Джамангульское (Шурат, Узбекистан)	Кварц
Бруно (США, шт. Айдахо), Сариагачское (Казахстан)	Кальцит и доломит
Нидерлаузиц (Германия)	Пирит и марказит
Бруно (США, шт. Айдахо)	Гипс
Ефинятское (Кировская обл.)	Волконскоит
Юта (США)	Уран-ванадиевые минералы

Как указывал А.Е.Ферсман, окаменение дерева является довольно сложным химическим процессом, приводящим к накоплению чаще разных видов кремнезема-кварца, халцедона и опала. Окаменелое дерево зачастую сложено этими минералами, находящимися в различных соотношениях, что и создает большое количество разновидностей.

Практическое значение как поделочный камень имеют силицированные разности, наиболее распространенные и обладающие в ряде случаев высокими декоративными показателями. Из них лучшими являются халцедоновые разности. Окаменение древесины путем ее опализации является довольно широко распространенным процессом и опалу, замещающему клетки древесины, присвоено специальное название - древесный опал (wood-opal, holz-opal). Древесный опал является разновидностью обычного опала, отличаясь от него только по структуре, унаследованной от дерева. Окраска древесного опала обычно желтоватая или буроватая, от темно-бурой до буровато-черной. Реже встречается опал светлой, розоватой, почти белой окраски. Опалы сложены различными минералами кремнезема, среди которых преобладают плохо упорядоченный L-кristобалит и аморфный кремнезем, а иногда и низкотемпературный L-тридимит.

По химическому составу опал, в том числе древесный, представляет собой водосодержащий кремнезем ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Содержание  $\text{SiO}_2$  в опале обычно колеблется от 86 до 96% и  $\text{H}_2\text{O}$  от 2 до 10% и более. Большая часть воды адсорбционная или интерстиционная, удаляющаяся при нагревании до 100 °C. Часть воды присутствует в виде гидроокислов, замещая атомы кислорода в кремнекислородных тетраэдрах, и выделяется при температуре выше 250 °C. В опале всегда присутствуют различные примеси:  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Опал с большим сордсержанием  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (до 20%) называют аллофаноидом. Иногда отмечается присутствие органического вещества и SO. Плотность опала 1,9...2,1 г/см<sup>3</sup>.

Халцедон представляет собой мелкокристаллическую разновидность кварца с заметным под микроскопом волокнистым строением в виде параллельных или радиально-лучистых сростков. Окраска халцедона белая, серая, желтая, зеленая и др. Твердость его 6–7, плотность 2,6 г/см<sup>3</sup>. В силицированном дереве в виде примесей встречаются различные минералы. В образцах из некоторых месторождений под микроскопом видны мелкие трещины, залеченные полупрозрачным халцедоном, иногда образующим также включения изометричной формы размером до 2×3мм. Агат встречается в виде полупрозрачных заполнений трещин, повторяющих изгибы сезонных колец древесины. Иногда присутствует пирит в виде отдельных рассеянных зерен и небольших скоплений, барит и целестин, образующие небольшие прожилки, а также изредка благородный опал. Часто наблюдаются примеси окислов железа, окрашивающие дерево в бурые и желтые цвета различных оттенков, пелитовое вещество, а также органическое (углистое) вещество, количество которого может достигать 50%. Кальцит и арагонит выполняют иногда мелкие жилки.

В некоторых образцах окаменелого дерева сохраняется не только его внешняя форма, но и характерная структура и детали строения (кора, годовые кольца роста, сучки и пр.). Иногда видна даже структура клетчатки, так что при микроскопическом исследовании можно определить видовую принадлежность дерева. Под микроскопом также бывает видно, что во внутренней части каждой клетки окаменелого дерева располагается кварц с неясно-выраженными гранями.

Древесина могла подвергнуться окаменению после частичного разложения дерева. При переносе стволов водяными потоками также могло происходить их частичное разрушение. В связи с этим наряду с хорошо сохранившимися стволами встречаются обломки, где внутренняя структура дерева в той или иной мере утрачена, а сам ствол утерял первоначальную форму. Такие разности имеют пониженную декоративность и мало пригодны в качестве поделочного камня.

В образцах силифицированного дерева иногда наблюдается развитая по периферии оторочка толщиной 0,5...2,0 см. темно-коричневого до черного цвета или почти белая, что создает иллюзию древесной коры. Образование оторочки связано с процессами ожелезнения или, наоборот, выноса железа и повышает декоративность камня. Цветовая гамма окаменелого дерева близка к гамме натуральной древесины – от почти белого и розоватого цветов до темно-коричневого, почти черного. Изредка встречается красная окраска. Наиболее декоративны светлые его разности. Окраска обычно имеет полосчато-пятнистое распределение.

Рисунок образуется кольцами сезонного роста дерева, радиальными лучами и следами сучьев и ходов червей. Окраска окаменелого дерева обусловлена, главным образом, примесью окислов железа (желтые и бурые оттенки) и углистого вещества (серые и черные оттенки).

Силифицированное окаменелое дерево имеет обычно твердость 5,5–6,0. Дерево, имеющее другой минеральный состав, может обладать значительно меньшей твердостью. Так, окаменелое дерево Хикоянского месторождения (Армения) состоящее на 50% из органического (углистого) вещества, на 40% из опала и на 10% из карбонатов, имеет твердость всего 3–4. Излом силифицированного дерева раковистый, реже занозистый, участками неровный. Блеск стеклянный, иногда матовый. Размер отдельных кусков весьма различен – от обломков стволов, веток, сучьев и корней размером в несколько сантиметров до целых стволов диаметрами длиной до нескольких метров, иногда даже с сохранившейся корневой системой. По-видимому, наиболее крупные размеры стволов окаменелого дерева зафиксированы в США в шт. Айдахо, в районе Чаллис. Здесь среди пепловых и туфовых образований миоценового возраста встречаются громадные вертикально стоящие стволы окаменелого дерева. Диаметр некоторых стволов достигает 3 м при высоте до 7 м.

Применение окаменелого дерева в качестве декоративного камня насчитывает не одно тысячелетие. Известно, что оно широко применялось в Ассирии и в древнем Риме для изготовления различных украшений.

В конце 19 и начале 20 вв. окаменелое дерево было модно в США, где из крупных стволов, находимых в Аризоне, изготавливали красивые столешницы, вазы, канделябры и другие предметы. В США и в настоящее время окаменелое дерево добывается как коллекционный материал и как материал для всевозможных поделок.

В России, в дореволюционное время, в камнерезной промышленности окаменелое дерево применялось для изготовления шкатулок, столешниц, ваз и других изделий. В СССР в тридцатых годах окаменелое дерево, добываемое на Гадердзском месторождении, использовалось для поделок. Позднее добыча была почти заброшена.

В ГОСТ 41.117-76 по оценке качества цветных камней приведены неполные требования к качеству только силицированного дерева.

На мировом рынке наибольшим спросом пользуется окаменелое дерево Аризонского месторождения (США), имеющее халцедоновый состав и очень четкую структуру древесины при декоративной расцветке (красной и белой).

Качественная оценка окаменелого дерева зависит от цвета, четкости рисунка древесины-внутренней его структуры, сохранности годовых колец роста, чередования по этим кольцам цветовых оттенков, а также степени прозрачности вырезанных пластинок.

Наиболее декоративные разности с мелким контрастным рисунком могут быть пригодными для изготовления небольших ювелирных изделий. Разности менее декоративные с более крупным рисунком рекомендуются в качестве поделочного камня для изготовления как крупных изделий (торшеров, столешниц, ваз и пр.), так и более мелких (пепельниц, письменных приборов и др.). Крупные куски окаменелого дерева могут найти применение и для изготовления декоративно-облицовочной плитки.

В ряде случаев наиболее эффектно срезы сделанные вдоль годовых колец, так как при этом хорошо видно чередование цветовых оттенков. Пластины, вырезанные из окаменелого дерева, сохраняют прочность при минимальной толщине от 3 мм (Армутлинское месторождение) до 7 мм (Горердзское месторождение). Более высокими прочностными свойствами, как правило, обладают пластины вырезанные из окаменелого дерева халцедонового состава. Хотя и опаловые пластины бывают очень прочными (Курдюмовское месторождение).

Окаменелое дерево хорошо режется алмазными пилами, причем рекомендуется производить водяное охлаждение, так как масло впитывается в изделия и оставляет темные пятна. Шлифовка производится на чугунной планшайбе шлифпорошками № 3 и 10 и микропорошками М40, М20, М10 и М5. Полируют окисью хрома на войлочном круге [1, 2, 4].

### 1.2.6. Яшмовые породы, роговики

К яшмовым породам как декоративным камням относится большая группа горных пород различного состава и генезиса, объединяющими признаками которых являются кремнистый состав, высокая твердость и декоративность. Последняя обусловлена красивой расцветкой пород и их рисунком. Среди декоративных яшмовых пород выделяются две основные разновидности, отличающиеся составом исходных пород и условиями образования – собственно яшмы и яшмоиды. К группе декоративных яшмовых пород примыкают и роговики. Термин «яшма» в применении к непрозрачным разновидностям кварцевых пород с красной, красно-бурой и зеленой окраской появился сравнительно недавно в 18 и начале 19 вв. Само слово «яшма» восточного происхождения и соответствует персидскому *iashm* и *iashp*, а также ассирийскому *ashpu*. Как отмечал еще А.Е.Ферсман, единого толкования термина «яшма» нет. А.Е.Ферсман и Б.Я.Меренков считали, что понятие яшма должно относиться ко всем в той или иной степени метаморфизованным кремнистым пестроокрашенным плотным породам, независимо от способа их образования.

Как указывал Б.Я.Меренков, А.Н.Заварицкий относил к яшмам кремнистые породы, окрашенные в красные и сургучные цвета, образованные агрегатами кварца и по своему происхождению являющиеся продуктом изменения осадочных горных пород и туфов. Л.В.Пустовалов к яшмам относил осадочные кремнистые породы, сложенные халцедоном и окрашенные в различные цвета.

Примерно такой же точки зрения придерживаются Л.С.Либрович, А.Е.Малахов и другие. А.Д. Петровский и И.В. Хворова к яшмам относят только плотные кремнистые пестроокрашенные породы, образованные в результате метаморфизма морских кремнеземистых осадков. В связи с тем, что в понятие слова яшма правильнее вкладывать не только технический, но и геологический смысл, ниже под этим термином понимаются метаморфизованные первично осадочные кремнистые, твердые, непрозрачные, пестрые по окраске породы, сложенные криптокристаллическим кварцем, иногда с примесью халцедона.

Окраска яшм вызвана преимущественно присутствием окислов железа и марганца и в ней преобладают различные оттенки красного, желтого, иногда коричневого и зеленого цветов. Пигментирующим веществом в яшмах могут являться гематит, дающий красноватые тона, гетит – бурые и желтые, а также хлопьевидные скопления различного состава, придающие яшмам белый желтоватый или серый цвет и фарфоровидный облик. Синий цвет яшм может вызываться амфиболом, а зеленый – пумпеллитом и хлоритом.

В некоторых разновидностях яшм присутствуют дендриты, повышающие их декоративность. Яшмы содержат иногда большое количество реликтов раскристаллизованных раковин радиолярий. Сохранность радиолярий бывает очень хорошей, но чаще это шарики-слепки с раковин, образованные

кварцем и халцедоном. Иногда в яшмах наблюдаются спикеры губок. Химический состав характеризуется высоким содержанием кремнезема (от 70,2 до 95,52%  $\text{SiO}_2$ ). Среднее содержание других соединений в %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5,21;  $\text{CaO}$  и  $\text{NaO}$  по 2,12;  $\text{FeO}$  – 3,02;  $\text{MgO}$  – 1,13;  $\text{KO}$  – 1,11;  $\text{Fe}$  – 0,69;  $\text{MnO}$  – 0,46.

В минеральном составе яшм преобладает кварц, иногда халцедон, часто присутствуют эпидот, гранат, актинолит, альбит, серицит, гематит, биотит, пьомонит и магнетит. В зеленых разновидностях наблюдаются эпидот, хлорит и пумпеллит. Излом у яшм обычно ровный, гладкий, постепенно переходящий в раковистый.

Входящие в группу яшмовых пород яшмоиды представляют собой кремнистые породы, внешним видом, декоративностью и физико-механическими свойствами близкие к яшмам, но отличающиеся от них условиями образования и составом исходных пород. Среди яшмоидов по степени метаморфизма и составу материнских пород выделяются две группы глубокометаморфизованные вулканогенно-осадочные и осадочные породы, и сравнительно мало измененные кремнекислые эффузивные породы. К яшмоидам относятся также образовавшиеся из гидротермальных растворов пестроокрашенные кремневые тела в пузыристых лавах.

Химический и минеральный состав метаморфогенных яшмоидов могут значительно колебаться в зависимости от состава первичной породы. Яшмоиды Риддерского месторождения (Алтай), образовавшиеся из кислых вулканических пород, имеют следующий химический состав(%):  $\text{SiO}_2$  – 67,35...74,46;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11,64...18,83;  $\text{TiO}_2$  – 0,24...0,57;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 0,127...0,64;  $\text{FeO}$  – 0,35...2,96;  $\text{MgO}$  – 0,24...1,75;  $\text{CaO}$  – 0,58...0,99;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,99...8,05;  $\text{K}_2\text{O}$  – 2,45...3,41;  $\text{MnO}$  до 0,1.

Яшмы и метаморфогенные яшмоиды залегают в виде пластов, линз и тел неправильной формы, что зависит от условий образования исходной породы и воздействия последующих тектонических и метаморфических процессов.

Физико-механические свойства яшм и яшмоидов характеризуются следующими показателями: твердость 6–7, плотность 2,3...2,5 г/см<sup>3</sup>, пористость 2,8...3,0%, сопротивление сжатию (сухих) 100...260 МПа, истирание 0,01 г/см<sup>2</sup>, полируемость высокая. Морозостойкость удовлетворительная.

По структуре, окраске и другим показателям среди декоративных яшмовых пород выделяется много разновидностей. Декоративные яшмовые породы А.Е.Ферсманом (1954 г.) разделены на следующие классы:

- I – однородные с красной окраской всех видов до черной, белой, розовой, фиолетовой, зеленой, серой и др. окраски;
- I а – однородные с отдельными пятнами или включениями, окраска палевая с черными дендритами, с пятнами, струями, облаками нежного рисунка, с белыми и черными точками;
- II – полосчатые, параллельно-ленточные яшмы, различные по цвету и типу лент, с резкими границами (красно-зеленые), с мягкими переходами (красно-желтые), с крупными (свыше 1 см) лентами (желто-зеленые), с мелкими (до 1 см) лентами (серо-желтые, зеленые и др.); волнисто-ленточные (зеленые) –



ленты искривлены, сломаны, сброшены; струйчатые, с мелкими порфиroidными выделениями;

– III – порфиrowые, с крупными и мелкими вкрапленниками полевых шпатов, с прозрачными включениями кварца, с черными включениями авгита и амфибола;

– IV – пестроцветные (ситцевые), однородные с жилками другого цвета: пестрые, разных цветов с одноцветным цементом, с мягкой волнистой окраской;

– V – порфиrowые и яшмовые брекчии, конгломераты;

– VI – копейчатые (сфероидальные, крупные и мелкие), агатовые (натечные, полосатые, слоистые), батарейные (фортификационные) яшмы.

Яшмовым ониксом называют тонкополосчатую яшму, в которой чередуются светлые и темные полосы. К группе яшмовых пород относится и лиддит – очень плотный кремнистый сланец, содержащий органическое вещество, придающее ему бархатисто-черную окраску.

К группе яшмоидов близко примыкают роговики, представляющие собой контактово-метаморфическую породу, образовавшуюся в результате термального воздействия интрузий на вмещающие породы. Роговики состоят главным образом из кварца с примесью слюды, полевого шпата, граната, андалузита, силлиманита, кордиерита, редко амфибола, пироксена и др. Структура роговиков обычно мелкозернистая, мозаичная и для нее характерна зазубренная, неправильная форма зерен, нередко их кучное расположение и спорадическое обилие пойкилитобастовых образований.

Химический состав роговиков зависит главным образом от состава исходной породы. Среди роговиков по преобладающим новообразованным минералам выделяются следующие разновидности:

- 1) андалузит-кордиеритовые;
- 2) андалузит-кордиерит-плагиоклазовые;
- 3) кордиерит-плагиоклазовые;
- 4) кордиерит-плагиоклаз-гиперстеновые;
- 5) плагиоклаз-гиперстеновые;
- 6) плагиоклаз-гиперстен-диоксидовые;
- 7) плагиоклаз-диопсидовые;
- 8) плагиоклаз-диопсид-гроссуляровые;
- 9) гроссуляр-диопсидовые;
- 10) гроссуляр-диопсид-волластонитовые.

Декоративные роговики распространены значительно меньше, чем красиво окрашенные яшмовые породы, так как в большинстве случаев роговики имеют тусклую окраску и не отвечают требованиям, предъявляемым к поделочным камням.

К декоративным разновидностям относятся роговики, окрашенные в зеленый, зеленовато-серый, буро-красный и другие цвета при достаточной интенсивности окраски. Декоративность роговиков повышает рисунок полосчатый, пятнистый или узелковый. Твердость роговиков 5–7, плотность 2,8 г/см<sup>3</sup>, сопротивление сжатию 220 МПа.

Хотя яшма относится к одному из древнейших цветных камней, находящих применение в камнерезном деле, в западно-европейских странах она стала использоваться в качестве поделочного камня только в 15–16 вв. В России интерес к яшме появился в начале 18 в. при Петре I, который направлял «рудознатцев» за яшмой на Урал и в Сибирь. В 18–19 вв. были открыты месторождения цветных яшм на Урале и на Алтае, и она широко использовалась для изготовления как мелких, так и крупных высокохудожественных изделий-ваз, торшеров и других предметов, украшавших интерьеры дворцов. Своими камнерезными изделиями особо славилась колыванская фабрика, которая за сто лет (1802–1902 гг.) изготовила из яшмовых пород Алтая около 250 крупных ваз, 74 колонны, достигавших высоты 4 м, несколько десятков каминов, канделябров, торшеров и других предметов.

