

Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова
Музей землеведения

Цикл научно-популярных лекций
Выпуск 9

Н.А. Громалова

Драгоценные камни
– короли
удивительного мира
минералов



Москва
2020

Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова
Музей землеведения

Н.А. Громалова

**ДРАГОЦЕННЫЕ КАМНИ –
КОРОЛИ УДИВИТЕЛЬНОГО МИРА МИНЕРАЛОВ**

Учебное пособие к циклу научно-образовательных лекций по
программе Музея землеведения МГУ «Музейный абонемент»



Москва 2020

УДК 549.091(075.8)
ББК 26.31я73
Г86

*Издание подготовлено в Музее землеведения МГУ
в рамках выполнения исследований в соответствии с государственным заданием
по теме № АААА-А16-116042710030-7
«Музееведение и образование музейными средствами в области наук о Земле»*

Издание одобрено и рекомендовано к печати решением
Ученого совета Музея землеведения МГУ от 17 июня 2020 года

Рецензент:

Н.Н. Еремин – профессор, доктор химических наук, член-корр. РАН

Громалова, Наталья Александровна.

Г86 Драгоценные камни – короли удивительного мира минералов : Учебное пособие для слушателей лекционного курса по учебно-образовательной программе Музея землеведения МГУ / Н.А. Громалова. – Москва : Издательство МГУ; МАКС Пресс, 2020. – 32 с. ил.

ISBN 978-5-317-06478-5:

В пособии рассказывается о самых дорогих самоцветах – алмазе, изумруде, сапфире, рубине и александрите. Рассматриваются вопросы истории открытия этих драгоценных камней, образования их в природе, способы синтеза, а также методы облагораживания. Читатель узнает, в чем заключается уникальность этих минералов, какими свойствами они обладают и почему имеют высокую стоимость. Охарактеризованы знаменитые представители каждого из драгоценных камней. В кратком виде освещены научные ответы на часто задаваемые вопросы аудитории: «в чем причина александритового эффекта», «за счет чего достигается различная окраска сапфира и рубина», что такое «черный бриллиант», и «какой изумруд ценится выше остальных». Объясняются общие понятия геммологии и рассмотрены различные классификации драгоценных камней.

Пособие предназначено для геологов, но также оно будет интересно широкой аудитории, не имеющей специальной подготовки.

Ключевые слова: алмаз, сапфир, рубин, изумруд, александрит, диагностика природных и синтетических камней, цветная катодолуминесценция александрита, имитация природных камней, облагороженные камни, технологии синтеза, исторические камни

УДК 549.091(075.8)
ББК 26.31я73

ISBN 978-5-317-06478-5

© Громалова Н.А., 2020
© Музей землеведения МГУ, 2020
© Оформление. ООО «МАКС Пресс», 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения	.....	7
Алмаз	.....	12
Рубин и сапфир	.....	16
Изумруд	.....	22
Александрит	.....	26
Литература	.....	31

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



Драгоценные камни ценились во все времена. И сегодня они остаются самым желанным украшением для женщин, символом власти и достатка для мужчин. Изучением драгоценных камней занимается наука — геммология. Зародившись на рубеже 19-20 веков, геммология исследует свойства драгоценных камней, их декоративные и художе-

ственные достоинства, процессы обработки и огранки. Предметом геммологии являются как природные самоцветы, так и искусственные аналоги.

Драгоценные, ювелирные и поделочные камни – это природные минералы и/или горные породы, образовавшиеся без вмешательства человека, используемые в ювелирном деле и при создании предметов искусства. При этом также используются и синтетические материалы, и органические вещества. Термин «драгоценный» имеет два значения – юридическое и повседневное. Согласно закону РФ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» к драгоценным камням относятся: природные алмазы, изумруды, рубины, сапфиры и александриты, а также природный жемчуг в сыром (естественном) и обработанном виде. Но в повседневной жизни драгоценными камнями называют все дорогостоящие камни. В среде профессионалов к категории драгоценных камней относят только те природные камни, которые удовлетворяют трём основным критериям: красоте, редкости и долговечности.

Красота камня определяется его цветом, блеском, игрой, а также другими эстетическими параметрами, определяющимися оптическими свойствами минерала. Именно красота определяет желание человека стать обладателем камня или украшения с ним.

Редкость (или уникальность) определяется распространённостью данного минерала в природе. Различные разновидности драгоценных камней могут стоить дорого из-за того, что их очень сложно найти и добыть в природе. Долговечность камня зависит от его прочности. На прочность (износостойкость) влияет твёрдость, хрупкость, спайность и другие свойства камня. Большое значение в оценке имеет и еще один рыночный фактор – мода. Следствием указанных выше критериев является высокая стоимость всех видов драгоценных камней. Таким образом,



Алмазы, сапфир, рубины, изумруд из коллекции основного фонда МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова.