Уникальным изделием колыванской фабрики является колоссальная овальная чаша, изготовленная из ревневской яшмы. Монолит для нее был добыт в 1892 г., первоначальный вес его составлял около 20 т. Первичная обработка монолита производилась на месте и продолжалась около двух лет. Из такой же зеленовато-волнистой ревневской яшмы были изготовлены и восемь монолитных колонн, находящихся в Эрмитаже. Значительное количество изделий из местных яшм изготовлялось и уральскими мастерами-камнерезами – все возможные шкатулки, письменные приборы, пепельницы и мелкие ювелирные украшения. Изделия из яшм служили предметом торговли на русских дореволюционных ярмарках – Ирбитской, Нижегородской, Екатеринбургской, а также вывозились за границу. Изделия из алтайской яшмы экспонировались на всемирной выставке 1851 г. в Лондоне и получили высокую оценку.

В настоящее время из высокодекоративных алтайских и уральских яшмовых пород изготавливаются главным образом, небольшие ювелирные изделия (вставки в запонки, броши, кулоны), а также пепельницы, письменные приборы и другие мелкие сувенирные предметы. Однотонные нерисунчатые и крупнорисунчатые яшмы используются главным образом как поделочные и декоративно-облицовочные камни. Тонкорисунчатые яшмы находят применение в ювелирном деле для изготовления вставок в различные изделия. Наиболее высокой декоративностью обладают пейзажные яшмы, когда на полированной поверхности камня вырисовывается пейзаж или сложный фантастический рисунок.

Широкое применение находят некоторые недекоративные яшмы в технике. Из одноцветной серой или зеленоватой яшмы изготавливают аптечные ступки, пестики, валы для лощения кожи, волоочильные доски и другие изделия, применяемые в ряде отраслей промышленности.

Бархатисто-черная яшма (лидит) используется как пробирный камень для определения (при помощи цвета черты) содержания золота в его сплавах.

По сравнению с яшмами роговики в камнерезном деле применяются мало, хотя по декоративным качествам они могли быть наравне с яшмами являться

материалом для изготовления как мелких, так и более крупных художественных изделий и декоративно-облицовочных плиток.

Технические требования к яшме как декоративно-поделочному и техническому камню содержатся в утвержденном Министерством геологии СССР отраслевом стандарте ОСТ 41-117-76.

Характерными первичными дефектами яшм являются трещинно-ватость, инородные включения, корки выветривания и участки, сложенные более мягкими разностями («мякотины»). Наряду с этим в яшмах могут образовываться и вторичные дефекты-макро – и микротрещиноватость, возникающие в случае применения при разработке месторождения взрывчатых веществ.

На физико-механические и, в известной степени, на декоративные свойства яшм влияют и минеральные примеси, обладающие более низкой твердостью и содержащие в количестве нескольких процентов, в том числе опал (твердость 5–5,5), лимонит и гетит (твердость 4,5–5,5), минералы группы хлорита (твердость 1,5–3,5), землистые агрегаты эпидота (твердость 4), слюда (твердость 2–3), глинистые минералы (твердость 1–2,5) и карбонаты (твердость 3). Эти минералы при полировке могут выкрашиваться, что создает шагреновую поверхность и другие дефекты. Значительное влияние на качество полировки оказывает и величина зерен минералов-примесей: мелкочешуйчатая слюда на качество полировки практически не влияет, но более крупные ее пластинки (0,1...0,2 мм) создают на поверхности камня пористость и шагреновую поверхность. Следует отметить, что хотя в ОСТ 41-117-76 минимальный размер без дефектных участков яшмы установлен равным 100×100×100 мм, этот размер может считаться обоснованным только для крупнорисунчатых яшм, используемых как поделочный камень. В случае же оценки такой яшмы для получения декоративно-облицовочной плитки, эти требования являются завышенными, так как минимальный размер плитки 50×50 мм (по стандарту ОСТ 41-77-73, см. ниже). Так же и мелкорисунчатые яшмы, используемые для ювелирных изделий и мозаичных работ, могут найти применение и в виде более мелких кусков.

Роговики как поделочный камень должны отвечать техническим требованиям ОСТ 41-117-76, указанным в табл. 16

Дефектами роговиков являются ожелезнение, трещиноватость, включения рудных минералов, «мякотины».

В связи с тем, что яшмовые породы и роговики следует рассматривать и оценивать не только как поделочный, но также и как декоративно-облицовочный камень, ниже приводятся технические требования на декоративно-облицовочную плитку, изготовленную из природных камней (ОСТ 41-77-73).

Согласно ОСТ 41-77-73 камень, идущий на изготовление плиток, должен отвечать требованиям ОСТ на камни-самоцветы поделочные в сырье, приведенные в табл. 16. ОСТ 41-77-73 устанавливает также минимальный размер плиток по длине (ширине) в 50 мм с размером увеличения кратным

100 мм, а по толщине 5 мм с размером увеличения, кратным 5 мм. Декоративно-облицовочные плитки по областям применения принципиально не отличаются от обычных облицовочных плит. В связи с этим яшмы и роговики, предназначенные для изготовления декоративно-облицовочной плитки (особенно для отделки памятников и внешних частей зданий), должны в соответствии с требованиями ГОСТ 9479-69 подвергаться испытаниям для определения физико-механических свойств по следующим стандартам; предел прочности при сжатии ГОСТ 8462-75, водопоглощение и морозостойкость ГОСТ 7025-67 [1,4].

Таблица 16

Технические требования к роговику

Месторождение или типовая разновидность камня	Декоративно- качественная характеристика сортового камня	Минимальные размеры сортового камня, мм	Сорт
Кумыштагское	Черный, серый, зеленый, бурый, розовый, белый различных оттенков, окраска различной интенсивности однотонная, полосчатая, пестрая, рисунчатая	150×150×100	1

### 1.2.7. Бирюза

Бирюза – драгоценный камень IV порядка, используемый человеком с древнейших времен. Всему миру известны грубой обработки камни ацтекских племен, ювелирные изделия с бирюзой времен египетских фараонов и камнерезные изделия из бирюзы китайских мастеров. Во многих древних могилах, вскрываемых на территории Средней Азии, находят украшения из бирюзы. Этот камень по преданиям обладает чудесными свойствами, Джафару ибн Мухаммеду (765г.) приписывают выражение: «Не обеднеет никогда рука, на которой перстень из бирюзы». В средние века было распространено поверье, что носящему бирюзу обеспечена жизнь в благоденствии, что он гарантирован от укусов змей и скорпионов и что созерцание бирюзы по утрам сохраняет и обостряет зрение. Ношение ее подвешенной укрепляет сердце, устраняет страх и обеспечивает победу над врагом. Само название камня происходит от греческого слова «пируз» или иранского «фируз» – победоносный, благоденствующий, счастливый.

Бирюза – минерал из группы основных водных фосфатов меди  $\text{CuO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . Теоретический состав (вес. %):  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 34,12;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 36,84;  $\text{CuO}$  – 9,57 и  $\text{H}_2\text{O}$  – 19,47. В природе состав бирюзы крайне непостоянен. В

процессе ее старения и при замещении вторичными минералами существенную роль начинают играть окисное железо, кремнезем, цинк, кальций, стронций, магний. В ряде образцов присутствует органическое вещество. Медь изоморфно замещается окисным железом, содержание которого в сильно выветрелых образцах достигает 10...20%. Реже наблюдается изоморфное замещение меди цинком. Кроме того, в бирюзе постоянно устанавливается барий, бериллий, хром, марганец, никель, молибден, ванадий, титан.

Сингония бирюзы триклинная. Сложение микрокристаллическое, хорошо оформленные кристаллы исключительно редки и встречались только около г. Линча в шт. Виргиния, США. Минерал двухосный, оптически положительный, обладает сильной дисперсией. Показатели преломления:  $N_p=1,61$ ,  $N_m=1,62$ ,  $N_g=1,65$ .

Твердость ювелирной бирюзы 5–6, а у выветрелой снижается до 2–4 (по Моосу). Плотность колеблется от 2,8...2,9 г/см<sup>3</sup> плотных неизмененных образцов до 2,6 у выветрелых.

Бирюза довольно хрупкая, излом роковистый, блеск восковой, после полировки сильный стеклянный. Она непрозрачна, в тонких сколах слабо просвечивает.

Окраска бирюзы небесно-голубая, синеватая, голубовато-зеленая до яблочно-сероватой и буровато-зеленой. Голубой, бирюзовый цвет наблюдается у не затронутых выветриванием образцов, химический состав которых близок к теоретическому и зависит, прежде всего, от содержания окиси меди. Зеленоватые, желтоватые и буроватые тона в окраске бирюзы обусловлены окисным железом, замещающим медь в зоне интенсивного разложения бирюзы. Примеси галлуазита, каолинита и вавеллита обесцвечивают бирюзу, образуя белесые пятна.

В шлифах, в отраженном свете бирюза окрашена в бледно-голубоватые, зеленоватые и зеленовато-желтые тона. При скрещенных николях плотные разности бирюзы представляют собой серый микрокристаллический агрегат со слабо поляризующими участками криптокристаллического сложения. Затронутая выветриванием бирюза, обогащенная окисью железа и кремнеземом, выглядит почти изотропной массой с беспорядочно расположенными анизотропными прожилковидными и петельчатыми участками радиально-лучистого, сферолитового и мелкоагрегатного строения. В шлифах обычно хорошо видна сеть микротрещин, образующая почковидные структуры и рисунок полигональных форм. Нередко бирюза содержит включения зерен и шестоватых кристалликов кварца кубиков и пентагон-декеаэдров пирита, реже халькопирита и мелких обломков вмещающих пород. По бирюзе развиваются гидроокислы железа, ярозит, халцедон, опал, вавеллит, карбонат, галлуазит и каолинит.

Бирюза растворяется в соляной кислоте, с плавнями дает реакцию на медь. В запаянной трубке растрескивается, выделяя воду, и становится бурой или черной. В пламени паяльной трубки буреет, принимает стекловатый вид, но не плавится. Окрашивает пламя в зеленый цвет, при смачивании в соляной

кислоте цвет пламени становится синим за счет образования  $\text{CuCl}_2$ . При нагревании в температурном интервале 290...350 °С бирюза теряет максимальное количество воды, что постепенно меняет окраску минерала от голубой через голубовато-серую, зеленую, серовато-зеленую до шоколадно-коричневой. При температуре выше 740 °С происходит разрушение кристаллической структуры бирюзы и образование новых соединений.

Бирюза образует прожилки и обособления различных форм, желвачки, в верхних частях месторождений обычны корочки и примазки. Мощность бирюзовых прожилков колеблется от 1...3 мм до 0,5...5 см, протяженность их чаще всего не превышает первых десятков сантиметров и лишь иногда измеряется первыми метрами, размер желвачков составляет 1 мм...10 см в поперечнике.

Бирюзе сопутствует группа близких к ней по химическому составу и физическим свойствам минералов, которые иногда также используются в ювелирной промышленности. К ним относятся следующие минералы.

Халькосидерат-железистый аналог бирюзы  $\text{CuO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , окрашенный в светлые желто-зеленые тона. Сингония триклинная. Оптически отрицательный минерал, Твердость 4,5. Удельный вес 3,1. Образует скопления сноповидных кристаллов и корочки.

Алюмохалькосидерит-минерал промежуточный между халькосидеритом и бирюзой –  $\text{CuAl}_2 \cdot \text{Fe}_4 \cdot (\text{OH})_8 \cdot (\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Цвет густо зеленый, травяной до синевато-зеленого. Излом неровный до раковистого. Твердость 4,5. Удельный вес 3,0. Образует небольшие шарообразные агрегаты или корочки на кварце и топазе.

Рэшлейит (рашлеит) – по составу также промежуточный минерал между бирюзой и халькосидеритом. Богат железом (до 20%), в окраске преобладают зеленые тона. Макроскопически не отличим от зеленой бирюзы.

Фостит (фаустит) – цинковый аналог бирюзы яблочно-зеленой окраски. Излом слабо раковистый или ровный. Хрупок. Удельный вес 2,92. Твердость 5,5. Строение микрозернистое. Состав (вес.%):  $\text{CuO}$  – 1,61;  $\text{ZnO}$  – 7,74;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 35,31;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,73;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 34,83;  $\text{H}_2\text{O}$  – 18,78.

Варисцит – фосфат из группы скородита, близок по физическим свойствам к бирюзе. Окраска зеленая, темно-зеленая, голубая и желтая. Блеск стеклянный. Образует корочки, желваки, редко кристаллы октаэдрического облика. Твердость 4,5. Спайность отсутствует. Удельный вес 2,5. Используется в ювелирной промышленности США как заменитель бирюзы.

Бирюза – один из распространенных ограночных камней, широко используемых в ювелирной промышленности благодаря красоте окраски, легкости обработки и сравнительно малой стоимости.

Собственно драгоценным камнем являясь только плотная яркоокрашенная небесно-голубая бирюза без каких-либо примесей и инородных включений. Она легко принимает зеркальную полировку и шлифуется, в виде кабошонов округлых и овальных форм. Ввиду того, что однородная голубая бирюза, как правило, встречается в мелких обособлениях, из нее обычно изготавливаются

кабошоны размером в 2...4 мм, применяемые в осыпных изделиях, в которых бирюза прекрасно сочетается с жемчугом, бриллиантами и другими драгоценными камнями. Более крупные выделения бирюзы применяются в сплаве из драгоценных металлов и в виде бус.

Крошка бирюзы и тонкие ее пластинки используются для инкрустации по дереву и металлам и для изготовления сцементированных камней, имитирующих плотную и брекчиевидную бирюзу. Очень хороши, бывают искусственные окатанные (голтованные) камни, характеризующиеся индивидуальностью форм и размеров.

Широко распространенные разновидности бирюзы зеленоватых оттенков, а также камни с пятнами и включениями ценятся значительно ниже, хотя последние своей неповторимостью бывают более интересны, чем однородная бирюза. На Востоке широко развита гравировка бирюзы. Дефектные участки камня при изготовлении украшения закрываются драгоценным металлом.

Довольно высоко ценятся «паутинные» или «сетчатые» разности бирюзы, образованные сложным узором тончайших прожилков черного углистого вещества или окислов железа на ярком голубом фоне. Такие разности характерны для Аризонских месторождений в США, а в СССР были встречены в Центральных Кызылкумах на проявлениях Ауминза и Тюя-Таш.

В зарубежной ювелирной промышленности умело используется вся «бирюзовая руда», в том числе так называемая «брекчиевая» бирюза и «бирюзовая матка», представляющая собой вмещающие породы с мелкими включениями и тонкими прожилками бирюзы, из которых нельзя выделить кондиционного по размерам материала.

В Иране бирюза по ее ценности разделяется на следующие сорта: ангуштари небесно-голубая до густо-голубой однородной окраски без включений вмещающих пород; барханех-небесно-голубая до зеленовато-голубой с очень тонкими лимони товыми прожилками и араби-светлая или пятнистая яркоокрашенная со значительным количеством включений вмещающей породы.

США разработаны методы облагораживания мелоподобной бирюзы превращением ее в качественный материал, оцениваемый так же высоко, как и природное сырье. Работы по облагораживанию ихотной зеленовато-бурой и бурой эрозитизированной бирюзы Средней Азии проводились также во Всесоюзном научно-исследовательском институте синтеза минерального сырья (ВНИИСИМС). Имеются сведения об искусственном выращивании бирюзы за рубежом, однако интетические камни не пользуются большим спросом.

Требования ювелирной промышленности к качеству бирюзы в сырье регламентированы отраслевым стандартом ОСТ 41-16-71 (табл.17).

## Требования к качеству ювелирной бирюзы

Разновидности бирюзы	Качественная характеристика	Минимальная масса камня, г	Сорт
Бирюза голубая «яркая»	1,а. Плотная равномерно окрашенная, однотонная. Цвет голубой или небесно-голубой.	10,0	Экстра
	1,б. Плотная, равномерно окрашенная. Цвет голубой или небесно-голубой.	15,0	Экстра
	Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков черного и темно-бурого цвета на площади не более 20% поверхности камня.		
	2,а. Плотная, равномерно окрашенная, однотонная. Цвет голубой, небесно-голубой.	5,0	Высший
	2,б. Плотная, равномерно окрашенная. Цвет голубой, небесно-голубой	7,0	Высший
	Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков черного и темно-бурого цвета на площади не более 30% поверхности камня.		
	3.Плотная, равномерно окрашенная. Цвет голубой, небесно-голубой.	1,5	I
	Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков черного и темно-бурого цвета на площади не более 30% поверхности камня.		
	4.То же	0,5	II
	5. Плотная, голубого или небесно-голубого цвета с пятнами или прожилками белого, светло-голубого, желтого или светло-бурого цвета на площади не более 30% поверхности камня.	2,0	III



Разновидности бирюзы	Качественная характеристика	Минимальная масса камня, г	Сорт
Бирюза голубая «бледная»       Бирюза зеленая	1. Плотная, равномерно окрашенная. Цвет голубой и зеленовато-голубой. Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков черного, темно-бурого цвета на площади не более 30% поверхности камня.	10	I
	2. То же	1,5	II
	3. То же	0,5	III
	1,а. Плотная, равномерно окрашенная, однотонная. Цвет зеленый илиголубовато-зеленый, яркий.	1,0	I
	1,б. Плотная, равномерно окрашенная. Цвет зеленый или голубовато-зеленый, яркий. Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков черного и темно-бурого	1,5	I
	Цвета на площади не более 30% Поверхности камня.		
	2. То же	0,5	II
	3. Плотная, равномерно окрашенная. Цвет зеленый и голубовато-зеленый бледный. Допускается развитие пятен, дендритов и волосовидных прожилков белого, черного и темно-бурого цвета на площади не более 30% поверхности камня.	1,5	III

Камни, типа «бирюзовой матки» при содержании ярко-голубой бирюзы во вмещающей породе не менее 30% и с массой не менее 50 г. относятся к III сорту.

Основными параметрами качества являются декоративные качества сырья и масса камня. Минимальный размер камня 3мм в поперечнике. Декоративные качества бирюзы определяются чистотой камня, его цветом, интенсивностью

окраски, характером распределения и степенью развития дефектов. Не допускаются «мякотины», каверны и трещины, а также слабая, неопределенных тонов окраска.

Бирюза, не отвечающая ОСТ, может поставляться по согласованию с заказчиком. Это, главным образом, относится к коллекционному материалу, представляющему собой штуфы вмещающих пород с включениями и прожилками несортной бирюзы или образцы пород с сортовой бирюзой, стоимость которой явно ниже стоимости образца в целом; сюда относятся уникальные образцы, представляющие музейную ценность [1, 2, 4].

#### 1.2.8. Гематит (крававик)

Название минерала происходит от греческого «гематикос» – кровавый и обязан кроваво – вишнево - красному цвету порошка (введено Теофастом в 325г. до н.э.). Русский термин «крававик» или «крововик» является синонимом. В литературе по камням-самцветам утвердилось двойное наименование этого минерала, в то время как просто крававиками называют некоторые разновидности халцедонии и яшм с ярко-красными пятнами.

В природе известны две полиморфные модификации гематита:  $\alpha$ -FeO-тригональная устойчивая и  $\gamma$ -FeO – кубическая неустойчивая. Все используемые в ювелирном деле разновидности гематита (отдельные кристаллы, почковидные выделения красной стеклянной головы) принадлежат первой модификации.

У него сингония тригональная, дитригонально-скаленоэдрический вид симметрии. Кристаллы пластинчатые, ромбоэдрические, таблитчатые и толстотаб-летчатые, часты двойники. Размеры кристаллов могут достигать нескольких сантиметров. Спайность отсутствует, но двойники вызывают отдельность.

Химический состав  $Fe_2O_3$ . Содержание железа 70%. Известны изоморфные примеси. Из других примесей обычны магнетит, а в скрытокристаллических разновидностях-гидрогематит, глинозем и кремнезем. Твердость по шкале Мооса 5,4–6,0 и плотность 5,0...5,2 г/см<sup>3</sup>. Минерал хрупок, радиально-лучистые агрегаты легко раскалываются вдоль лучистости.

Цвет гематита (крававика) от железо-черного до стально-серого или стально-синего с пестрой побежалостью, окраска однородная. В плотных микрокристаллических разновидностях-голубовато-стально-серый с однородной или пятнистой окраской из-за ярко-красных пятен и вкраплений вторичного гематита. Иногда наблюдается красноватый отлив. В тонких пластинках гематит просвечивает густо-красным цветом. Блеск металлический. Черта вишнево-красная до фиолетовой. У тонкочешуйчатых и землистых агрегатов цвет черты подобен красному карандашу.

В отраженном свете гематит очень светлый, часто белый, блестящий. Рядом с сульфидами он выглядит более матовым и более синим. Отчетливо выражены эффекты анизотропии. Плотный «голубой» гематит в отраженном свете имеет

кремовую окраску. Перед паяльной трубкой не плавится. В восстановительном пламени при высокой температуре переходит в магнетит. В HCl растворяется очень медленно.

Гематит часто встречается в сростках изогнутых пластинчатых кристаллов железная роза, в плотных чешуйчатых и скрытокристаллических массах красный железняк, железный блеск, железная слюдка, железная сметана; в почковидных концентрически-скорлуповатых агрегатах радиально-лучистого строения красная стеклянная голова. Именно почковидный гематит, обладающий тонко-волокнистым строением, является сырьем для ювелирной промышленности. На отечественном месторождении Кишкенесор почки имеют размеры от 1 до нескольких сантиметров по длине луча. Они тесно прилегают одна к другой, слагая своеобразные почково-корковые выделения площадью до нескольких квадратных метров. Плоскости, по которым почки срastaются между собой, ровные, гладкие, иногда зеркальные, напоминающие индукционные грани кристаллов. Внутреннее строение почек может быть осложнено наличием дочерних почек поздних генераций и «свилеватостью» из-за группировки отдельных волокон в пучки. На некоторых месторождениях, как, например, Яхимов в Чехии, встречаются параллельно-волокнистые агрегаты гематита с волокнами длиной в 0,5 м. Эти агрегаты называют «кровавый камень» (в лутштейн).

Гематит от похожих на него ильменита и магнетита отличается цветом черты, отсутствием магнитности, а от гетита цветом черты и более высокой твердостью. Радиально-волокнистый гематит легко спутать с лепидокрокитом даже под микроскопом.

Как уже упоминалось, в ювелирном деле для изготовления различных украшений и поделок, а также в качестве абразивного материала для полировки драгоценных металлов употребляется скрыто-кристаллическая радиально-волокнистая разновидность гематита-красная стеклянная голова.

Несколько более узкое применение – для производства каменной миниатюры – находит крупнокристаллический гематит. Известны попытки использовать в качестве ювелирно-поделочного сырья скрытокристаллический плотный гематит. Однако из-за трудной полируемости практическое использование такого гематита не налажено.

Друзы пластинчатых изогнутых кристаллов гематита-железные розы, а также красные стеклянные головы с горным хрусталем и другими минералами или длиннолучистые агрегаты тонковолокнистого гематита очень эффектны и являются ценным коллекционным материалом. Использование гематита в других областях общеизвестно: это важнейшая руда на железо, сырье для производства керамических пигментов, железного сурика, стержней цветных карандашей и др.

Ювелирно-поделочный гематит (кровавик) относится к ювелирно-поделочным камням 1 порядка, сравнительно дорогим, используемым в массовых ювелирных изделиях. При полировке радиально-лучистых разновидностей в плоскостях, перпендикулярных лучистости, он принимает зеркальную

поверхность. «Черные камни по своей природе обладают совершенно особыми чертами: вместо цветных тонов прозрачных самоцветов здесь возникает металлический блеск как результат энергетического хаоса быстродвигающихся и неправильных атомов и ионов, меняющих свои места и сочетания», – писал А.Е.Ферсман о черных самоцветах. Таким черным самоцветом является гематит. Своеобразный блеск гематита (кровавика) издавна привлекал любителей камня. Как поделочный камень он был широко известен в Ассирии, Вавилонии и Древнем Египте. Начиная с эпохи Возрождения, вплоть до 19 в. мода на резные и ювелирные изделия из кровавика возникала периодически.

В Государственном Эрмитаже и в Минералогическом музее РАН им А.Е.Ферсмана хранятся многие изделия, выполненные из гематита, в том числе резные миниатюры (геммы) эпохи Сасанидов. В настоящее время с внедрением в камень обрабатывающую промышленность ультразвуковой техники и лазеров появилась возможность наладить производство каменной резной миниатюры в широких масштабах.

Для обработки гематита подходят почти все виды огранки: розой, ступенчатая и кабашоном. В каждом конкретном случае подбирают наиболее удачную для данного изделия форму. Фасетная огранка придает изделию наибольший блеск. При огранке гематита кабашоном для усиления блеска по срединной линии изделия иногда делается гребень. При ступенчатой огранке камням придается форма квадрата, прямоугольника или ромба.

В связи с тем, что голубой тонкозернистый гематит практически не используется, приведенное ниже извлечение из МРТУ 41-3-70 касается только радиально-волокнутого почковидного гематита (типовая разновидность – кишкенесорский).

Технические требования, предъявляемые к качеству ювелирно-поделочного гематита (кровавика), предусматривают следующее:

- а) радиально-лучистое строение;
- б) цвет железо-черный или стально-серый;
- в) допускаются:
  - красноватый оттенок, присущий данному камню;
  - ярко-красные пятна и точки, обусловленные включением яшмовидной породы, если площадь их развития не превышает 15...20% общей площади камня;
  - концентрическая зональность, не нарушающая монолитность камня;
- г) не допускаются:
  - инородные включения, кроме указанных в пункте «в»;
  - скорлуповатая отдельность;
  - открытые трещины и каверны.

В зависимости от строения кровавика и размера бездефектного камня выделяются следующие сорта (табл. 18).

Таблица 18

## Технические требования к гематиту (крававику) в сырье

Минимальные размеры бездефектных радиально- лучистых агрегатов, мм	Выход бездефектного камня, %	Сорт
20×20×10	50...100	I
20×10×10	50...100	II
10×10×6	50...100	III

Максимальные размеры камня не должны превышать 200×100мм. в поперечном сечении.

В качестве абразивного материала гематит (крававик) применяется как в штуфах (для изготовления полировальников), так и в порошке. Требования к абразивному крававику регламентируется МРТУ 41-4-70 и предусматривает следующее:

а) крававик должен быть плотным, однородным и иметь радиально-лучистое строение со строго упорядоченным расположением лучей;

б) не допускаются:

- какие-либо инородные включения;
- замещение гематита гетитом или другими окислами железа;
- развитие железной слюдки между лучами;
- концентрическая зональность, заметная невооруженным глазом;
- скорлуповатая отдельность;
- открытые или залеченные трещины и каверны.

Крававик должен быть представлен штуфами (кусками) с размерами, приведенными в табл. 19. Выход бездефектного камня должен составлять 75...100 %. Максимальный размер штуфов (кусков) не ограничивается.

Таблица 19

## Размеры штуфов сортового крававика

Минимальные размеры, мм		Сорт
Длина (вдоль лучистости), мм	Сечение – (ориентируется поперек лучистости)	
40	20×15	I
30	20×10	II

Гематит (крававик) относится к наиболее трудно полируемым рудным минералам. Прекрасная полировка может быть достигнута только после хорошей предварительной шлифовки. В качестве полировального материала можно использовать  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Сечения, перпендикулярные грани, полируются лучше, чем параллельные ей. При полировке может происходить выкрашивание волокон и минералов-примесей, заключенных между волокнами, что снижает ее качество. Для производства ювелирных изделий применяется полировка только перпендикулярно волокнистости.

Следует упомянуть, что при дефиците ювелирно-поделочного гематита на мировом рынке в качестве абразивного материала и ювелирно-поделочного сырья некоторое время использовался гетит. К гетиту предъявлялись следующие требования: толщина почковидных выделений не менее 1,5 см, отсутствие трещин и посторонних примесей, достаточно плотное прилегание волокон.

Гетит добывался на медно-вольфрамо-молибденовом месторождении Азегур в Марокко.

Хорошие результаты получены при пробном изготовлении ювелирных изделий из почковидных гетит-лимонитовых агрегатов, обнаруженных в интенсивно ожелезненной зоне дробления на участке Улькен-Каскыр Букантауской группы месторождений бирюзы в Узбекистане. Эти изделия по своим декоративным качествам не уступают изделиям из гематита [4].

### 1.2.9. Нефрит

Нефрит относится к ювелирно-поделочным камням 1 подтипа. Свое название он получил от греческого слова «nephros», означающего «почка», что связано с суеверным представлением древних о способности нефрита излечивать болезни почек.

Поделочный нефрит – это плотный, вязкий скрытокристаллический спутанно-волокнистый агрегат моноклинного амфибола тремолит-актинолитового изоморфного ряда, отвечающего химической формуле  $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_4\text{O}_{11}]\cdot(\text{OH})_2$ .

Содержание основных минералообразующих компонентов в нефрите колеблется в следующих пределах (в вес.%):  $\text{SiO}_2$  – 55,0...57,6;  $\text{CaO}$  – 11,8...16,0;  $\text{MgO}$  – 18,8...25,7. Почти всегда присутствуют  $\text{FeO}$  (0,1...8,0 %);  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,1...5,0%);  $\text{H}_2\text{O}$  (до 4%), реже  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  (в Саянских нефритах до 2%). В качестве изоморфных примесей обычны:  $\text{TiO}_2$  до 0,1%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,1...1,0%);  $\text{MnO}$  (0,1...0,25%);  $\text{MgO}$  (до 0,17%);  $\text{CaO}$  (до 0,1%).

Нефрит образует плотную массивную или сланцевую мономинеральную породу. Он имеет чешуйчатый полураковистый или занозистый излом, обладает жирным, иногда мерцающим блеском. Твердость нефрита 6–6,5 по Моосу, у разностей, содержащих тальк и серпентин, до 5,5. Плотность в зависимости от содержания железа колеблется от 2,8 (белый нефрит) до 3,3 г/см<sup>3</sup> (зеленый нефрит). Цвет нефрита преимущественно зеленый разных тонов и оттенков (светло-зеленый, яблочно-зеленый, серовато- и голубовато-зеленый, травянисто-зеленый, изумрудно-зеленый, темно-зеленый, болотный, оливковый). Реже встречается белый нефрит (цвет свиного сала-белый непрозрачный, водянисто-белый просвечивающий, желтоватый), серый до черного (голубовато-серый, дымчатый с черными разводами).

Зеленый цвет нефрита обусловлен содержанием окислов железа, а также хрома. Другие цвета нефрита, видимо вызываются наличием никеля и марганца. На месторождениях России распространен преимущественно нефрит

зеленого цвета (Восточный Саян), реже встречается белый с дымчатым оттенком (Джидинский район Бурятии). Нефрит различается и по рисунку окраски: наиболее часто встречаются «облачные», обусловленные тональными переходами цвета, значительно реже наблюдаются однотонные, полосчатые и пятнистые разности. В полированных пластинах выявляется своеобразный рисунок, оригинальный для каждого образца. Рисунок зависит от различия в интенсивности окраски, неравномерного распределения включений темноцветных минералов магнетита и хромшпинелидов, постепенных переходов одного цвета в другой.

Нефрит характеризуется плотным однородным строением, что определяет его хорошую полируемость. Прочность нефрита очень высока. Он выдерживает сопротивление на раздавливание до 360 МПа и растяжение до 56 МПа. Эти свойства нефрита обусловлены его микроструктурой, представленной несколькими разновидностями: спутано-волокнистой (нефритовой), радиально-лучистой, сферолитовой, волнистой, пуховой, крупнозернистой (мозаичной).

Для нефрита Восточного Саяна принята петрографическая классификация структур: нематобластовая центрическая на основном фоне фибробластовой, параллельно-волокнистая, фибробластовая (спутано-волокнистая), порфиробластовая сноповая с фибробластовой основной тканью и др.

Под микроскопом видно, что нефрит состоит из переплетений агрегатов-пучков, каждый из которых содержит от одного до трех десятков тончайших волокон тремолита (актинолита).

Различить отдельные волокна можно лишь изредка; показатели преломления их составляют:  $N_g=1,632$ ,  $N_p=1,609$ . Из микровключений следует назвать широкопризматический тремолит, пироксен, диопсид, серпентин, тальк, хромшпинелиды, графит, фуксит, хлорит, асбест и рудные минералы. Суммарное содержание минералов-примесей колеблется от 0,5 до 15%. Нефрит нередко обнаруживает сходство с некоторыми зеленоцветными породами, которые похожи на него не только по цвету, но и внешнему облику. К ним относятся спутано-волокнистый серпентинит-бованит (океанический жад), жадеит (жадеитит), спутано-волокнистый агрегат диопсид-каркаро, гидрогроссулярит, гроссулярит (трансваальский жад). Эти породы отличаются от нефрита по ряду макроскопических признаков (табл. 20).

Использование нефрита восходит к истокам зарождения цивилизации. Орудия труда и охоты из нефрита находят во многих неолитических стоянках в Азии, Европе и Америке. В Китае, Индии и Новой Зеландии нефрит служил священным камнем и символом власти.

Нефриту в древности приписывались многие лечебные свойства. Существовали поверья, что он излечивает почечные болезни, спасает от молнии, а прикосновение к хорошо полированному предмету из нефрита приносит успокоение. В некоторых странах Океании нефрит использовался в качестве денег. Со средних веков нефрит стал широко применяться в разных изделиях и украшениях. Во всем мире знамениты китайские резные изделия из

нефрита-вазы, шкатулки, жертвенные чаши, фигурки богов, статуэтки и ювелирные изделия.

Таблица 20

Диагностические признаки зеленоцветных пород

Порода (основной минерал)	Минераль- ная группа	Твер- дость	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Блеск	Излом	Поведение перед паяльной трубкой	Отноше- ние к кислоте
Нефрит (тремолит- актино- лит)	Монок- линные амфи- болы	5,5– 6,5	2,90... 3,32	Стек- лянный	Неров- ный зано- зистый	Сплав- ляется с трудом в стекло	Не раство- ряется в HCl
Жадеит, жадеитит	Монок- линные пирок- сены	6,5–7	3,27... 3,43	То же	То же	Легко сплавля- ется в проз- рачное стекло	Кислоты дейст- вуют после сплав- ления
Каркаро (диоксид)	То же	5,5–6	3,22... 3,38	То же	То же	Сплав- ляется с трудом в стекло	Не раство- ряется в HCl
Бовенит (серпен- тин)	Серпент- инкаоли- нита	2,5–4	2,50... 2,65	Жирный, воско- видный, стек- лянный	Рако- вистый	С трудом оплав- ляется по краям, в закры- той трубке выделя- ется много воды	Разла- гается в HCl и H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Грос- сулярит «транс- ваальс- кий жад» (гросс- суляр, гидро- грос- суляр)	Граната	6,5–7,5	3,50... 4,20	Стек- лянный, жирный	Неров- ный	Сплав- ляется в стекло	Сплав- ленный шарик раство- ряется в HCl. Гидро- грос- суляр раство- ряется в HCl без сплав- ления



Сейчас нефрит пользуется не меньшей популярностью. Камнерезной промышленностью выпускаются различные изделия из нефрита: подставки, пепельницы, чернильные приборы, вставки в недорогие ювелирные украшения и др. Нефрит используется и как декоративно-поделочный материал, в частности, им инкрустируют мозаичные панно и украшают интерьеры.

Нефрит ценится за глубокий и ровный тон окраски, прочность и способность принимать зеркальную полировку. В соответствии с ОСТ 41-117-76 Нефрит различается по сортам. Требования ОСТ разработаны для месторождений Восточного Саяна, но могут применяться для оценки камня других месторождений.

Выход сортовых разностей определяется путем распиловки добытого камня и колеблется в широких интервалах для разных месторождений. Так, в Восточном Саяне на Остинском месторождении он в среднем составляет 30 %, а на Улан-Ходинском – 24 %. Кондиционный материал этих месторождений относится в основном к 1 сорту.

Самыми большими дефектами нефрита являются трещиноватость и микросланцеватость. С ними связано развитие вторичных процессов, приводящих к окрашиванию нефрита вдоль трещин в темно-бурые и грязно-серые тона. Снижают ценность камня также включения талька, графита, карбоната, хлорита и серпентина, образующие мутные пятна и препятствующие получению зеркальной полировки.