высокая («дорогая») цена любого камня в первую очередь связана с его высокими качественными характеристиками и редкостью конкретного камня в данный момент времени.

Всё многообразие минералов, используемых в ювелирном и камнерезном деле, также может обозначаться русским словом «самоцветы», которое ввёл в обиход академик А.Е. Ферсман. За рубежом все природные вставки, используемые в ювелирных изделиях, называют словом "gemstones". Их часто делят на два основных типа: бриллианты и цветные камни (все камни, кроме бриллиантов). В российской литературе ещё встречается термин "благородные камни", объединяющий драгоценные и декоративные (поделочные) камни.

В настоящее время существует несколько широко применяемых классификаций драгоценных камней, разработанных минералогами и экспертами-геммологами в разное время (табл.1). В основе большинства этих классификаций лежат принципы распределения камней по их стоимости и назначению. Обычно классификации представляют собой рейтинг популярных драгоценных камней в виде таблиц, в которых список названий драгоценных и «полудрагоценных» камней идёт по убыванию их стоимости (реальной ценности). Разновидности драгоценных и «полудрагоценных» камней в виде списков при этом делятся на различные группы, подгруппы, классы и порядки.

Таблица 1.

Популярные классификации драгоценных камней

Год	Автор классификации
1860	К. Клюге
1896	М. Бауэр - А.Е. Ферсман
1902	Г. Гюрих
1972	В.И. Соболевский
1973	Е.Я. Киевленко
1970-1980	ВНИИювелирпром - промышленная классификация естественных ювелирных и поделочных камней
2010	Е.П. Мельников

В настоящее время наибольшую популярность среди специалистов приобрела классификация драгоценных, ювелирно-поделочных и поделочных камней Е.Я. Киевленко (табл.2), которую он предложил в 1973 году. В этой классификации учтена рыночная стоимость камней и их назначение. Е.Я. Киевленко выделил три основных группы камней: ювелирные (драгоценные), ювелирно-поделочные и поделочные камни.

В последние годы геммологи вносят в классификацию Е.Я. Киевленко различные поправки. Например, александрит теперь часто относят к драгоценным камням первого порядка первой группы, учитывая его нынешнюю популярность, высокую стоимость и редкость.

В 2010 году д.г.-м.н., профессор Е.П. Мельников предложил новый вариант классификации самоцветов, в основе которой лежит стоимостный рейтинг камней и их функциональность (табл.3). По сравнению с классификацией Е.Я. Киевленко эта классификация значительно дополнена.

Таблица 2.

Группы самоцветов по классификации Е.Я. Киевленко

I. Ювелирные (Драгоценные) камни	
1 порядок:	Алмаз, рубин, изумруд, синий сапфир
2 порядок:	Александрит, благородный жадеит, оранжевый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал
3 порядок:	Демантоид, благородная шпинель, благородный белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит, лунный камень (адуляр), красный турмалин
4 порядок:	Синий, зеленый, розовый и полихромный турмалин, благородный сподумен (кунцит, гидденит), циркон, желтый, зеленый, золотистый и розовый берилл, бирюза, хризолит, аметист, хризопраз, пироп, алемандин, цитрин
II. Ювелирно-поделочные камни	
1 порядок:	Раухтопаз, гематит-красный, янтарь-сукцинит, горный хрусталь, жадеит, нефрит, лазурит, малахит, авантюрин
2 порядок:	Агат, цветной халцедон, кахолонг, амазонит; родонит, гелиотроп, розовый кварц, иризирующий обсидиан, обыкновенный опал, Лабрадор, беломорит и др. непрозрачные иризирующие шпаты
III. Поделочные камни	
Яшмы, письменный гранит, окаменелое дерево, мраморный оникс, лиственит, обсидиан, гагат, джеспилит, селенит, флюорит, авантюриновый кварцит, агальматолит, рисунчатый кремний, цветной мрамор.	

Группы самоцветов по классификации Е.П. Мельникова

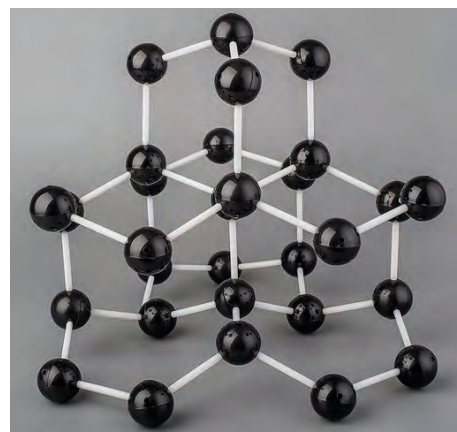
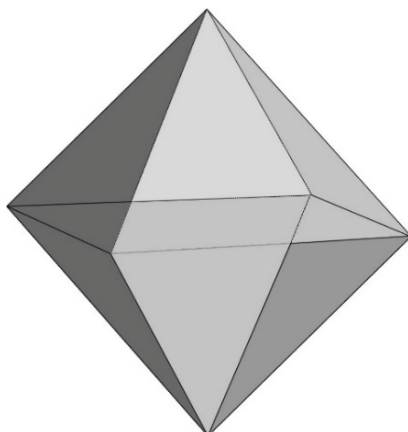
I. Драгоценные камни	
Алмаз, благородный корунд – рубин, сапфир; благородный берилл – изумруд; благородный хризоберилл – александрит; морской натуральный жемчуг	
II. Ювелирные камни	
1 порядок:	благородная шпинель красная, сапфир розовато-оранжевый (падпараджа), сапфир розовый, демантоид, цаворит, благородный чёрный опал, танзанит, турмалин-параиба
2 порядок:	сапфир жёлтый, зелёный, фиолетовый; звёздчатые корунды; шпинель синяя(ганошпинель), розовая, фиолетовая; топаз оранжевый (империал), берилл – аквамарин, воробьевит, биксбит, максис; циркон – гиацинт, зелёный, голубой; турмалин – рубеллит, полихромный; благородный белый и огненный опалы, фенакит, гранат – малайя, родолит, топазолит; аметрин; сподумен – гидденит, кунцит; речной натуральный жемчуг, морской культивированный жемчуг
3 порядок:	турмалин – верделит, индиголит; берилл – гелиодор, гошенит (ростерит); топаз – жёлтый, голубой, розовый; хризолит, лейкосапфир; хризоберилл – цимофан (благородный кошачий глаз); звёздчатый диопсид, топаз бесцветный, гранат – пироп, спессартин, альмандин, гроссуляр (гессонит, лейкогранат, розолит), уваровит; аметист, прازیолит, цитрин, рутиловый кварц
4 порядок:	турмалин – дравит, ахроит; тектиты (молдавиты, австралиты), кварцевый и др. кошачьи глаза, соколиный глаз, тигровый глаз, морион, андрадит, везувиан, аксинит, кордиерит (иолит), клиногумит, корнерупин, эвклаз, амблигонит, бразилианит, скаполит, апатит, хромдиопсид (сибирлит), кианит, андалузит, эпидот, сфалерит – клейофан, пршибрамит, марматит; сфен, касситерит, шеелит, данбурит, пренит, речной культивированный жемчуг, перламутр
III. Ювелирно-поделочные камни	
1 порядок:	чароит, сугилит, малахит, бирюза голубая, зелёная; жадеит, лазурит, нефрит, корунд (рубин) – цоизитовая порода (аниолит), родонит, родохрозит, дюмортьерит, розовый кварц, мамонтовая и слоновая кость, коралл, янтарь, халцедон – агат, хризопраз, сердолик, карнеол, сардер, сапфирин, оникс, гелиотроп; содалит, эвдиалит, хризоколла, азурит
2 порядок:	горный хрусталь, дымчатый кварц, амазонит, декоративные кварцы – турмалиновый, хлоритовый, актинолитовый; авантюрин, гематит, родусит, ставролит, астрофиллит, яшма мелко- и среднезернистая и пейзажная, симбирцит, обыкновенный опал, иризирующий обсидиан, иризирующие полевые шпаты – лабрадорит, спектролит, беломорит; солнечный камень, лунный камень (адуляр), иризирующий нефелин (элеолит), жад, пектолит – ларимар; тугтупит, петалит, кварц – гранулированный, льдистый, фрагментарный
IV. Поделочные камни	
Яшма однотонная, полосчатая; письменный гранит, окаменелое дерево, кахолонг, мраморный оникс-обсидиан, селенит, клинохлор, флюорит, серпентинит, гагат, шунгит, тулит, рисунчатый скарн, декоративные кварциты, офиокальцит, агальматолит, талькохлорит, златолит; рисунчатый кремний; конгломерат, брекчия, декоративные порфиры	

Камни бывают **природными**, т.е. образовавшимися в природе без какого-либо участия человека и подвергшиеся лишь огранке и полировке (например, природный алмаз – минерал, представляющий собой практически чистый углерод, кристаллизующийся в кубической сингонии, с твердостью 10, показателем преломления 2,417 плотностью 3,52 г/см³). Также выделяют **имитации природных камней** – искусственные или природные материалы, имитирующие внешний вид драгоценных, ювелирных и поделочных камней или органических веществ, но отличающиеся по химическому составу, структуре и физическим свойствам. При этом некоторые свойства драгоценного камня и его имитации могут быть похожи: так, алмаз и его имитация муассанит близки по теплопроводности, оба обладают высокими показателями преломления. **Синтетические (искусственные) камни** – искусственное вещество, частично или полностью произведенное человеком (синтетический алмаз – созданная человеком копия природного алмаза, с практически полным совпадением состава и свойств). **Облагороженные камни** – природные камни, свойства которых изменены с помощью различных процессов, отличных от огранки или полировки (например, облагороженными являются алмаз с заполненной трещиной, алмаз с искусственно измененной окраской) (<https://www.gem-center.ru>).