Оптовые цены на нефрит в сырье на мировом рынке в 1972 г. составляли от 6,6 до 33 долларов за килограмм и выше. Лучшие разности светлого и яблочно-зеленого полупрозрачного нефрита оценивались в отдельные годы в 125...250 долларов за килограмм [4].

#### 1.2.10.Родонит (орлец)

Родонит –  $[Mn,Ca] SiO_3$  относится к группе волластонита, характеризующейся наличием ленточного (цепочного) радикала  $[Si_6O_{17}]$ . Название его происходит от греческого слова «родон» (роза, розовый). В отечественной литературе как синоним употребляется название орлец.

Теоретическая химическая формула родонита  $MnSiO_3$  с содержанием  $MnO$  – 54,1%,  $SiO_2$  – 45,9%. В природных условиях в качестве изоморфной примеси обязательно присутствует  $CaO$ . Однако полный изоморфизм в ряду  $MnSiO_3$  и  $CaSiO_3$  отсутствует. Пределы смесимости составляют 0...18 мол.%  $CaSiO_3$  в  $MnSiO_3$ . Химический состав природного родонита (%):  $MnO$  – 46,0...30,0;  $CaO$  – 4...6,5;  $SiO_2$  – 45...48. В виде примесей присутствуют  $FeO$ , в очень незначительных количествах щелочи и  $Al_2O_3$ .

Наиболее характерный цвет родонита розовый, иногда розовато-серый, малиновый или красный. Блеск родонита стеклянный, на плоскостях спайности с перламутровым отливом. Спайность совершенная. Твердость по шкале Мооса 5–5,5, плотность 3,40...3,75 г/см<sup>3</sup>. Плавится при температуре около 1200 °С. Сингония триклинная [6].

В природных условиях родонит обычно находится в виде сплошных плотных или зернистых агрегатов, кристаллы встречаются редко. Они имеют таблитчатую, изометрическую, реже призматическую форму. Как правило, кристаллы плохо образованы, грани их шероховаты, а ребра закруглены. При выветривании родонит покрывается корочкой вторичных окислов марганца.

Ювелирно-поделочный родонит представляет собой моно- или полиминеральный агрегат от скрыто до крупнозернистого сложения. Крупные мономинеральные обособления встречаются крайне редко, и в камнерезном производстве используется полиминеральный агрегат. В ассоциации с родонитом обычно встречаются бустамит, кварц, спессартин, родохрозит, вторичные окислы марганца, реже и в меньшем количестве присутствуют кальцит, марганцесодержащие карбонаты, окислы и сульфиды железа, пьемонтит, тефроит и др. Характерно, что тефроит совместно с кварцем встречается крайне редко. Бустамит присутствует на большинстве месторождений родонита, образуя с ним тонкие сростки, а иногда слагая значительные участки рудных тел.

Окраска камня не постоянна и зависит от количества минералов примесей и их физических свойств. Яркие и равномерные цвета в розовых и малиновых тонах характерны для агрегатов с малым количеством примесей, в это время как богатые ими разности имеют более бледную, часто пятнистую окраску с участками розовато-серого, грязно-серого, желтовато-розового и бурого цвета. Весьма эффектно выглядят некоторые разности пород с проявлений хребта Султан-Уиз-Даг. Они представляют собой мелкозернистые, обогащенные кварцем образования, характеризующиеся равномерной ярко-розовой окраской и воспринимающие зеркальную полировку.

В породах из зон выветривания отмечаются пятна, прожилки и дендриты окислов марганца черного цвета. Тонкие ветвящиеся прожилки часто создают красивый пейзажный рисунок, улучшая декоративные качества камня.

Родонит (орлец) является одним из традиционных русских самоцветов. Открытие его на Урале относится к концу 18 столетия (1798 г.) а широкое использование в качестве поделочного камня начато с середины 19 века, по времени совпадая с расцветом русского камнерезного искусства. Яркая окраска в розовых тонах, нечасто встречающаяся в природных минеральных образованиях, а также способность к восприятию полировки высокого класса снискали широкую известность этому камню. В камнерезном производстве родонит нашел применение как поделочный, высокодекоративный облицовочный и отчасти ювелирный материал.

До революции родонит в России в основном использовался для изготовления камнерезных поделок. Лучшие образцы изделий того периода из родонита собраны в экспозициях Эрмитажа. Наиболее крупным изделием из него является, по выражению А.Е.Ферсмана, дивный саркофаг, весом только в семь тонн», хранящийся в Петропавловском соборе-музее в Санкт-Петербурге. Саркофаг был выточен из монолита родонита Мало-Седельниковского месторождения, имевшего вес 47 тонн.

В настоящее время родонит как ювелирно-поделочный материал в отечественном и зарубежном камнерезном производстве широко используется для изготовления некрупных камнерезных предметов утилитарного назначения (пепельницы, книгодержатели, пресс-папье и др.), сувениров, а также кабошонов и плоских вставок в галантерейные и ювелирные изделия.

В качестве облицовочного материала родонит нашел применение для отделки интерьера станции метро «Маяковская» в Москве и зала вручения верительных грамот Большого Кремлевского Дворца.

Крайне редко на месторождениях встречаются яркоокрашенные полупрозрачные или просвечивающие индивидуумы родонита, представляющие прекрасный материал для изготовления ограненных или кабошонированных вставок в ювелирные изделия.

Технические требования к родонитовому сырью приведены в ОСТ 41-117-76.

На мировом рынке цены на родонит из Австралии составляют (долларов за 1 фунт):

- 1) родонит розовый до красного цвета, средне-зернистый, массивный с черным паутинным рисунком окислов марганца – 5;
- 2) родонит красный – 4,75;
- 3) родонит без указания качества – 2...2,5;
- 4) голтованный родонит, светлый – 4,75 [4].

#### 1.2.11. Амазонит и амазонитовые породы

Амазонит (по названию р. Амазонки, синоним «амазонский камень») является пазновидностью микроклина и окрашен в зеленый, голубовато-зеленый или зеленовато-голубой цвета.

Химическая формула амазонита (микроклина) –  $K(AlSi_3O_8)$ . Сингония триклинная, характерны тонкие полисинтетические и решетчатые двойники, наблюдаемые под микроскопом при скрещенных николях. По составу амазонит отвечает твердым растворам ряда калиевый полевой шпат-альбит, поэтому он нередко неоднороден и содержит пертитовые и микропертитовые вросстки. Амазонит отличается от обычного микроклина повышенным содержанием ряда элементов-примесей-рубидия, свинца, цезия, железа и таллия, количество которых может колебаться в значительных пределах (в вес. %): Li – 0,004...0,025 (изредка до 0,26); Rb – следы...0,38 (до 3,1); Fe – 0,0007...0,0053; Cs – следы ...0,003 (до 0,48); Pb – 0,015...0,28; Mn – 0,001...0,12; FeO – 0,05...0,31; Cu – 0,0007...0,0008.

В отличие от других калиевых полевых шпатов амазонит (микроклин) имеет наиболее упорядоченную структуру. Формы выделения и все основные свойства амазонита, за исключением окраски, аналогичны таковым микроклина. Спайность совершенная. Излом ступенчато-неровный, твердость по шкале Мооса 6 черта белая, плотность 2,55...2,6 г/см<sup>3</sup>. Блеск стеклянный, иногда на плоскостях спайности перламутровый. Пертитовые вросстки белого

или желтоватого альбита располагаются перпендикулярно или косо по отношению к спайности амазонита и составляют до 25 % и более от общей массы амазонита, образуя контрастный рисунок на зеленом или голубом фоне.

Окраска амазонита при нагревании до 300...500 °С исчезает, но после радиактивного или рентгеновского облучения может частично восстановиться. Иногда эта окраска при хранении амазонита в темноте восстанавливается самопроизвольно.

И окраска амазонита, и распределение в нем вростков альбита весьма разнообразны. Так, среди амазонитов Кольского полуострова по цвету различаются четыре разновидности, среди которых по характеру вростков альбита и кварца также выделяется несколько типов.

1. Амазонит интенсивного зеленовато-голубого или голубовато-зеленого цвета:

а) с тонкими субпараллельными вростками белого или светло-желтого альбита;

б) с более грубыми и реже, чем в первом типе, расположенными вростками альбита;

в) с мелкопятнистой вкрапленностью вростков альбита или с ихтиоглиптами кварца – с четко выраженной письменной структурой, или же с неправильно расположенными ихтиоглиптами, имеющими различные размеры и форму, а также амазонит «брекчиевидный», сложенный из различно ориентированных кристаллов амазонита, сцементированных кварц-альбитовым материалом.

2. Амазонит яркого травяно-зеленого цвета с мелкопятнистыми и точечными беспорядочно расположенными пертитовыми вростками альбита.

3. Однотонный светло-зеленый или светлый зеленовато-голубой амазонит с нитевидными слабо различимыми вростками альбита или без них.

4. Бледно окрашенный в голубоватый или зеленоватый цвета амазонит с нечеткими расплывчатыми многочисленными субпараллельными пертитовыми вростками белого альбита.

Амазонит в природе встречается в гранитных пегматитах и в амазонитовых гранитах. В пегматитах он образует крупные блоковые выделения (до 2 м. и более), отдельные обособления, иногда достигающие размеров до 1,5 м., мелкие зерна, а также входит в состав письменных структур. В амазонитовых гранитах амазонит обычно встречается в виде мелких зерен, но в пегматитовых зонах иногда образует и довольно крупные кристаллы (до 10 см.).

В камнерезной промышленности находят применение как крупные блоковые выделения и кристаллы амазонита, так и красиво окрашенные амазонитовые граниты и пегматиты.

Амазонитовые граниты представляют собой средне-и мелкозернистую породу светло-зеленой или голубовато-зеленой окраски иногда с розовым оттенком. В эту группу входят разновидности пород, довольно значительно отличающиеся как структурой, так и количественными соотношениями главных породообразующих минералов-амазонита, альбита, кварца и слюды. Наибольшим распространением пользуется зеленовато-голубой амазонитовый

гранит с различным содержанием кварца и амазонита, что определяет интенсивность окраски. В амазонитовых гранитах местами встречаются участки пегматоидного облика, в аплитовидной мелкозернистой массе которых наблюдаются крупные выделения кварца и амазонита. Амазонитовый гранит иногда имеет довольно ясно выраженный порфировидный облик благодаря присутствию относительно крупных выделений литиевой слюды (чаще всего циннвальдита), отличающихся темной желто - бурой окраской на более светлом фоне кварц-амазонит-альбитовой породы. Эта порода также является неравномернозернистой. На общем фоне белой и светло-серой мелкозернистой основной массы выделяются многочисленные изометричные зерна дымчатого кварца и зеленовато-голубого амазонита. Основная масса, имеющая призматически-зернистую структуру, сложена довольно хорошо образованными таблитчатыми зернами альбита и выделениями кварца, амазонита, топаза и литиевой слюды. В этой основной массе породы располагаются и все остальные второстепенные и акцессорные (до 1%) минералы: флюорит, касситерит, циркон, вольфрамит, торит, монацит, минералы группы колумбита-танталита, сульфиды и др.

По своему химическому составу амазонитовые граниты близки к щелочным гранитам и характеризуются повышенным количеством щелочей (входящих в алюмосиликаты) и меньшим содержанием кремнезема, железа и магния.

Характерной особенностью амазонитового гранита является высокое содержание калиевого полевого шпата и незначительное цветных минералов. Калиевый полевой шпат представлен главным образом амазонитом, определяющим общую окраску породы.

Наиболее декоративны граниты с небольшим содержанием темноцветных минералов и светлоокрашенными плагиоклазами, на фоне которых ярко выделяются зеленые зерна амазонита. Окраска камня иногда пятнистая, плотность гранитов  $2,5...2,7 \text{ г/см}^3$ , предел прочности при сжатии в сухом состоянии составляет  $130...150 \text{ МПа}$ , пористость  $0,5...1,6\%$ , водопоглощение  $0,35\%$ , истираемость  $0,002...0,015 \text{ г/см}^3$ , размер блоков достигает несколько кубометров.

Амазонитовые пегматиты по минеральному составу близки к амазонитовым гранитам. По структуре они могут быть как крупноблоковыми, являющимися источником получения ювелирно-поделочного амазонита, так и графическими, находящими применение в качестве поделочного камня. В пегматитовых жилах, кроме главных породообразующих минералов, присутствуют второстепенные и акцессорные минералы – гранат, флюорит, галенит, гематит, апатит, циркон, сфен, ортит, а из вторичных – хлорит, эпидот, клиноцоизит, кальцит и окислы железа. По физико-механическим свойствам амазонитовые пегматиты аналогичны амазонитовым гранитам.

В ювелирном деле амазонит применяется с глубокой древности. Мелкие бусы и амулеты из амазонита изготавливались еще в Древнем Египте. Применялись изделия из этого камня и в ранних культурах Центральной и Южной Америки.

В России амазонит в камнерезном деле стал применяться с конца 18 в., когда амазонитовые пегматиты были найдены в Ильменских горах на Южном Урале.

Из амазонита изготавливаются мелкие кабошонированные вставки в ювелирные изделия (кольца, броши, запонки и др.) и небольшие предметы (вазочки, пепельницы, шкатулки), а также и более крупные декоративные изделия (вазы, торшеры). Так в Эрмитаже имеются четыре вазы из амазонита, изготовленные в 80-х годах 18 в. на Петергофской гранильной фабрике. Амазонит в тонких пластинках (2...3 мм) хорошо просвечивает, что позволяет использовать его в витражах, светильниках и других изделиях.

Амазонит хорошо режется алмазным диском. В качестве охлаждающей жидкости следует применять мыльную воду или содовую эмульсию. Нельзя использовать для охлаждения машинное масло или керосин так как амазонит быстро пропитывается этими жидкостями и теряет декоративность, на нем появляются жирные пятна, яркий зеленый цвет тускнеет, а белый альбит приобретает грязно-серую окраску.

Амазонит хорошо полируется и шлифуется на чугунной планшайбе стандартными сыпучими абразивами и принимает зеркальную полировку зеленым крокусом на войлочном круге.

Амазонит относится к группе ювелирно-поделочных камней второго порядка. Технические требования на амазонит содержатся в отраслевом стандарте ОСТ 41-117-76.

На месторождениях Кольского полуострова размер блоков амазонита в пегматитовых жилах достигает 2...3 м., а длина отдельных кристаллов 1,5 м.

Дефектами амазонита являются ожелезнение в виде пленки и пятен бурого цвета, трещиноватость, бледная окраска, включения зерен кварца и обильная альбитизация. Трещины в амазоните наблюдаются как явно выраженные, так и скрытые (микротрещины), проявляющиеся при распиловке, когда внешне вполне однородный образец при обработке раскалывается [5].

По данным каталогов зарубежных фирм цена голубовато-зеленого и ярко-зеленого (без пертитовых вростков) амазонита составляет за 1 кг высшего качества 10...20 долларов США и за 1 кг. рядового амазонита – 3...5 долларов.

Амазонитовые граниты и пегматиты относятся к группе поделочных и декоративно-облицовочных камней и находят применение для изготовления как всевозможных небольших предметов (вазочек, пепельниц, шкатулок и др.), так и декоративно-облицовочных плиток. Крупные монолиты амазонитового гранита применяют для получения облицовочных плит и памятников. Отходы, полученные при обработке амазонита и амазонитового гранита, используют в качестве заполнителя декоративного бетона.

Оценка амазонитового гранита и пегматита как поделочного камня производится по ОСТ 41-117-76. Амазонитовый гранит как декоративно-облицовочный камень оценивается по ОСТ 41-77-73 «Плитка декоративная из природных цветных камней» и ГОСТ 9479-69 «Блоки из природного камня для распиливания на облицовочные плиты». По ОСТ 41-77-73 качество камня,

идушего для изготовления декоративно-облицовочной плитки, должно соответствовать требованиям ОСТ на поделочные камни. Минимальный размер плиток, согласно ОСТ 41-77-73, по длине (ширине) установлен в 50 мм. с размером увеличения кратным 10мм. и минимальной толщиной в 5 мм.

По ГОСТ 9479-69 гранит (в том числе амазонитовый) относится к Группе твердых пород и должен обладать прочностью не ниже 90 МПа. Другие показатели гранита ГОСТ 9479-69 не нормирует, так как считается, что при указанной прочности гранит должен обладать достаточной морозостойкостью. Фактически такие граниты имеют прочность 150...250 МПа. Для выбора гранита для строительства надо учитывать коэффициент водонасыщения (отношение прочности водонасыщенного образца к прочности сухого). Так, для амазонитовых гранитов Майкульского месторождения прочность в сухом Состоянии равна 130 МПа при коэффициенте водонасыщения 0,75. Поэтому их рекомендуют для внутренних облицовок. Кроме того, нужно учитывать влияние многократного замораживания.

Полировку амазонитовый гранит принимает хорошо, что ярко выявляет цвет и рисунок камня и предохраняет камень от воздействия агентов [4].

#### 1.2.12. Лазурит

Лазурит получил название по ярко-синей окраске. Он известен также под именем ляпис-лазури, но последний термин обычно относится к минеральному агрегату, состоящему из зерен лазурита с другими сопутствующими минералами.

Лазурит принадлежит к группе содалита. Его химическая формула (по А.Г.Бетехтину)  $(\text{Na,Ca})_{4-8}(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4,\text{Cl,S})$  кристаллизуется в гексатетраэдрическом классе кубической сингонии с типичной комбинацией граней куба и ромбододекаэдра. Хорошо образованные кристаллы редки, и он чаще встречается в виде плотных зернистых масс.

Блеск лазурита стеклянный, матовый. Спайность совершенная, излом неровный. Твердость по шкале Мооса 5–6, плотность 2,4...2,9 г/см<sup>3</sup>. Цвет синий, минерал изотропен и только в некоторых случаях обнаруживает аномальное двупреломление. Показатели преломления разноокрашенных лазуритов: голубого 1,502, синего 1,505.