Наиболее востребованными на рынке драгоценных камней являются камни 1 группы (согласно геммологической классификации Е.Я. Киевленко), к которым относятся: алмаз, сапфир, рубин, изумруд и александрит. Ниже представлены основные характеристики этих камней.

АЛМАЗ

Физические свойства, структура. Из всех драгоценных камней алмаз имеет самый простой химический состава – он представляет собой кристаллический углерод (С). Кристаллизуется в кубической сингонии в виде октаэдров. Межатомные расстояния в его кристаллической структуре, в отличие от графита, очень короткие, что объясняет его высокую твердость (10 по шкале Мооса). Очень часто алмазы прозрачны и абсолютно бесцветны, хотя их окраска может проходить почти через все цвета – от слабых оттенков желтого (за счет примеси оксида железа) или голубого до черного. Крайне редко алмаз бывает красным, что связано с присутствием в его структуре атомов бора, водорода или азота. Название минерала происходит от латинского «*adamantem*», т.е. «несокрушимый».



Кристалл алмаза октаэдрического габитуса, вес образца 2,46 карат, респ. Саха, Якутия, Россия (<https://www.mindat.org/gm/1282>), его идеализированный габитус (вычерчен с помощью программы WinShape) и кристаллическая структура.

Месторождения и основные промышленные источники. Алмаз известен на протяжении почти 4000 лет. Он вошел в историю человечества во времена древней Индии, где были добыты все древние известные алмазы. Долгое время этот регион оставался единственным в мире источником алмазов вплоть до начала 18-го века. После долгого пути в Европу через Великий Шелковый путь, он появился сначала в Риме, затем в Венеции. С развитием в ювелирном искусстве технологий полировки (XIV век) начал поставляться в Париж, в Брюгге, а затем в Антверпен, который вскоре стал столицей мировой алмазной промышленности. Начиная с 18-го века, запасы в шахтах Индии начинают истощаться. С конца 19 века до наших дней, новые



Алмазы фантазийной окраски из аллювиальных россыпей (слева), алмаз из кимберлитов (справа), Кимберли (Южная Африка) (<https://www.mindat.org>).

месторождения были открыты в Бразилии (наиболее важные в шт. Минас-Жерайс, Байя, Мату-Гросу), а затем в Южной Африке. В настоящее время, мировое производство разделено между Африканским континентом (обеспечивает 60% мирового добычи) и остальным миром. Самые крупные залежи разрабатываются в Ботсване, Южно-Африканской Республике, Конго, Анголе и Намибии. Крупными производителями являются также Россия, Австралия и Канада. Чтобы произвести карат алмазов нужно переработать несколько тонн породы. Основными промышленными источниками ювелирных разновидностей алмазов являются кимберлитовые, лампроитовые и россыпные месторождения. Добыча алмазов из остальных типов месторождений в большинстве случаев является нерентабельной.

Знаменитые представители. «Куллинан» – самый крупный из найденных алмазов. Обнаружен в 1905 г. на руднике «Премьер» в районе Претории в Трансваале (Южная Африка). Алмаз получил свое имя в честь Томаса Куллинана, президента компании «Премьер даймонд майн». Масса «Куллинана» составляла 3106 карат (621,2 г).

В 1907 г. камень был приобретен правительством Трансвааля и подарен королю Эдуарду VII. При обработке кристалл был расколот на две части: 2029,94 и 1068,09 карат, из которых огранили два наиболее крупных бриллианта. Первый, получивший от короля Георга V название «Звезда Африки», был укреплен в верхней части державного скипетра, вес камня составил 530,2 карат, он является самым крупным ограненным алмазом в мире.

Алмаз «Регент» («Питт»), массой 410 карат, был найден в 1701 г. в алмазных копях Партиаля, примерно в 240 км. от Голконды (Южная Индия). Губернатор форта Св. Джорджа в Мадрасе Вильям Питт приобрел



Алмаз Куллинан I.

этот алмаз за 20 400 фунтов у персидского купца и отвез его в Лондон, где и продал в 1717 г. за 135000 фунтов герцогу Орлеанскому. На тот момент вес ограненного в совершенный бриллиант камня составлял 140,5 карат. Камень был вправлен в корону Людовика XIV во время его коронации в 1722 г. В XVIII в. бриллиант использовался Наполеоном в качестве залога для обеспечения его походов всем необходимым. В настоящее время «Регент» находится в Лувре во Франции. Его размеры составляют 30×29×19 мм, он отличается необыкновенным блеском и оценивается в 3 млн. долларов США.

Крупнейшим из принадлежавших российским монархам бриллиантов, является знаменитый камень «Орлов» («Амстердам»), с зеленовато-голубым отливом, массой в 200 карат (40 г), который венчает царский скипетр России. Алмаз, ставший основой этого бриллианта, был найден в начале XVII в. в Коллурских копях Голконды (Индия). Вначале он представлял собой обломок весом 300 карат, отделившийся по плоскости спайности от более крупного кристалла. Камень был приобретен Шах-Джеханом, огранка была сделана в виде индийской розы с большим количеством маленьких граней, расположенных ярусами. После этого масса камня уменьшилась до 199,6 карат. В начале XVIII в. бриллиант был украден французским солдатом, после череды событий камень попал на рынок в Амстердам, в 1773 г. князь Григорий Григорьевич Орлов купил его за 400 тыс. рублей для императрицы Екатерины II. «Орлов» был вставлен в резную серебряную оправу и укреплен в верхней части Российского державного скипетра. Алмаз «Орлов» входит в число семи исторических камней, или семи чудес Алмазного фонда России (г. Москва), где и хранится в настоящее время.

Синтез. Технологии получения искусственных алмазов связаны с использованием различных прессов высокого давления, методов детонации и методов наращивания метана в пламени газовой горелки (осаждение из газовой фазы). В прессах непосредственный синтез алмаза осуществляется в условиях сверхвысоких давлений и температур, минимальные значения которых составляют 130 кбар и 3000°С, соответственно. Технологии НРНТ (high pressure high temperature) стремятся воспроизвести в реакторе процесс естественного образования алмазов, помещая атомы углерода в металлический расплав при температурах и давлениях, необходимых для кристаллизации на специальных затравках. Продолжительность процесса составляет несколько часов. При осаждении из углеродсодержащей газовой смеси (CVD – Chemical Vapor Deposition) образование алмаза происходит в виде тонких пленок путем осаждения из плазмы. Этот метод не требует достижения сверхвысоких давлений. Такой способ получил самое широкое распространение и в литературе встречается в последнее время чаще



Кристаллы алмаза октаэдрического габитуса

всего как металл-углеродный метод синтеза алмаза. Он осуществляется при температурах 1200-1600°C и давлениях 5-6 ГПа.

Вместе с тем, имеются и определенные ограничения в использовании кристаллов, полученных этим методом. Прежде всего, они содержат в тех или иных количествах включения металла-растворителя. Металлический растворитель благоприятствует также захвату атомов азота (до 0,3 вес. %) из атмосферы. В зависимости от концентрации азота кристаллы алмаза приобретают желтый, зеленый или коричневый цвет и теряют ряд своих ценных качеств.

Любопытные факты. Стоимость бриллианта можно узнать в таблицах Rapaport, которые постоянно обновляются. При этом нужно учитывать, что здесь приводится закупочная стоимость у тех компаний, которые профессионально занимаются ювелирным бизнесом.

Бриллиант – это ограненный алмаз. Вес измеряется в каратах, 1 карат составляет 0,2 грамма, для круглого бриллианта этот диаметр составит 6,5 мм. Для средней категории бриллиантов (цвет 5-6, чистота 5-7) стоимость 1 карата примерно составит от 8000 до 12000 долларов США.



Алмаз с характерной итриховкой, которая образуется вследствие роста до того, как он достигнет поверхности Земли. Включения хромита всегда указывают на природное происхождение.

Фото Robinson McMurty (GIA).



Алмаз и бриллиант, Южная Африка. Фото Russel Shor (GIA).

Черный бриллиант – сырье, недостаточно хорошего качества, как правило, очень сильно трещиновато и наполнено многочисленными включениями. Все черные бриллианты на ювелирном рынке облагороженные окрашенные. При покупке важно подобрать сырье, в котором не будут видны сколы и внешние выходы внутренних трещин на поверхность.