Ювелирный или поделочный лазурит представляет собой полиминеральный тонко- или мелко- до среднезернистого агрегат, в котором зерна лазурита находятся в тесном срастании с кальцитом (редко с доломитом), диопсидом, флагопитом. Иногда присутствуют также полевые шпаты, гаюин, содалит, пирит и др. Размер зерен лазурита в таком агрегате колеблется от сотых до десятых долей миллиметра, реже до нескольких миллиметров в поперечнике. Зерна имеют изометрические, а также вытянутые или извилистые очертания.

Ляпис-лазурь обладает необыкновенно красивой лазурно-синей, синей, голубой, сине-фиолетовой или зеленовато-синей окраской разнообразных оттенков. Окраска бывает пятнистой и реже однородной. В Афганистане,

являющемся поставщиком лучшего в мире лазурита, наиболее ценятся индигово-синие (густо-синие) камни, получившие название «ниили» менее-небесно-синие, голубые «асмани» и еще меньше зеленовато-синие «суфси». Цвет минерала и его интенсивность определяется ион-радикалами  $\text{SO}_4$  и  $\text{S}_3$ . В ярко-синем лазурите их концентрация составляет 0,5...0,7%.

Для ляпис-лазури характерны и нежелательные (серые и белые) пятна, вызванные разнотернистыми скоплениями карбонатов и включениями полевых шпатов, диопсида, слюд и других минералов, снижающие декоративные достоинства камня. Присутствие среди примесей ярко-бронзового пирита, наоборот, улучшает внешний вид камня и служит отличительным признаком ляпис-лазури от других минеральных агрегатов сходного цвета.

От окрашенных в синеватые тона главколита и гаюина ляпис-лазурь легко отличается при помощи паяльной трубки и по действию кислот на порошок минерала. При нагревании до красного каления главколит обесцвечивается, тогда, как лазурит сохраняет свою окраску, а иногда даже усиливает ее». Перед паяльной трубкой лазурит сплавляется в белое стекло, а гаюин в зеленовато-голубое.

Лазурит, так же, как главколит и гаюин, разлагается в соляной и азотной кислоте, но в отличие от них выделяет сероводород, что устанавливается по характерному резкому запаху тухлого яйца.

Ляпис-лазурь использовалась человеком еще за несколько тысячелетий до нашей эры в древних цивилизациях Египта, Месопотамии и Ирана. Из этого камня получали яркую синюю краску, вырезали небольшие статуэтки, различные амулеты.

В России, особенно в 18 и 19 веках, синий лазуритовый камень ценился очень высоко. Он шел на изготовление художественных камнерезных предметов и вставок в ювелирные изделия. Большое количество Бадахшанского и Байкальского лазурита было использовано на облицовку каменных колонн в интерьере Исаакиевского собора в Петербурге, а также для облицовки панелей, каминов и других предметов при отделке лазуритовой комнаты Петергофского дворца.

Благодаря красивой окраске и способности воспринимать зеркальную полировку лазурит находит применение и в наши дни. Он используется для различных по форме вставок в кольца, запонки и различные недорогие украшения. Из него так же вырезают круглые или продолговатые бусины, вазочки, изображения животных, ручки для зонтов, чернильницы, пресс-папье и другие поделки. Крошка лазуритового камня используется для изготовления мозаик, а также в производстве художественной ультрамариновой краски самого высокого качества.

Требования промышленности к ювелирному лазуриту определяется ГОСТ 41-15-71, а поделочного – ГОСТ 41-117-76. За эталоны принимается лазурит Малобыстринского и Памирского месторождений.

К ювелирным сортам относится плотная тонкозернистая лазуритовая порода синего, темно-синего, васильково-синего и фиолетового цвета, различных



оттенков. Среди них различаются высший I, II, III сорта с минимальными размерами камня для высшего сорта 15×15×15 мм, а для остальных сортов 10×10×10 мм. В I, II и III сортах допускаются пятна белого, голубого и серого цвета не более 5%, 10% и 15% от площади поверхности камня соответственно. Для всех сортов ювелирного лазурита мелкая вкрапленность золотистого пирита не считается дефектом.

К поделочному лазриту относятся бездефектные плотные образцы разнотермического строения размером не менее 50×50×50 мм. Не допускаются трещины, пористость, рыхлые участки – «мякотины». Не считается дефектом неравномерность окраски и мелкая вкрапленность неокисленного пирита. По характеру окраски различаются две разновидности поделочного лазурита: малобыстринская (Юго-Западное Прибайкалье) и памирская [4].

### 1.2.13. Иризирующие полевые шпаты

Ювелирные и ювелирно-поделочные разновидности полевых шпатов обладают совершенно особым свойством, отличающим их от обычных, широко распространенных. Это свойство заключается в способности минерала обнаруживать на некоторых гранях, плоскостях спайности или отдельности своеобразную игру света – мерцание, отлив, свечение, а иногда и вспышку ярких цветовых бликов. В нашей литературе это явление принято называть иризацией, а в зарубежной существуют «видовые» названия: опалесценция (адулярисценция), авантюрисценция, лабрадорисценция и др.

Опалесценцией называют мерцание в голубоватых, зеленоватых, жемчужно-белых и бледно-желтых тонах, наблюдаемое обычно у полупрозрачных полевых шпатов. Такое мерцание напоминает блики лунного света на поверхности воды. Отсюда происходит и название иризирующей разновидности – лунный камень.

Авантюрисценция проявляется у другой, не менее распространенной разновидности солнечного камня или авантюринового полевого шпата - и выражается в ярком свечении минерала точечными бликами в оранжево-красных, ярко-желтых и малиновых тонах.

Лабрадорисценцией называют световую игру на гранях и плоскостях спайности кристаллов лабрадора. Она может напоминать яркие спектральные краски побежалости на металле, переливы, свойственные окраске крыльев некоторых тропических бабочек или перьев павлина. Отсюда синонимы названия «лабрадор» – спектролит, тавусит (от персидского «тавуси» – павлин).

Наконец, некоторые плагиоклазы – перистериты – обнаруживают переливчатость окраски в голубовато-сиреневых серо-синих тонах, напоминающую. Отлив перьев на шее голубя («перистера» – по-гречески голубь).

Некоторые специальные названия иризирующих полевых шпатов происходят от характера иризации в кристаллах или от названия мест наибольшего распространения. Так Бреггер называет мурчисонитом

иризирующий ортоклаз, у которого сильная игра света в голубых и желтых тонах (иногда в одном и том же образце) проявляется на плоскости так называемой мурчисонитовой отдельности (почти параллельной базопинакoidу). Беломоритом называют иризирующую в голубых серых и фиолетовых тонах разновидность олигоклаза, распространенную в пегматитах на побережье Белого моря. Известны другие названия иризирующих полевых шпатов: жиразоль, волчий или рыбий глаз, цейлонский опал и другие.

Почти все полевые шпаты способны проявлять иризацию (табл. 21). Лунный камень, как это видно из таблицы, может быть представлен санидином, ортоклазом, адуляром, микроклином, альбитом и олигоклазом. Площадь иризирующих частей кристаллов различна и колеблется от 3...5 см. до 1...3 дм. Иризация солнечного камня проявляется у ортоклаза, микроклина, альбита, олигоклаза, андезина и лабрадора. Размер прозрачных иризирующих участков обычно составляет 3...5 см в поперечнике.

Иризирующий лабрадор в монокристаллах практически не встречается. Обычно он образует сдвойникованные по различным законам сростки кристаллов-вкрапленники (глазки). Очертания иризирующей поверхности часто неправильно округлые, изометричные, а при наличии двойниковой периклиновой штриховки они могут иметь форму вытянутого параллелограмма.

Размеры иризирующих глазков лабрадора в среднем составляет 2...5, реже 10...15 см, иногда достигая 30...80 см.

Иризация лабрадора может быть сплошной и локальной. В небольших блоках кристаллах наблюдается сплошная одноцветная иризация, а в крупных локальная разных цветов и оттенков. Существует несколько разновидностей локальной иризации: пятнистая или мозаичная, каемочная и зональная. Наиболее распространенная пятнистая иризация проявляется в виде чередующихся иризирующих и неиризирующих участков.

Каемочная иризация представляет одноцветную или многоцветную иризирующую оторочку (кайму) шириной от 0,01 до 0,1 мм., которая прослеживается не более чем на 5...6 мм. Зональная иризация наблюдается в виде подобных многоугольников с общим центром, отделенных друг от друга иризирующими и неиризирующими зонами шириной от 1...3 мм. Число таких многоугольников иногда достигает 50.

Устанавливается отчетливая связь между цветом иризации и химическим составом лабрадора. С увеличением основности лабрадора происходит смена цвета иризации от синего до желтого. Узоры иризации совпадают с рисунком неодновременного погасания зерен лабрадора.

Иризация является следствием неоднородного строения кристаллов полевых шпатов, представляющих продукты распада первоначально гомогенных смешанных кристаллов в процессе упорядочения их структуры. Различный характер иризации (лунный, солнечный камень и др.) у одних и тех же минералов объясняется особенностями состава, морфологией, размерами и распределением в теле кристалла продуктов такого распада.

Таблица 21

## Иризирующие полевые шпаты

Минерал и его разновидность	Сингония и вид симметрии	Ювелирно-поделочные разности	Тип месторождения
Подгруппа калиевого полевого шпата $K[AlSi_3O_8]$			
Санидин	Моноклинная, моноклиннопризматический	Лунный камень	В кислых субвулканических интрузивах
Ортоглаз	То же	Лунный и солнечный камень	В кислых гнейсах лептитов и пегматитах
Натронортоклаз (мургисонит)	То же	Лунный камень	В селенитовых пегматитах
Адуляр	Триклинная, псевдо-моноклинная	Лунный камень	В альпийских жилах
Микроклин	Триклинная, пинакоидальный	Лунный и солнечный камень	В пегматитах
Подгруппа плагиоклазов $Ca-Na[AlSi_3O_8]$			
Альбит (антипертит)	Триклинная, пинакоидальный	Лунный и солнечный камень	В кальцит-альбитовых пегматоидных жилах
Олигоклаз	То же	То же	В пегматитах
Андезин	То же	Солнечный камень	То же
Лабрадор	То же	Собственно иризирующий лабрадор и солнечный камень	В лабрадоритах

У солнечного камня луч света испытывает отражение, преломление и дифракцию от пластинок гематита, образовавшихся вследствие распада ферриполевошпатовой молекулы. Гематитовые пластинки имеют гексагональную, треугольную, прямоугольную, ромбовидную и неправильную формы (иногда с зазубренными, неровными краями) размерами от субмикроскопических до 3,5 мм. в длину при толщине 50...500 мкм.

Ферриортоклаз, сохранивший метастабильное состояние без выпадения гематитовых пластинок, встречен на пегматитовом месторождении Итронгэй (о. Мадагаскар) в виде золотисто-желтых прозрачных кристаллов совместно с цирконом и диопсидом. Он является драгоценным камнем.

Отражающими свет минералами могут быть пластинки ильменита (особенно у лабрадоров) или самородной меди. Известен прозрачный авантюриновый лабрадор из Калифорнии с включениями меди.

Жемчужно-белая иризация вызывается более обильными и более широкими вростками альбита. Лучшие лунные камни представлены ортоклаз-криптоперитом (Шри-Ланка, Бирма). Натровый ортоклаз-криптоперит Северной Норвегии (о. Сейланн) обнаруживают как типичную иризацию лунного камня, так и иризацию в лимонно-желтых и красно-оранжевых тонах.

К олигоклазам относятся беломориты Северной Карелии, некоторые перистериты месторождений Канады в пегматитовых жилах Онтарио и Квебека.

Иризация лунного камня устойчива. Она сохраняется вплоть до температуры плавления полевых шпатов и может вновь восстанавливаться после медленного охлаждения. Лабрадор при нагревании белеет. Если при этом он становится матовым, то иризация тускнеет и исчезает, а если стеклянный блеск сохраняется, то иризация наблюдается в лабрадоре даже после нагревания до 1300 °С.

Физические и оптические свойства иризирующих полевых шпатов такие же, как и обычных. Они обычно слабо просвечиваются и гораздо реже бывают прозрачны. В частности, беломорит может просвечивать в пластинках толщиной до 5 мм.

Химический состав иризирующих полевых шпатов обычен. Иногда они содержат окись натрия в количестве от долей процента до 12 %, при этом в некоторых случаях можно говорить об иризирующих полевых шпатах как об антипертитах (ортоклаз Вишневогорского месторождения). В иризирующих полевых шпатах содержатся обильные включения: в лунном камне апатит и турмалин, а в лабрадоре – пластинки ильменита. Нередко в них наблюдаются щелевидные или трубкообразные пустоты параллельные основным граням. Полевые шпаты легко выветриваются с образованием каолиновых глин.

Лунный камень имеет сходство с голубоватыми опалесцирующими опалами. Отличаются они по твердости (у опалов она ниже) и наличию спайности (у опалов ее нет). Кроме того, опал под микроскопом выглядит аморфным. Лунный камень может быть имитирован опалесцирующим стеклом. У стекла более высокая плотность, но ниже твердость, двупреломление слабое или вовсе отсутствует, в то время как у лунного камня оно выражено отчетливо. В характере отсвета также имеются отличия: у стекла это мутноватый блик, а у лунного камня шелковистый отлив. Другой способ имитации лунного камня заключается, в использовании бесцветной синтетической шпинели на голубоватой тонкой металлической, лаковой или эмалевой подложке или подложке из тонких игл рутила. Солнечный камень может быть имитирован авантюриновым стеклом.

На Урале давно известен солнечный камень, но минералогами описан только в 1926 году в Вишневых горах, затем в 1949 году в Ильменских горах у озера Большое Миассово (с мясокрасным микроклином) и у озера Иткуль.

«Раньше этот камень назывался восточным авантюрином и употреблялся сравнительно редко. В первой половине 19 века камень величиной с горошину ценился около 15...25 рублей, и особенно ценились камни с Цейлона», – пишет академик А.Е.Ферсман. В те времена солнечный камень доставлялся с реки Селенга и о. Седловатого на Белом море.

Сейчас лучшие солнечные камни встречаются в Ильменских у озера Теренкуль и Потанинских горах. На Потанинском, вермикулитовом карьере солнечный камень встречается с момента эксплуатации карьера в 1969 году.

Иризирующие полевые шпаты в зависимости от степени прозрачности и интенсивности иризации подразделяются на ювелирные (ограночные) и ювелирно-поделочные. К первым относятся наиболее прозрачные разности голубого или серебристого лунного камня с сильным блеском и прозрачные солнечные камни с яркими оранжевыми блестками. Лунный камень (адуляр) отнесен к ювелирным (драгоценным) камням III порядка, а лабрадор, беломорит и другие непрозрачные иризирующие полевые шпаты - к ювелирно-поделочным камням II порядка.

Наиболее прозрачные лунные камни с интенсивной иризацией используются для производства бус, подвесок, запонок. Учитывается, что наибольший эффект иризации достигается на выпукло-шарообразной поверхности и, причем, тем лучше, чем больше кривизна этой поверхности. Очень эффектны шарики, изготовленные из двух полусфер, склеенных по базальной плоскости.

Иногда лунный камень используется для изготовления гемм. В некоторых изделиях удастся получить игру света, напоминающую кошачий глаз (зелено-полосчатую иризацию) или свечение в виде четырехлучевой звезды.

Солнечный камень используется для вставок в броши, кулоны, браслеты, булавки. Из крупных кусков солнечного камня изготавливаются вазы, кубки, различные фигурки и т.п. В дешевых ювелирных изделиях природные камни заменяются имитирующим их стеклом или другим материалом.

Технические требования к ювелирному лунному камню, равно как и солнечному, в нашей стране пока не разработаны. За рубежом минимальные размеры прозрачных участков лунного камня принимаются равными 1,8×2,5 см.

Иризирующий лабрадор, используется для изготовления различных вставок в ювелирные изделия. По ГОСТ 4194-74 минимальные размеры иризирующих глазков этого камня должны составлять из расчета 1,5 см. Сравнительно редко и только в исключительно красивых кусках для производства брошей, застёжек, печаток, колец используется и поделочный лабрадорит. В главной массе, как известно, лабрадорит является ценным декоративно-облицовочным и облицовочным камнем.

Требования к поделочным беломориту и лабрадориту регламентируются ОСТ 41-117-76. В первом приближении указанные минимальные размеры бездефектных областей можно принимать и для солнечного камня.

Стоимость иризирующих полевых шпатов зависит от качества камня и его массы. Известны следующие цены на иризирующие полевые шпаты в сырье (в американских долларах за 1 г.).

1. Лунный камень с синим блеском массой 1...10 г. Бирма – 1,0...8,0; то же с серебристым блеском – 0,75...5,0.

2. Лунный камень (санидин) массой 5...8 г, США, (Нью-Мексико) – 0,15...0,5.

3. Солнечный камень, (Индия) – 0,10...0,15; Норвегия – 0,07.

4. Лабрадор, Финляндия, Канада, Мадагаскар – 0,02...1,5.

Известны следующие цены на ограненные камни (в американских долларах за 1 карат).

1. Лунный камень голубой, массой 1...3 карат, Бирма – 6...12.

2. То же массой 4...9 карат – 10...20.

3. То же массой 10 и более карат – 15...40.

4. Лунный камень (санидин) Орегон, Нью-Мексико, Техас, (США) – 0,85...3,00.

5. Лабрадор, (Мадагаскар) – 1,00...2,00.

Лунные камни из Шри-Ланки с серебристым блеском стоят дешевле голубых – 3...10. Крупные кабошоны из серебристо-белого лунного камня стоят от 0,75 до 200 долларов [1, 2, 4].

#### 1.2.14. Малахит

Малахит относится к группе ювелирно-поделочных камней. Название камень получил от греческого слова «молохе» («мальва», растение) – очевидно за сходство окраски малахита с цветом зелени. Прежде собственно малахитом считали плотные разности этого минерала, представляющие интерес как ювелирный, поделочный и коллекционный материал. Землистые разности, часто содержащие примеси других минералов, называли «медной зеленью».

Химическая формула малахита  $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$  или  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}[\text{OH}]_2$ . Химический состав (вес.%):  $\text{CuO}$  – 71,95 ( $\text{Cu}$  – 57,40),  $\text{CO}_2$  – 19,90,  $\text{H}_2\text{O}$  – 8,15. В очень небольших количествах присутствуют  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Zn}$ . Если малахит замещается силикатами, фосфатами или сульфатами меди, то в нем отмечаются примеси  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{SiO}_2$ .