РУБИН И САПФИР

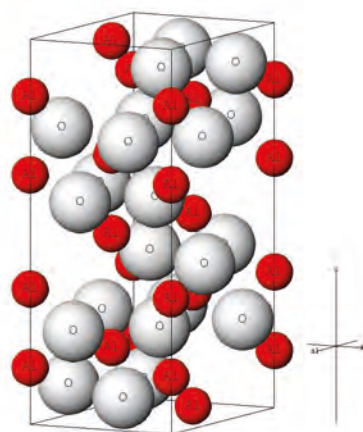
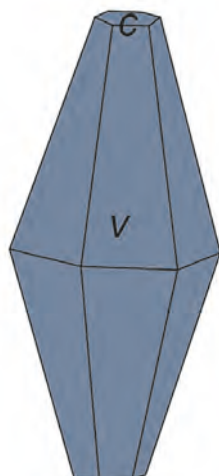
Физические свойства, структура.

Рубин и сапфир – драгоценные разновидности корунда, которые хотя и различаются по внешнему виду, состоят в основном из оксида алюминия Al_2O_3 . Они обладают идентичной кристаллической структурой и свойствами, за исключением присутствия незначительных концентраций элементов-примесей, придающих им характерные цвета.

Минерал обладает высокой твердостью (9 по шкале Мооса), что в сочетании с великолепной окраской обусловило большую популярность рубина и сапфира, которыми украшают кольца и другие ювелирные изделия.

С точки зрения кристаллографии это одна из самых совершенных и плотных структур. Морфология кристаллов природных корундов характеризуется довольно широким разнообразием габитусных форм – от длиннопризматических до пластинчатых. Наиболее часто рубин представлен короткостолбчатыми кристаллами с преобладающим развитием граней гексагональной призмы и пинакоида.

Рубин благодаря своему цвету получил название от латинского слова «rubeus» (красный). В средние века этим термином обозначали все красные камни. Сапфир получил свое название от латинского слова «синий», возможно от греческого "sappheiros" или же от названия острова Сапфирин в Аравийском море.



Кристалл сапфира, (1,6x0,6x0,5 см), Ратнапура, Шри-Ланка (<https://www.mindat.org/gm/3529>), его идеализированный габитус (вычерчен с помощью программы WinShape) и кристаллическая структура (<https://staff.aist.go.jp/nomurak/english/itscgallery-e.htm>)



Рубин с эффектом астеризма, огранка кабошон (<https://www.mindat.org>)

Рубин – прозрачная разновидность корунда, имеет в своем составе характерную примесь – оксид хрома (Cr_2O_3), за счет которой появляется его знаменитая окраска цвета пламени свечи. Содержание Cr_2O_3 составляет в красных рубинах — около 2%, в красно-черных — около 4%. Наиболее высоко ценимый оттенок в ювелирной практике называют «цветом голубиной крови». Сапфиры имеют очень богатую цветовую гамму. Кроме привычного всем синего цвета, встречаются экземпляры оранжевого, розово-оранжевого, желтого, зеленого розового цветов, а также бесцветные. Цвет сапфира зависит от количества примесей железа, титана, хрома, ванадия. Благороднейшим из драгоценных камней считается синий, чистой воды сапфир, который своим цветом обязан примесям титана и железа. Сапфир встречается в

природе чаще, чем рубин, так как железо, дающее окраску сапфиру, более распространено в земной коре, чем хром. Существуют также сапфиры с эффектом «кошачьего глаза» – синие с продольной полосой более темного цвета. Больше всего ценятся прозрачные сапфиры васильково-синего цвета из Кашмира (Индия). Нередки и звездчатые камни. Все добываемые сапфиры отличаются друг от друга расцветкой и включениями, характерными для того или иного месторождения. Так же, как и в случае с рубинами, они не являются дефектом камня. Сапфирам, как и рубинам, также присущ астеризм — эффект шестилучевой звезды, тогда речь идет о «звездчатых сапфирах». Звездчатый сапфир имеет включения рутила, который и образует игру света в виде трех-, шести- или двенадцатилучевой звезды, поэтому их гранят кабошоном. Эффект астеризма возникает в результате сложного взаимодействия трех физических явлений: преломления света на криволинейной поверхности обработанного кристалла, дифракции и отражения от этих микровключений.

Месторождения и основные промышленные источники. Месторождения благородных корундов связаны с различными типами пород и надо отметить, что каждому из промышленно-генетических типов соответствуют свои типоморфные особенности корундов (форма кристаллов, окраска, включения), имеющие и диагностическое значение.

К магматическому типу в щелочных основных лампрофирах относится месторождение Його-Галч (шт. Монтана, США). Мелкие (не более 2 карат) пластинчатые кристаллы сапфира этого месторождения имеют от бледно- до васильково-синей или фиолетовую окраску. Для них характерны включения шпинели светло-коричневого цвета, красного рутила, коричневой слюды, часто окруженные жидкими пленками.

С базальтами связаны месторождения рубина и сапфира Австралии (штаты Квинсленд и Новый Южный Уэльс). Месторождения сапфира имеются в Таиланде и в Кампучии. Сапфиры из Кампучии содержат включения гатчеттолита, торита и полевых шпатов. В сиамских сапфирах наблюдаются плагиоклаз, колумбит, пирротин, халькопирит, жидкие включения; характерны также полисинтетические двойники. Для сиамских рубинов типичны включения апатита и пирротина, часто окруженные дискообразными или овальными плоскими трещинами с тонкими жидкими паутиновидными пленками, трещины с различными текстурами газово-жидких включений, декорированные бурыми пленками гидроксидов железа, «каналы» с жидкими включениями. Пневматолит-гидротермальные месторождения сапфиров и рубинов в Танзании (Умба и др.) связаны с плагиоклазитами и их слюдястыми разновидностями, залегающими в ультраосновных породах. Таблитчатые или бочонковидные камни размером до 4 см образуют зернистые скопления и вкрапленники. Они содержат включения апатита, циркона, граната, пирротина; для рубинов характерны включения рутила, графита, паргасита, шпинели, цоизита и др. На полярном Урале имеется месторождение рубинов Макара Рузь, где они встречаются в слюдяных породах в виде мелких (до 5 мм) кристаллов; попадаются кристаллы до 10 см в поперечнике, но они не прозрачны или полупрозрачны и трещиноваты.

Месторождений, где добывают рубины, меньше.

Почти вся мировая добыча высококачественных рубинов осуществляется в знаменитых коях близ Могока, расположенного в Верхней Бирме (Мьянма). На других месторождениях Бирмы добывают не столь качественные камни более темного цвета. Рубины из Таиланда обычно окрашены в коричневый и фиолетовый тона. Мадагаскар производит камни в небольшом объеме. Их оттенки разнообразны, и степень кристаллизации достаточно высокая. Месторождения Мозамбика уже несколько лет поставляет на рынок очень красивые рубины красного цвета, слегка оранжевые. Шри-Ланка – еще один крупный производитель рубинов. Интенсивная добыча также ведется в Танзании, Кении, Вьетнаме. Наиболее крупные месторождения сапфира сосредоточены в Шри-Ланке, на Мадагаскаре, в Бирме, Таиланде, Камбодже, Австралии и многие других местах. Как уже упоминалось выше, наиболее ценные сапфиры добывают в Кашмире.



*Кристалл сапфира бипирамидального габитуса (10,4 г), Шри-Ланка.
Фото William Larson, Pala International*



Кристалл рубина (5,7x3,7x2,7 см) насыщенного цвета голубиной крови на кальците, Могок, Мьянма.

Образец из коллекции В. Ларсона (<https://www.mindat.org/gm/3473>).

Знаменитые представители. Самый крупный звездчатый сапфир (по сути, голубовато-серый), найденный в 1966 году в Бирме, имел массу 12600 г (63000 карат). В Смитсоновском институте находится звездчатый сапфир очень темного, почти черного цвета, названный «Черная звезда Квинсленда», обнаруженный в Австралии и долгое время использовавшийся владельцем для удержания открытой двери. После того, как выяснили, что это не просто булыжник, его обработали кабошоном и продали. При обработке масса камня уменьшилась с 231 г до 146 г (733 карат). Не менее любопытна история другого звездчатого сапфира массой 112,6 г (563,3 карат), найденного на Шри-Ланке и названного «Звездой Индии». Он находился в музее Нью-Йорка и в 1964 году был украден. Через 3 года камень нашли и вернули в музей.

Самым крупным в мире рубином с двойной 12-ти лучевой звездой (эффект астеризма виден с обеих сторон) является рубин Нииланджали, который весит 1370 карат. Он был открыт миру в конце 1988 года и сразу вошёл в книгу рекордов Гиннеса как самый крупный рубин с двойной звездой. Этот рубин на данный момент находится во владении индийского адвоката Г. Видьяража. Когда рубин перешёл к адвокату по наследству, он был покрыт грязью и сажой, потому что люди думали, что он несёт в себе проклятие. Никто не смел прикоснуться к драгоценному камню, опасаясь осквернения. Камень оставался скрытым в течение многих столетий, пока Видьяраж, наконец, не почистил и не отполировал его, показав его истинную красоту.