Малахит самый распространенный минерал в зонах окисления медносulfидных месторождений. Встречается он в виде плотных натечных образований, землистых выделений и псевдоморфоз по ассоциирующим с ним минералам. Кристаллы малахита крайне редки, они имеют облик коротко- и длиннопризматический, игольчатый и волокнистый. Наиболее часто они представлены двойниками. Спайность совершенная по пинакоиду.

Малахит оптически отрицательный минерал. Показатели преломления:  $N_g=1,909$ ,  $N_m=1,875$ ,  $N_p=1,655$ ,  $2V=-43$ . Плеохроизм от бесцветного по  $N_p$  до темно-зеленого по  $N_g$ .

Твердость малахита 3,5–4, он хрупкий. Плотность 3,9...4,1 г/см<sup>3</sup>. Излом малахита неровный, скорлуповатый. Блеск стеклянный до алмазного, на изломе шелковистый, в полировке бархатный, черта бледно-зеленая. Малахит имеет зеленый цвет различных оттенков. Окраска обусловлена присутствием иона меди, интенсивность окраски зависит от строения, величины и сочетания минеральных индивидов, от строения агрегатов малахита.

В соляной кислоте малахит растворяется с шипением, выделяя углекислый газ. Смоченный в ней малахит окрашивает пламя в голубой цвет. Перед паяльной трубкой в восстановительном пламени он плавится и дает королек меди. При нагревании малахита до 150...200 °С одновременно выделяются вода и углекислый газ. При температуре около 250 °С малахит из зеленого становится черным.

В качестве ювелирно-поделочного и коллекционного материала используют плотные агрегаты малахита, а также его псевдоморфозы по различным медьсодержащим минералам. По внутреннему строению уральские умельцы выделяли две разновидности малахита – бирюзовый и плисовый.

Бирюзовый малахит является более ценным и характеризуется параллельно-волокнистым и концентрически-зональным строением. Размер индивидов малахита не превышает сотых долей миллиметров и их можно различить лишь под микроскопом. Цвет этой разновидности малахита светло-зеленый (до белого), голубовато-зеленый, бирюзовый и изумрудно-зеленый. Более темные зоны сложены относительно крупными (десятые доли миллиметра) зернами, а светлые зоны имеют криптокристаллическое строение. Декоративный облик бирюзового малахита определяется чередованием различно окрашенных в яркие зеленые тона «лент», которые образуют то плавные изгибы, то резкие угловатые изломы и создают чудесный неповторимый рисунок. По конфигурации и крупности деталей рисунка выделяют мелкоузорчатый и ленточный бирюзовый малахит. Сочетание в одном образце мелкоузорчатого и ленточного малахита повышает эстетическое восприятие и ценность камня. В природе не существует другого зеленого минерала, который сочетал бы в себе оригинальность рисунка и сочность контрастно сменяющейся окраски различных тонов.

Плисовый малахит имеет радиально-лучистое строение. Отдельные индивиды, слагающие радиально-лучистый агрегат, имеют размеры до десятых долей миллиметра, что и обуславливает темные тона зеленой окраски минерала. В изломе камень имеет шелковистый блеск, что и послужило основанием для названия «плисовый». В связи с тем, что эта разновидность камня имеет темную окраску и низкое качество принимаемой полировки, плисовый малахит обладает декоративными качествами, значительно уступающими бирюзовому малахиту.

В природных условиях наиболее распространен бирюзовый малахит. Встречается он в виде различных по форме натечных образований: сталактитов, почко и гроздевидных агрегатов, сталактитово-сталагмитовых корок и т.д. Плисовый малахит имеет ограниченное распространение и форма его

выделения отлична от бирюзового. В коренном залегании он выполняет трещины, слагая жилы, реже пустоты, образуя почковидные агрегаты. Особой формой выделения являются псевдоморфозы малахита по различным минералам. Среди них, вероятно, наибольшую ценность могут представить септарии азурита, частично или полностью замещенные малахитом.

На месторождениях меди совместно с малахитом встречаются азурит и элит, высоко-декоративные разности которых используются в камнерезных поделках и ювелирных изделиях.

Азурит (медная синь) весьма близок к малахиту по химическому составу и структуре. Его формула  $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2 \cdot (\text{OH})_2$  с содержанием (вес.%): CuO – 69,24;  $\text{CO}_2$  – 25,53 и  $\text{H}_2\text{O}$  – 5,24. Встречается в виде кристаллов короткопризматического или таблитчатого облика в сплошных зернистых и землистых массах. Цвет азурита темно-синий, в землистых массах-голубой. Твердость 3,5–4, плотность 3,7...3,8 г/см<sup>3</sup>.

Элит (фосфат меди) по внешнему виду сходен с малахитом. Химическая формула его  $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Встречается в почковидных агрегатах с концентрически-зональным строением. Цвет темно-зеленый или черновато-зеленый. Твердость 4–4,5, плотность 3,8...4,27.

Малахит является одним из наиболее популярных ювелирно-поделочных камней. Яркая зеленая окраска, красивый рисунок в сочетании с легкостью обработки и способности воспринимать полировку весьма высокого качества обусловили широкое применение малахита в ювелирных изделиях и камнерезных поделках, а также в предметах декоративного и прикладного искусства. История использования малахита восходит к древним векам. Известно, что в древнем Египте из малахита с Синайского полуострова резчики изготавливали прекрасные камеи, амулеты и другие украшения.

В те же времена малахит служил не только для камнерезных изделий, но его использовали и как декоративно-облицовочный материал. А.Е.Ферсман писал о малахите: «Его роль как орнаментного и поделочного камня известна еще с древности, когда самые дорогие строения украшались малахитом; так колонны храма Дианы в Эфесе...были облицованы этим камнем».

В России открытие поделочного малахита относится к сороковым годам 18 столетия. В первое время он использовался для изготовления некрупных камнерезных изделий прикладного и декоративного назначения, таких, как табакерки, пуговицы, запонки, подсвечники, столешницы, вазы, броши и др. В конце 18 и начале 19 вв. из малахита, наряду с мелкими изделиями, стали изготавливать крупные художественные изделия, слава о которых достигла мировой известности. В эти годы начато использование мелких кусочков малахита в мозаике, получившей название «русской мозаики». Наряду с поделками и ювелирными изделиями малахит в период значительного объема его добычи применялся как высокодекоративный облицовочный материал. В результате появились малахитовые комнаты и залы (Зимний дворец, Шереметьевский и др.), а в Исаакиевском соборе малахитом были облицованы колонны.

В послереволюционный период применение малахита ограничивалось небольшими масштабами добычи и практически сводилось к использованию в ювелирных и галантерейных изделиях. В последние годы в связи с модой на



зеленые камни интерес к ювелирным изделиям с малахитом значительно возрос.

Технические требования к качеству малахита регламентированы ОСТ 41-117-76. Основными параметрами являются декоративные свойства и масса камня. Минимальный размер камня 30 мм в поперечнике. Максимальные размеры куска камня не ограничиваются. Выход бездефектного камня должен составлять от 50 до 100 %. К дефектам относятся каверны, трещины, включения азурита, магнетита, окислов марганца и соединений кабальта, а также ожелезнение.

Наряду с собственно малахитом в качестве поделочного и, отчасти, ювелирно-поделочного материала используются агрегаты малахита, азурита и других медьсодержащих минералов, а также горные породы, пропитанные и пронизанные различными соединениями меди, среди которых преобладает малахит. На месторождении Тимна (Израиль), сложенном медистыми песчаниками, отбираются штуфы, наиболее богатые медной зеленью, синью и чернью.

Эти породы обладают красивым мелкоузорчатым рисунком и под названием «Элатского камня» идут на изготовление вставок в кольца, броши, браслеты и прочие ювелирные и галантерейные изделия, а также на изготовление различных камнерезных поделок-подсвечников, подставок и др.

Следует указать и на возможность использования некондиционного поделочного камня в качестве коллекционного материала. Для этих целей пригоден как яркий рисунчатый малахит, так и кристаллический. Весьма эффектно выглядят образцы кремнистых пород, стенки пустот и трещин которых инкрустированы кристаллами малахита или малахита и азурита.

На мировом рынке стоимость рисунчатого (полосчатого) малахита африканских месторождений составляет:

1) малахит в сырье: куски весом до 2-х фунтов – 4...10 долларов за 1 фунт; куски весом более 2-х фунтов – 12...20 долларов за 1 фунт;

2) малахит обработанный: кабошоны округлые диаметром 4...25 мм. – 0,8...12,0 долларов за 1 штуку; кабошоны овальные от 7×5 до 30×40 мм. – 0,5...10,0 долларов за 1 штуку;

3) галтовочные камни размером 1/2...3/4 дюйма – 24 доллара за 1 фунт.

Стоимость африканского малахита в Италии составляет 35...50 долларов за 1 кг. [4].

## **2. Декоративно-облицовочное сырье**

Камнесамоцветное сырье включает класс декоративно-облицовочных пород и минералов. Из этого сырья распиливанием получают плитки небольшого размера, используемые для отделки внутренних и внешних частей зданий, где требуется наиболее высокая декоративность.

Для изготовления декоративно-облицовочной плитки используются пестрые, рисунчатые или одноцветные красиво окрашенные горные породы как

средней твердости (цветные мраморы, мраморные ониксы и др.), так и твердые (амазонитовые граниты, яшмы и др.).

Для изготовления декоративно-облицовочной плитки могут быть использованы мелкие блоки, получаемые в качестве отходов на карьерах, добывающих крупные блоки облицовочного камня. Небольшой размер плиток позволяет использовать для их изготовления собственно поделочные камни необходимой блочности. Среди декоративно-облицовочных камней выделяются два подкласса: 1) камни, используемые в качестве облицовочных (гранит, мрамор, яшма, лабрадорит и др.); 2) камни используемые в качестве поделочных, но по своим физико-механическим свойствам пригодные и для отделки главным образом интерьеров зданий.

В качестве природных облицовочных материалов применяются различные монолитные горные породы-изверженные, осадочные и метаморфические. Пригодность и ценность природного камня как облицовочного определяется, в основном, тремя показателями-декоративностью, физико-механическими свойствами и размерами блоков, которые могут быть получены на месторождении. Декоративные свойства сырья определяются цветом и рисунком, зависящими от окраски минералов и основной массы породы, его текстурно-структурных особенностей. Показателем высокой декоративности являются яркий, чистый и красивый рисунок. Для некоторых видов камня (мрамор и др.) большое значение имеет просвечиваемость.

Оценка декоративности производится по данным института ВНИПИИстромсырье. Декоративность камня оценивается в два этапа. На первом этапе производится предварительная оценка признаков декоративности, а на втором этапе она уточняется введением корректирующих коэффициентов на отрицательные признаки.

По методике лаборатории камня института ВНИПИИстромсырье для оценки декоративности отбираются образцы прямоугольных плит размером  $400 \times 250 \times 10 - 20$  мм. полированной или лощеной фактуры обработки. Для определения декоративности изготавливаются минимально 6 образцов. Для получения глянца высшего класса образцы полируют оксидом алюминия или олова.

Одним из главных параметров, характеризующих декоративность, является цвет камня. Цвета разделяются на хроматические, отнесенные к первой категории цветности, и ахроматические, отнесенные ко второй категории.

Среди хроматических цветов выделяются основные – желтый, синий и красный и составные, образующиеся в результате смешения двух или трех основных, – оранжевый, зеленый, голубой и фиолетовый и другие промежуточные.

Ахроматические цвета – черный, черно-серый, темно-серый, светло-серый, бело-серый и белый.

Цвет облицовочного камня обусловлен химическим составом горной породы и содержанием в ней примесей. Соединения кальцита и доломита дают белый цвет, углистые и другие органические соединения дают серые тона, соли

марганца и окислы железа – розовые тона, хлоритовые и серпентинитовые частицы пород обуславливают зеленые цвета, окислы алюминия – голубые и синие тона, закисное железо дает серые, черные и бурые тона. Некоторые минералы меняют цвет в зависимости от освещенности. Например, минерал лабрадорит при некоторых углах поворота приобретает красивую радужную, синюю, серую или зеленую окраску. В некоторых разновидностях серпентинита в аналогичных условиях хорошо просматриваются золотистые включения бастита. Это свойство минералов называется иризацией.

Цвет изверженных пород определяется кварцем, полевыми шпатами, и темноцветными компонентами. Кварц часто бесцветен, но может быть черным, лилово-розовым, голубым. Полевые шпаты имеют красную, розовую, желтую или серую окраску в зависимости от фазового состояния оксидов железа. Роговая обманка, эпидот придают гранитам темно-зеленые и черные оттенки.

Хроматические цвета отличаются насыщенностью. Под насыщенностью понимается степень разбавления спектрального цвета белым. По насыщенности камни делятся на 4 категории (табл. 22).

Таблица 22

Категории насыщенности цвета

Категории насыщенности	Степень насыщенности	Насыщенность цвета Рн	Облицовочные камни
1	Интенсивно насыщенные	0,8...1,0	Красные мраморы и мраморизованные известняки сализтские и шрошинские, зеленые мраморы кульдурские
2	Средне насыщенные	0,4...0,8	Красно-серый гранит каарлахтинский, фиолетово-серый мрамор агверанский
3	Слабо насыщенные	0,1...0,4	Зеленовато-серый туф бердянский, бледно-голубой мрамор слюдянский, бледно-розовый мрамор кибиккордонский, гранит майкульский
4	Ненасыщенные	0,1	Камни ахроматических цветов с едва уловимым «холодным» или «теплым» тоном (мрамор прохоро-баландинский, известняк бодракский).

Ахроматические цвета характеризуются светлотой. Светлота – это степень интенсивности отражения света поверхностью камня. Она измеряется

блескомером БФ-2 в процентах от светлости эталона. Шкала светлости камня приведена в табл. 23, а классификация декоративности камня в зависимости от нее в табл. 24.

Таблица 23

Шкала светлоты камня

Ступени светлоты	Цвет ступеней	Светлота камня Вс, %	Облицовочные камни в зеркальной фактуре полировки
1	Черный	3,5...5,7	Мраморизованные известняки агурский, улья-нарошенский, хорвирабский, габброслипчицкий, ропручейский, лабрадорит голивинский, каменнобродский, горбулевский
2	Черно-серый	5,7...9,0	Лабрадорит турчинский, исаковский, федоровский, мраморизованный известняк садахлинский
3	Темно-серый	9,0...14,0	Граниты кудашевский, жежелевский, старо-бабановский, танский
4	Средне-серый	14,0...22,0	Граниты янцевский, коростышевский, мрамор уфалейский, козиевский
5	Светло-серый	22,0...35,0	Граниты крошнянский, мрамор лопотский, газганский
6	Бело-серый	35,0...56,0	Гранит севасайский, мрамор слюдянский
7	Белый	56,0...89,0	Мраморы коелгинский, прохоробаландинский, известняк бодракский

Таблица 24

Классификация декоративности камня ахроматического ряда в зависимости от светлоты

Категория	Ступени светлости	Светлота камня Вс, %	Цвет ступеней	Примечание
I	1	3,5...5,7	Черный	Декоративность подчеркивает белый рисунок на черном фоне и черный на белом
	6	35,0...56,0	Бело-серый	
		56,0...89,0	Белый	
II	5	22,0...35,0	Светло-серый	Декоративность подчеркивает наличие рисунка
III	4	14,0...22,0	Средне-серый	—
	3	9,0...14,0	Темно-серый	—
	2	5,7...9,0	Черно-серый	—

Цветовое предпочтение характеризует степень редкости и оригинальности расцветок данного образца по сравнению с другими разновидностями природных камней. По этому признаку камни подразделяются на три категории: I – уникальные, редко встречающиеся в природе; II – сравнительно редко встречающиеся; III – рядовые (табл. 25).

Классификация камня по цветовому предпочтению

Камни	Категория цветового предпочтения	Доминирующий цвет
Лабрадориты, габбро	I	Предельно черный с большим количеством иризирующих включений (свыше 10% общей поверхности)
	II	Черно-серый, черный и серый с радужными включениями (до 10% общей поверхности)
	III	Черный, черно-серый и серый без иризирующих радужных включений
Граниты и аналогичные изверженные породы	I	Нежно-голубой, зеленовато-голубой, бирюзовый, оранжево-желтый и красный
	II	Насыщенно-красный, голубовато-серый, бело-серый
	III	Светло-серый, средне-серый, темно-серый, розовато-серый
Мраморы, известняки травертины	I	Голубой, синий, зеленый, прозрачный с различными оттенками
	II	Насыщенно-красный, желтый, черный
	III	Белый, серый
Туфы	I	Голубой, зеленый, голубовато-зеленый
	II	Желтый, рисунчатый, кирпично-красный, фиолетово-розовый, черный
	III	Розовый, коричневый с включениями неправильной формы

Однородность цвета характеризует степень равномерности расцветки у одноцветных камней или основного цвета у многоцветных. По этому признаку облицовочные камни разделяются на однородные и неоднородные.

Сочетание цветов характеризует степень соответствия окраски камня цветовым контрастам и цветовой гармонии. По сочетанию цветов камни делятся на три категории:

- 1) полихромные с благоприятным сочетанием цветов;
- 2) монохромные с гармоничным отклонением от доминирующего тона;
- 3) полихромные с неблагоприятным сочетанием цветов.

На декоративность горной породы существенно влияет внутреннее строение горных пород, которое характеризуется их структурой и текстурой.

Структура-эта совокупность признаков строения породы, обусловленных размерами, формой и взаимоотношениями ее составных частей. Текстура породы определяет распределение ее составных частей в пространстве.

Текстура камня характеризуется степенью развития рисунка. Классификация камня по декоративности рисунка приведена в табл. 26.

Таблица 26

Классификация камня по декоративности рисунка

Камни	Категория рисунка	Характеристика породы
Граниты и аналогичные изверженные породы	I	Слоистый облачный сгармонично расположенными прожилками, позволяющими создавать в облицовке общий рисунок на смежных плитах
	II	Без рисунка
	III	С рисунком в виде секущих прожилок, лишенных гармонического сочетания с фоном
Мраморы, известняки, доломиты, туфы, песчаники, кварциты, травертины	I	Пейзажный, древовидный, брекчиевидный, составленный из нескольких цветов
	II	Полосчатый с прожилками, трещинами типа черепных швов, заполненных цементирующим веществом сильно пористые известняки с закономерными расположенными порами
	III	Неправильный в виде включений, контрастирующий с общим фоном

Структура горной породы дополняет рисунок поверхности камня, повышая его декоративность. По этому признаку горные породы делятся на две категории (табл. 27): I – с декоративными структурами; II – с недекоративными структурами.

Таблица 27

Классификация камня по категориям структур

Камни	Категория структуры	Характеристика структуры
Граниты цветные и бело-серые, лабрадориты черные и серые, габбро-нориты, анортозиты	I	Крупно- и гигантозернистые
	II	Средне- и мелкозернистые
Кварциты, граниты серые, сиениты, диориты, гранодиориты, песчаники, мраморы, известняки и т.п.	I	Средне- и крупнозернистые
	II	Мелкозернистые

Декоративность плиты в значительной степени зависит от степени полируемости горной породы. По полируемости горные породы делятся на 4 категории. Полируемость пород определяется блескомером НИИКС-М. За эталон полируемости принят мрамор Коелгинского месторождения, имеющий наибольший блеск и легко воспринимающий полировку. Классификация горных пород по полируемости приведена в табл. 28.

Таблица 28

## Классификация пород по полируемости

Степень полируемости	Степень полируемости (предельный блеск по блескомеру НИИКС-М)	Порода
I	170	Мрамор: коелгинский, молитский, газганский маймехский, ороктайский, гранит токовский; лабрадорит головинский и турчинский; габбро ропручейское
II	140...170	Гранит: каарлахтинский, янцевский, карнинский, жежелевский, кудашевский, емельяновский, коростышевский, каменногорский, габбро слипчицкое; мраморизованный известняк хорвирапский
III	70...140	Травертин шахтахтинский; конгломераткуйбышевский; гранит памбакский; сланец низогерский
IV	70	Базальт паракарский; доломиты мустнавские; доломитизированный известняк березовский

Сводный перечень признаков с указанием количества баллов для предварительной оценки декоративности камня приведен в табл. 29.

Таблица 29

## Предварительная оценка декоративности камня

Основной параметр декоративности	Положительные признаки декоративности	Категория признака	Характеристика признака	Оценка в баллах	Примечание
Цвет	Цветность	I	Хроматические	5	—
		II	Ахроматические	2	
	Насыщенность	I	Интенсивно-насыщенный ( $P_H=0,8...1,0$ )	6	Данный признак используется только для хроматического ряда расцветок в соответствии с табл. 22
		II	Средне-насыщенный ( $P_H=0,4...0,8$ )	4	
		III	Слабо-насыщенный ( $P_H=0,1...0,4$ )	3	
		IV	Ненасыщенный	1	

Основной параметр декоративности	Положительные признаки декоративности	Категория признака	Характеристика признака	Оценка в баллах	Примечание
Цвет	Светлота	I	Черные, бело-серые, белые	4	Данный признак используется только для ахроматических цветов в соответствии с табл. 23, 24
		II	Светло-серые, средне-серые	2	
		III	Темно-серые, Черно-серые	1	
	Цветовое предпочтение	I	Уникальные, исключительно редко встречающиеся в природе	6	Следует пользоваться табл. 25
		II	Сравнительно редко встречающиеся	4	
		III	Рядовые	2	
	Однородность	I	Однородный тон	2(4)	В скобках дана оценка для структурных разновидностей камня
		II	Неоднородный тон	4(2)	
	Сочетание цветов	I	Полихромные с благоприятным сочетанием цветов в пределах нюансных гармоний при наличии рисунка допускается цветовой контраст	5	Данный признак используется для хроматических цветов
		II	Монохромные с гармоническими отклонениями от доминирующего тона	3	
		III	Полихромные с неблагоприятным сочетанием цветов, несоздающих общего рисунка	1	



Основной параметр декоративности	Положительные признаки декоративности	Категория признака	Характеристика признака	Оценка в баллах	Примечание
Граниты и другие изверженные породы					
Текстура	Рисунок	I	Слоистый, облачный с гармонично расположенными прожилками, позволяющими создать в облицовке общий рисунок на смежных плитах	6	Следует пользоваться табл. 26
		II	Без рисунка	3	—
		III	С рисунком в виде секущих прожилок, лишенных гармонического сочетания с фоном	2	—
Мраморы, мраморизованные известняки					
Текстура		I	Пейзажный, древовидный, брекчиевидный составленный из нескольких цветов	6	—
		II	Полосчатый с прожилками и трещинами типа черепных швов, заполненных цементирующим веществом, сильно пористый известняк с закономерно расположенными порами.	2	

Основной параметр декоративности	Положительные признаки декоративности	Категория признака	Характеристика признака	Оценка в баллах	Примечание
Структура		I	Крупно- и гигантозернистые граниты лабродориты, габбронориты, анортозиты, мелкозернистые серые граниты, сиениты, диориты, гранодиориты, кварциты, песчаники, мраморы, мраморные известняки	4	См. табл. 27
		II	Средне- и мелкозернистые цветные граниты, лабродориты и габбро, средне- и крупнозернистые серые граниты, сиениты, диориты, кварциты, песчаники, мраморы и известняки	3	
	Полируемость	I	170 единиц блескомера	5	См. табл. 28
		II	130...160	3	
		III	70...130	2	
		IV	70	1	

Предварительная оценка декоративности определяется суммированием баллов по всем положительным признакам, учитываемым для данного вида породы.

Окончательная оценка декоративности образцов пород определяется согласно корректирующим коэффициентам, учитывающих отрицательные

признаки по цвету, текстуре и фактуре (табл. 30). Итоговая оценка декоративности получается путем определения среднеарифметического по шести образцам.

Таблица 30

Корректирующие коэффициенты декоративности

Параметры декоративности	Вид природного камня	Отрицательные признаки	Корректирующий коэффициент
Цвет	Граниты красные	Желтые оттенки, бурые и темные пятна, подтеки	0,8...0,9
		Локальные скопления темноцветных минералов	0,9
	Граниты серые	Желтые и бурые оттенки, неравномерность расцветки	0,7...0,9
	Лабрадориты	Бурые пятна и подтеки желтоватые, осветленные участки, малая иризация, отсутствие иризации	0,7
	Габбро	Серые оттенки, неравномерность расцветки	0,7...0,8
	Мрамор белый	Неравномерность расцветки, холодный тон, наличие прожилок	0,7...0,8
	Мрамор белый облицовочный	Неравномерность расцветки	0,8...0,9
	Мрамор серый	Желтые и бурые оттенки, прямолинейный характер рисунка	0,6...0,7
	Мрамор черный	Желтоватые и белесоватые участки	0,7...0,8
	Мрамор цветной	Слабая насыщенность основного тона	0,8...0,9
	Известняки, доломиты	Неравномерность окраски, наличие пор, располагаемых незакономерно, наличие включений, серые и бурые оттенки	0,7...0,8
Текстура	Граниты	Рисунок в виде резких крупных пятен, хорошо заметных с большого расстояния (8...10 м.), рисунок в виде резких прямолинейных полос	0,8...0,9
	Лабрадориты	Неравномерно-зернистая структура, мелко-зернистая структура	0,9
	Габбро	Неравномерная структура	0,9
	Мрамор белый	Рисунок в виде мелких пятен, крупно-зернистая структура	0,8

Окончание табл.30

Параметры декоративности	Вид природного камня	Отрицательные признаки	Корректирующий коэффициент
Текстура	Мрамор цветной, серый, черный	Мелкомасштабный рисунок, крупнозернистая структура	0,8...0,9
	Известняки, доломиты	Рисунок в виде мелких и крупных пятен, крупнозернистая структура	0,7...0,8
Фактура	Граниты, лабрадориты, габбро	«Шагреновая» поверхность после полировки, невысокая полируемость	0,8...0,9
	Мраморы	Наличие неполирующихся участков	0,8

На основе оценки в баллах определяется класс декоративности горной породы (табл. 31).

Таблица 31

## Классы декоративности горных пород

Класс декоративности	I	II	III	IV
Характеристика декоративности	Высокодекоративные	Декоративные	Малодекоративные	Недекоративные
Оценка по баллам	32	23...32	15...23	15

Сочетание таких ценных качеств, как декоративность, разнообразие цвета и рисунка, наряду с прочностью и способностью противостоять воздействию проветривания, обуславливают возможности широкого применения облицовочных камней в различных областях архитектуры, строительства, а также в скульптуре.

На декоративно-облицовочную плитку, изготавливаемую из природного камнесамоцветного сырья имеется отраслевой стандарт ОСТ 41-77-73, в котором цветные камни, идущие на изготовление плитки, в зависимости от декоративности и твердости подразделяются на четыре группы (табл. 32).

Таблица 32

## Виды декоративно-облицовочных камней

Группы	Наименование камнесамоцветного сырья
I	Родонит, яшма, роговик, дерево окаменелое
II	Гранит амазонитовый, порфирит, кварцит, брекчия, лабрадорит, хибинит эвдиалитовый
III	Офиокальцит, лиственит, талькохлорит, змеевик, агальмотолит
IV	Доломит цветной, мрамор цветной

ОСТ 41-77-73 рекомендует, что качество плиток должно соответствовать требованиям отраслевого стандарта на камни-самоцветы поделочные в сырье (ОСТ 41-117-76). В нем приводятся такие качественные показатели камней, которые достаточны для оценки их как поделочных – твердость, плотность, блеск, структура, декоративность и дефекты.

ОСТ 41-77-73 устанавливает минимальный размер плиток по длине (ширине) в 50 мм, с размером увеличения, кратным 10 мм, а по толщине 5 мм, с размером увеличения, кратным 5 мм. Максимальные размеры плитки по длине (ширине) не ограничиваются и определяются естественной блочностью и технологическими особенностями распиловки по каждому виду камня. В настоящее время минимальная толщина облицовочных плит установлена равной 5...8 мм.

Декоративно-облицовочную плитку поставляют акантованной, с любой многоугольной формой контура куска камня. Плитки, в зависимости от фактуры лицевой поверхности, изготавливают следующих видов: полированные, шлифованные и пиленые.

Так как декоративно-облицовочные плитки по областям применения не отличаются от обычных облицовочных плит, горные породы, из которых они изготавливаются, должны отвечать требованиям не только ОСТ 41-77-73 и ОСТ 41-117-76, но в части физико-механических свойств и требованиям ГОСТ 9479-84 «Блоки из природного камня для распиливания на облицовочные изделия». Определение физико-механических свойств камней производится по следующим стандартам:

- предел прочности на сжатие – по ГОСТ 8462-62;
- водопоглощение и морозостойкость – по ГОСТ 7025-67;
- истирание – по ГОСТ 13087-67.

## Мрамор

Мрамор (гр. *marmairos*-блестящий камень) состоит из минерала кальцита, имеет полнокристаллическую структуру, возникает при метаморфизме карбонатных пород: известняков, доломитов и др. Окраска разнообразная и зависит от примесей. Высоко ценится белый мрамор. Нередко мрамор по внешнему виду очень напоминает кварцит. От последнего отличается по твердости (царапается ножом) и реакции с холодной разбавленной соляной кислотой (вскипает). Иногда за мрамор принимают похожую породу серпентинит. Истинный мрамор на светлом изломе напоминает сахар. Благодаря примесям этот камень становится пестрым, пятнистым, муаровым, свилеватым и с жилками. Слой чистого белоснежного мрамора толщиной до 30 см просвечивает насквозь.

Твердость мрамора 3 по шкале Мооса, плотность 2,65...2,9 г/см<sup>3</sup>, прочность на сжатие 50...250 МПа, истираемость 0,4...3,3 г/см<sup>2</sup>, водопоглощение 0,15...0,5%.

Залежи мрамора найдены в разных местах России. Более всего, свыше 20 месторождений, находится на Урале, но добывают камень из 8 залежей.

Белый мрамор получают на Коелгинском и Айдырлинском месторождениях, серый дают Уфалейская и Мраморская залежи, желтый поступает с Октябрьского и Починского карьеров, черный мрамор приносит Першинское месторождение, розово-красный камень дает Нижне-Тагильская залежь.

На Алтае и в Западной Сибири известно свыше 50 месторождений мрамора, разрабатывают же здесь три залежи. Пуштулимское месторождение дает уникальный тонкозернистый белый с красно-зелеными прожилками мрамор. Сиренево-розовый камень получают на Граматушинском месторождении. Серокремевый мрамор дает Петеневский карьер. В Красноярском крае расположено крупное Кабик-Корданское месторождение, где более двадцати разновидностей белого, нежно-кремового, бледно-розового, оранжевого, желтого и зеленовато - серого мрамора. Месторождение Буровщина в Иркутской области дает красновато розовый крупнозернистый камень с сиреневым, оранжевым, зеленым, серым оттенками. Этим мрамором отделаны Московские метростанции «Марксистская», «Третьяковская» и другие. На Дальнем Востоке в последнее время разведали и подготовили к добыче месторождение зеленого мрамора с разными оттенками.

Много залежей мрамора выявлено и освоено в Средней Азии. Самое мощное из них-Газганское в Узбекистане, где добывают розовый, кремовый, оранжевый, желтый, серый и черный облицовочный камень, который идентичен известным португальским, испанским и норвежским сортам.

Богата залежами мрамора Грузия. Здесь в Молити, Салиэти, в Старой и Новой Шроше добывают красный камень, не уступающий французскому и испанскому.

В России первым стали использовать карельский мрамор. Красивый и долговечный камень Тивдии в Карелии нежно-полевого цвета с розовыми прожилками, а также мрамор Ювенского месторождения в Приладожье украсили многие дворцы и соборы в Санкт-Петербурге. Здесь около двухсот лет назад итальянский архитектор Антонио Ринальди возвел здание, которое было сплошь облицовано 32-мя сортами мрамора, доставленного из разных концов России, а также из Финляндии, Греции, Италии. Это здание стало знаменитым и получило название » Мраморный дворец».

В 1762 году Екатерина II поручила Антонио Ринальди, которого стали называть «мастером мраморных фасадов», строительство собора, связанного с Петром Великим. Храм назвали по имени святого Исаакия Долматского. Его день – 30 мая по старому стилю совпал с датой рождения Петра I. После смерти Екатерины император Павел приказал достроить Исаакиевский собор кирпичем. Александр I поручил архитектору О.Монферрану достроить собор с облицовкой. Стены были толщиной от 2,5 до 5 м с облицовкой красивым синевато-серым и серо-зеленым рускеальским мрамором из Карелии, хотя он оказался не стойким. Собор внутри украшен желтым итальянским мрамором из Сиены, зеленым из Генуи и красным с темными прожилками мрамором

«гриотто» из Южной Франции. Фриз исполнили из шокшинского порфира, добытого на берегах Онежского озера. Этим же камнем выложили пол между иконостасом и балюстрадой. На полу собора поверх кирпичного настила выложили огромный мраморный ковер из плит серого и зеленого цвета, добытых под Выборгом. Этот мрамор к нынешнему дню выдержал почти безболезненно 100 миллионов посетителей.

Залежи мрамора разбросаны по всему миру. В древности славился греческий мрамор из каменоломен Пантеликона к северо-востоку от Афин. Из этого камня возведены все классические древнегреческие архитектурные сооружения. Особую красоту такому мрамору придали золотисто-желтые следы выветривания. Ныне греческие залежи полностью исчерпаны.

Сейчас больше всего известен белый мрамор, который добывают близ города Каррара в Таскане на севере Италии. Камень залегает по всему склону Апуанских Альп вплоть до самого гребня хребта. Из здешних каменоломен мрамор брали еще в Древнем Риме. Потом о нем надолго забыли и вновь вспомнили в позднее средневековье и в эпоху Возрождения. Залежи здешнего чисто-белого камня кажутся неисчерпаемыми. Здесь в основном добывают молочно-белый мрамор, иногда с легким голубоватым оттенком. Встречается и чисто-белый камень, который ценят скульпторы. Великий Микеланджело искал для своих произведений особый светлый камень в разработках у Монте-Альтиссимо-самой высокой вершины хребта.

Италия и в других местах добывает белый камень, а также темно - зеленый, бело-желтый, коричнево-красный мрамор. В Австрии, возле города Зальцбург, получают «альпингрюн» – «альпийскую зелень» – мрамор темно-зеленого со светло-зелеными и серовато-белыми прожилками. Австрия еще известна своим «интербергским» мрамором желтоватого или розового цвета. Его часто используют для наружной и внутренней отделки зданий, а также для скульптур.

«Наполеон» – такое имя у желтовато-серого и коричневого мрамора с пятнами и жилками, который добывают во Франции.

В Германии разные сорта мрамора дают Бавария, а также земли Гессен и Рейнланд-Пфальц.

Бельгийское месторождение Сирпмонт содержит серый и черный мрамор с мелкими белыми пятнами-остатками морских лилий. Этот камень называют «бельгийским гранитом». В Швейцарии распространен «доломитовый мрамор» с мелкозернистым строением. В Марокко, Алжире, Тунисе, Афганистане, Пакистане добывают полосчатый камень нежных желтоватых и зеленоватых тонов под названием «мраморный оникс».

В 19 в. для строительства храма Христа Спасителя применяли протопоповский мрамор (село Протопопово Коломенского уезда). При воссоздании Храма львиная доля светлых мраморных плит шла с Южного Урала из поселка Коелга, что в 80 километрах от Челябинска. Теплый, мягкий протопоповский камень, что и говорить, красив, но многим своим данным сильно отстает от уральского. У коелгинского мрамора водопоглощение в 11,5 раз меньше при примерно равной массе пористость в 9,3, а предел прочности

почти в 4 раза выше. Американская ассоциация тестирования материалов, исследовав уральский камень, сделала заключение: Показатели коелгинского мрамора по абсорбции, плотности, абразивной устойчивости, прочности и другим показателям выше или на уровне таких известных мраморов, как «бианко», «каррара», «вай Джорджия», «бермент Верди» и других. Итальянские предприниматели не раз покупали уральский камень и продавали в другие страны как свою «каррару» или «бианко».

Мрамор в Коелге добывают с 1926 года. К сегодняшнему дню здесь в карьере площадью 500 квадратных метров на глубине 50 м берут примерно 50 тысяч кубометров в год при общих запасах почти 16 миллионов кубометров.

Все крупные заметные здания Москвы последней поры: Кремлевский Дворец съездов, здание правительства России, известное как «Белый дом», Министерства обороны на Арбатской площади, Министерства внутренних дел на Октябрьской площади, комплекс на Поклонной горе облицованы этим камнем. Белый уральский мрамор украсил подземный зал станций метро «Пушкинская», «Сокольники», «Чистые пруды», «Кропоткинская», «Александровский сад» и другие. Используют Коелгинский мрамор и за рубежом, в частности в Женеве, для облицовки здания Всемирной организации здравоохранения.

Заказ для храма Христа Спасителя был крупным – 8 тысяч квадратных метров плит толщиной 70 и 160 мм, но посильным для Коелги: в год карьер дает 200 тысяч квадратных метров, так как здесь используют современную технику Режского ТОО «экспериментальный завод» (Свердловская область): алмазно-канатную машину «Надежда», баровой агрегат «Виктория», буровые установки «Камея» и «Гемма». Вырезаются двухметровые квадратные блоки этими машинами и затем нарезаются плиты алмазными кругами [2].

В качестве декоративно-облицовочного сырья применяют, кроме того, следующие материалы.

Гранит (ит. *granito*, лат. *granut*-зерно) – магматическая горная порода, состоящая из калиевого полевого шпата (ортоклаз, микроклин), кислого илагиоклаза (альбит, олигоклаз), кварца, слюды (мусковит, биотит). Структура полнокристаллическая, нередко порфировидная, гнейсо-полосчатая.

На северо-западе России, в Карелии, Ленинградской области и на Кольском полуострове красные и розовые граниты дают месторождения Винга, Уккомьяки и Шальское. Желто-розовый камень дает Муставаар. Наиболее известно Шокшинское месторождение. Его камень использовали при сооружении саркофага Наполеона в Париже, памятника Николаю 1 в Санкт-Петербурге, могилы неизвестного солдата в Москве. Завоевал признание архитекторов и строителей серо-розовый и красный гранит Кузреченского месторождения в Мурманской области. Здешний камень покупают Западная Европа и Япония. В Ленинградской области, на Елизовском месторождении добывают серо-коричневый гранит, напоминающий знаменитый американский гранит «*dacota mahogany*».



Украина располагает залежами высокоценных гранитов. Наиболее известен красный камень Капустинского месторождения, который на европейском рынке называют «Rosso Santiago».

В районе Кривого рога есть залежи гранита черного цвета-чернокита, который аналогичен известному черному бразильскому граниту. Есть гранит на Урале.

Из гранита делаютobelisks, колонны, облицовочные плиты.

Туф вулканический (ит.tufo) – плотная горная порода, образовавшаяся в результате цементации вулканического пепла, шлака, стекла, пемзы, лапиллей и др. Есть туфы из кристаллов и их обломков. В составе липарит, дацит, андезит, базальт. Фиолетово-розовый цвет у арктического, а желтый и оранжевый у анийского туфа (Армения). Хороший туф есть в Италии (близ Рима и Неаполя), в Исландии. Туф обладает высокими декоративными качествами и применяется как заполнитель легкого бетона и облицовочный материал.

Известковый туф (травертин) – ячеистая горная порода, образовавшаяся в результате осаждения карбоната кальция из горячих или холодных источников. Есть отпечатки растений, раковин наземных, либо пресноводных гастропод. Отличается малой плотностью (1,4...1,8 г/см<sup>3</sup>). Залегает у Пятигорска, Еревана, в Подолии и у Пудожя. Применяется как декоративный камень.

Известняк – осадочная горная порода, состоящая из кальцита CaCO<sub>3</sub> с примесями: доломита, кварца, глины, окислов и гидроокислов железа и марганца, пирита, марказита, фосфата, чипса, органических веществ. При 25...50% глины называют мергелен. Цвет белый, светло-серый, с органикой черный, темно-серый, с окислами железа желтый, коричневый, красный. Применяется для кладки, как облицовочный и декоративный камень.

Лабрадорит (по названию полуострова Лабрадор) – магматическая горная порода из семейства габбро. Состоит из плагиоклаза-лабрадора и 5...7% примесей. Лабрадор-минерал, изоморфная смесь натриевого полевого шпата-альбита и известкового полевого шпата-анортита (плотность 2,68...2,72 г/см<sup>3</sup>). Лабрадорит имеет крупно-зернистую структуру, цвет темно-серый, черный. Обладает иризацией в сине-зеленых тонах. Имеется на Украине, Канаде, США. Применяется для облицовки зданий и памятников.

Лиственит – метасоматическая горная порода, состоящая из карбонатов (часто из анкерита), кварца, мусковита, фуксита (хромовой слюды) с примесями: талька, хлорита, актинолита, альбита, турмалина, рутила, сфена и др. Происходит от лиственизации серпентинитов. Цвет ярко-зеленый (от фуксита) или серый при мусковите. Впервые его открыл на Урале и описал геолог Г. Розе (1842).

Змеевик (серпентинит) – метаморфическая горная порода, состоящая из минерала серпентина, магнитного и хромистого железняков и останков, первичных минералов оливина и пироксенов. Цвет зеленый с пятнами различных цветов (сходство с кожей змеи, отсюда и название). Применяется как удобрение и огнеупор, а змеевик благородный – для поделок.

Кварцит – регионально-метаморфическая горная порода, состоящая из кварца и примесей. По примесям различаются слюдистые, гранатовые, роговообманковые кварциты. К кварцитам относятся и некоторые кремнистые породы, состоящие из кварца и опала (цемент).

Железистые кварциты, образовавшиеся из железистых песчаников, состоят из кварца, гематита и магнетита. В кварцитах до 95...99%  $\text{SiO}_2$ . Обладает высокой огнеупорностью (1710...1770 °С) и прочностью ( $\sigma_{\text{сж}}$  = 100...455 МПа). Применяется как декоративный камень и абразивный материал. Имеется на Урале и в Карелии. Из розово-красного шокшинского кварцита построен Мавзолей Ленина и ряд станций метро.

Сиенит (от Syene – Сиена, греческого названия древнеегипетского г. Сун, ныне Асуан) – полнокристаллическая изверженная горная порода, состоящая из калиевого полевого шпата и илагиоклаза. Содержит 55...65%  $\text{SiO}_2$ . При содержании щелочи менее 12% и уменьшении  $\text{SiO}_2$  в породе образуются нефелины (нефелиновый сиенит). Имеется на Южной Украине, Урале, Кавказе, в Казахстане и Средней Азии. Применяется как гранит.

Доломит (по имени французского геолога Д.Доломье) имеет две разновидности.

1. Минерал из группы карбонатов  $\text{Ca,Mg}[\text{CO}_3]_2$ . Цвет серовато-белый, иногда с желтоватыми, буроватыми и зеленоватыми оттенками. Твердость 3,5–4, плотность 2,8...2,9 г/см<sup>3</sup>.

2. Осадочная горная порода, на 90% состоящая из доломита. Примеси: кальцит, ангидрит, гипс. При 50...90% доломита – известковый доломит, а при меньшем содержании доломитизированный известняк.

Доломита много везде. Применяется как огнеупор, шихта для изготовления стекла, тугоплавкой глазури, как облицовочный и бутовый и камень, щебень.

Диорит (фр.diorite-разграничиваю, различаю) – магматическая горная порода, состоящая из плагиоклаза (андезина или олигоклаза), роговой обманки, реже авгита и биотита, иногда кварца. Содержит 55...65%  $\text{SiO}_2$ . Имеются разновидности: кварцевый, бекварцевый, роговообманковый, авгитовый, биотитовый. Цвет серый до зеленовато-серого. Имеет богатые цветовые оттенки и хорошо поддается полировке. Применяется для облицовки зданий, изготовления ваз, столешниц, постаментов, как строительный и дорожный камень. В Древнем Египте и Месопотамии-популярный скульптурный материал. Из диорита изготовлена статуя фараона Хефрена из заупокойного храма при пирамиде Хефрена в Гизе (28 в. до н.э.).

Базальт (лат. basaltus – пробный камень, эфиоп.basal – железосодержащий камень) – магматическая горная порода, состоящая из плагиоклаза (лабрадора), есть пироксен, оливин, магнетит, титанит, апатит. Близок по составу к габбро (габбро-глубинный аналог). Почти полностью кристаллический-долерит. Наблюдается излитым на многие километры (траппы). Базальт прочен и хорошо шлифуется. Залегают на Камчатке, Гавайях, Кавказе, Украине (Ровно), в Исландии и Новой Зеландии. Из базальта изготавливались скульптуры в Древнем

Египте, Ассирии, Риме, Византии, современной Армении. Плавленный базальт применяют для каменного литья.

Габбро (ит.gabbro) – магматическая горная порода, состоящая из плагиоклаза (лабрадорита, битовита) и цветных минералов: пироксена, реже оливина, амфибола. В химическом составе 45...50%  $\text{SiO}_2$  и 20% окислов железа и магния. При 85...90% плагиоклаза – плагиоклазит. Разновидности: нориты, троктолиты, оливи-новое габбро. Цвет черный, темно-зеленый, иногда пятнистый. Залегают на Урале, Украине, Кольском полуострове, в Закавказье, ЮАР, Франции, Шотландии. Имеет высокую прочность. Применяется как строительный и облицовочный и дорожный камень для щебня. Полированными плитами облицованы колонны библиотеки им. В.И.Ленина в Москве.

Роговик – плотная, тонкозернистая горная порода, возникающая от интрузии на вмещающие горные породы. Его различают по составу вмещающих горных пород. Глинистые породы превращаются в роговик, содержащий кордиерит, андалузит, силлиманит, гранат, биотит, полевые шпаты. Базальты, туфы, граувакки превращаются в роговик с пироксенами, основными плагиоклазами, роговой обманкой. Мергели превращаются в роговик с воллостанитом, оливином, шпинелью и карбонатами. По мере увеличения карбонатов превращается в мрамор.

К роговикам относят кремнистые породы (кремни, яшмы, менилиты) с примесью глины и гидроокислов железа.

Применяется как поделочный камень.

Роговая обманка – порообразующий минерал из группы амфиболов (обыкновенная). Состав:  $\text{Ca}_2\text{Na}[\text{Mg},\text{Fe}][\text{Al},\text{Fe}][(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{11}][\text{OH},\text{F}]$ . Наблюдаются удлиненные призматические и неправильные зерна, волокнистые агрегаты зеленого, черного и бурого цветов. Твердость 5,5 – 6, плотность 3,1...3,3 г/см<sup>3</sup>.

Кроме того, к ней относят подгруппу кальциевых глиноземистых амфиболов, включающую роговую обманку обыкновенную, эденит, чермакит, пагасит, гастингсит.

Офиокальцит – мелкозернистая метаморфическая горная порода из кальцита и хризотила с пятнами, прожилками, гнездами благородного серпентина (офита). Вмещающая горная порода – доломит. Цвет желтый, зеленоватый, голубой с многочисленными жилками и узорами. В полированном виде очень красив и употребляется подобно цветному мрамору для внутренней отделки зданий и поделок. Имеется на Кавказе, Дальнем Востоке, в Италии, Китае, США, Мексике.

### 3. Коллекционные образцы

Коллекционный материал представляет собой образцы минералов, горных пород и руд, а также окаменелые остатки фауны и флоры, представляющие научный и эстетический интерес. К нему относятся отдельные кристаллы

минералов и их сростки, друзы минералов и минералы, в горных породах, обладающие декоративными свойствами. Их качество определяется совершенством кристаллографических форм, степенью сохранности кристаллов, окраской, прозрачностью, красотой и оригинальностью сочетания минералов в кристаллических агрегатах.

За единицу измерения коллекционного материала приняты для отдельных кристаллов и штуфов – миллиметры, для кристаллических агрегатов – квадратные дециметры (площадь основания).

Изучение коллекционного камня начинается с паспорта, в котором дается краткая характеристика месторождения или проявления, а также информация о минеральном составе, исходном весе, месте и способе отбора пробы. Эти данные позволяют предварительно оценить степень редкости нахождения данного минерального вида, условия его локализации и возможную практическую значимость.

Каждая проба проходит стадию лабораторного обогащения для придания ей товарного вида. Оно заключается в очистке материала от пыли, грязи, удалении хрупких налетов и корочек излишков вмещающих пород, ухудшающих декоративный облик материала. После этого пробы взвешиваются и группируются по минеральным видам.

Основная стадия изучения пробы – качественная оценка материала и определение его сортности на основании отраслевого стандарта ОСТ 41-143-79 «Минералы и горные породы для коллекций». Основными критериями качественной оценки проб являются декоративность материала, размеры и степень дефектности.

Декоративность оценивается исходя из интенсивности и распределения окраски минералов, прозрачности, совершенства и степени сохранности кристаллографических форм.

Обычно различают образцы с интенсивной окраской, окраской средней и слабой интенсивности. По распределению окраска может быть равномерной, зональной, пятнистой или струйчатой, наиболее декоративными считаются минералы с яркими интенсивными окрасками, просвечивающие на ребрах. Декоративность усиливается при наличии различных оптических эффектов (побежалость, оппалесценция, иризация и др.). Если образцы имеют полиминеральный состав, то следует учитывать не только окраску отдельных минералов, но и сочетание цветов, преобладающих в минеральном агрегате.

Важным показателем декоративности коллекционного материала является форма выделения минералов (отдельные кристаллы, друзы, «щетки», конкреции, жеоды, лучистые, звездчатые агрегаты и т.д.) и степень их сохранности.

Помимо механических дефектов следует учитывать и природные дефекты, снижающие декоративность. К этим дефектам относятся неопределенных тонов окраска минералов, помутнение, нечетко выраженное кристаллографическое огранение, трещиноватость, «рубашки», присыпки и т.д. Допустимое

количество природных и механических дефектов определяется в процентах по отношению к площади или объему образца и не должно превышать 40...50%.

К коллекционным образцам относятся и так называемые «окаменелости» минерализованные остатки животных и растений. Основным требованием к этому виду коллекционного материала является высокая степень их сохранности, которая позволила бы ясно видеть естественные формы ископаемого и детали его поверхности [4].

К коллекционным относятся образцы и собрание образцов личных коллекций, учебных наборов и музеев. Коллекционирование зародилось давно, когда еще не было научной основы геологии и научных названий минералов и горных пород. Вот некоторые народные названия: «припас» – пегматит, «тошак» – пегматит с пустотами, «занорыш» – жеода с глинистыми продуктами разрушения, «проводники» – тонкие жилы кварца, слюды и аплита, «синяк» – змеевик, «дикарь» – гранито-гнейс, «цыган», «смоляк» – дымчатый горный хрусталь, «уголь» – шерл (черный турмалин), «мыляк» – полевошпат, «куст» – большая друза, «струганец» – кристалл и др.

Коллекционированию способствуют развитие горнодобывающей промышленности, предшествующая ему полноценная геологоразведка, научные открытия, например, в области квазикристаллов, подъем патриотизма и любви к родному краю.

Урал – богатая минеральная кладовая. Недаром выдающиеся геологи, путешественники и первопроходцы России в первую очередь проходили Урал и собирали коллекции минералов и горных пород.

На развитие горного дела и минерологии оказали большое влияние Свердловский горный институт им. В.В. Вахрушева (ныне Уральский геологический университет) со своим геологическим музеем, Ильменский государственный заповедник и Институт минерологии. Источником минералов и горных пород в нашем регионе являются Кыштымское месторождение кварца, Карабашский медный рудник, Тайгинский графитовый карьер, Потанинское месторождение вермикулита, Ильменские и Вишневые горы, многочисленные открытые и неоткрытые кладовые Уральских гор.

## Библиографический список

1. Ананьев, В.П. Основы геологии, минерологии и петрографии /В.П. Ананьев, А.Д. Потапов. – М.:Высшая школа, 1999. – 304 с.
2. Бондарев, В.П. Основы минерологии и кристаллографии с элементами петрографии /В.П. Бондарев/. – М.: Высшая школа, 1986. – 287с.
3. Колисниченко, С.В. Удивительные минералы Южного Урала /С.В. Колисниченко/. – Челябинск: Изд-во Аркаим; Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 296с.
4. Поленов, Ю.А. Художественная обработка камнесамоцветного сырья /Ю.А. Поленов, В.Н. Огородников. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1996. – 156 с.
5. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии /А.Г. Бетехин. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. – 539 с.
6. Кузин, М.Ф. Полевой определитель минералов /М.Ф. Кузин, А.И. Егоров. – М.: Недра, 1983. – 260 с.

## Оглавление

Введение .....	3
1. Камнесамоцветное сырье России для изделий декоративно-прикладного искусства .....	4
1.1. Ограночное сырье.....	6
1.1.1. Рубин и сапфир .....	6
1.1.2. Шпинель .....	12
1.1.3. Берилл и топаз .....	13
1.1.4. Изумруд .....	16
1.1.5. Турмалин .....	19
1.1.6. Хризолит .....	23
1.1.7. Гранаты .....	26
1.1.8. Горный хрусталь .....	34
1.1.9. Аметист .....	39
1.1.10 Клиногумит.....	42
1.2. Ювелирно-поделочное камнесамоцветное сырье.....	43
1.2.1. Жадеит .....	45
1.2.2. Хризопраз .....	48
1.2.3. Агат .....	50
1.2.4. Благородный опал .....	54
1.2.5. Окаменелое дерево .....	58
1.2.6. Яшмовые породы,роговики .....	62
1.2.7. Бирюза .....	67
1.2.8. Гематит (кровавик) .....	72
1.2.9. Нефрит .....	76
1.2.10. Родонит (орлец) .....	80
1.2.11. Амазонит и амазонитовые породы.....	82
1.2.12. Лазурит .....	85
1.2.13. Иризирующие полевые шпаты .....	87
1.2.14. Малахит .....	92
2. Декоративно-облицовочное сырье .....	95
3. Коллекционные образцы .....	113
Библиографический список.....	115