Синтез. Выращивать кристаллы корунда трудно потому, что он обладает необычайно высокой температурой плавления – 2030°C. Невозможно найти материал для тиглей, которые не разрушались бы от такого жара. Рубин стал первым синтетическим кристаллом, который начали искусственно выращивать в промышленных масштабах и широко использовать вместо природных камней в технических целях и ювелирном деле. Заслуга в этом принадлежит французскому ученому О. Вернейлю, который создал оригинальную методику и аппаратуру, позволявшую за 2-3 ч выращивать

кристаллы рубина массой 20-30 карат. Это было выдающимся достижением науки и техники не только потому, что дало возможность искусственно производить такой ценный материал в необходимых количествах, но еще и потому, что открыло перспективы синтеза и выращивания кристаллов других драгоценных камней. Существуют и другие способы выращивания корунда, имеющие свои особенности, такие как: метод Чохральского, метод Киропулоса, метод Багдасарова, метод Стокбаргера, метод кристаллизации из газовой фазы, раствор-расплавная кристаллизация.

Наиболее крупные производства синтетических рубинов (сотни миллионов карат в год) сосредоточены в Швейцарии, Франции, Германии, США и Великобритании. В значительно меньших количествах (десятки миллионов карат в год) рубин выращивается в Японии, Индии и Израиле.

Любопытные факты. Нагревание обычно приводит к осветлению корунда. Бледно-фиолетовые и желтые камни в этом случае утрачивают окраску, а густо-фиолетовые приобретают очаровательный розовый цвет. В то же время длительное облучение делает окраску более глубокой и окрашиваться могут даже бесцветные камни. В бесцветных камнях присутствуют два и более окрашивающих агента, их неодинаковая реакция на облучение обуславливает появление окраски.



*Примесь оксида хрома окрашивает рубины в ярко-красный цвет.
Фото Tom Kwolik (GIA).*



*Включения апатита в кристаллах рубина (Бирма, Мьянма) указывают на его природное происхождение.
Фото Aaron Palke (GIA).*

Диффузионный сапфир – облагороженный сапфир. Как правило данный метод облагораживания применяется для бесцветных камней, либо камней, полностью набитых включениями. Путем интенсивного длительного нагревания флюс проникает на небольшую глубину камня, приводя к окраске.

Окраска таких сапфиров, как правило, более интенсивна по ребрам камня.

Сапфир бывает не только привычного синего цвета. Так, например, очень популярен в настоящее время сапфир редкого желтого цвета, окраска которого обусловлена примесью оксида железа. Цена природного желтого сапфира в настоящее время стабильно

растет, начиная от 1000 долларов США за карат, в то время как стоимость окрашенного желтого сапфира составляет 150 долларов США за карат.

При покупке рубина стоит помнить, что цвет является самой важной характеристикой. Наилучшими рубинами являются те, что имеют чистый, ярко-красный цвет с пурпурным оттенком. До 1800 г. рубинами называли и некоторые другие красные камни: Капскими рубинами — гранаты из Южной Африки, рубинами-балэ — бирманскую шпинель, колорадскими и аризонскими рубинами — гранаты из шт. Колорадо и Аризоны (США), бразильскими рубинами — розовые топазы Бразилии, сибирскими рубинами — рубеллиты (турмалины) Сибири.

На протяжении многих лет синтетический корунд с примесью ванадия, обладающий александритовым эффектом окраски, применяется в ювелирном деле как аналог александрита.

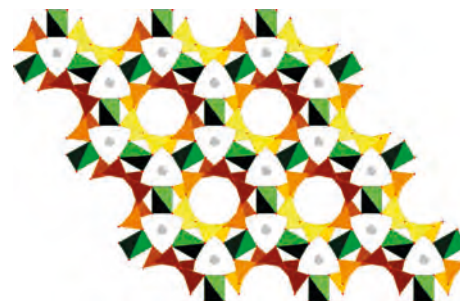
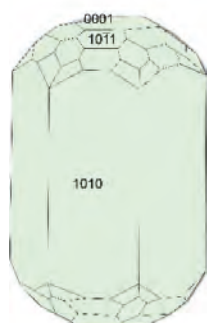
ИЗУМРУД

Физические свойства, структура.

Изумруд – драгоценный камень первой категории, являющийся разновидностью берилла. Берилл представляет собой кольцевой силикат бериллия и алюминия $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$. Структура этого минерала состоит из колец $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$, соединенных между собой через атомы Be и Al. Кольца образуют вытянутые вдоль оси шестого порядка колонки, связанные бериллиево-кислородными тетраэдрами и алюминиево-кислородными октаэдрами, окраска обусловлена незначительной примесью Cr^{3+} . Кристаллы берилла, как правило, характеризуются правильной формой.



Размер кристаллических индивидов сильно варьирует. Часто имеют столбчатый или призматический облик (Бетехтин, 2008). Твердость по шкале Мооса варьирует от 7,5 до 8. Название минерала произошло от персидского слова, и через такие латинские формы как «smaragdus», «emeraude» было переименовано в emerald. Возможно, ранее оно имело более общий характер, и использовалось для всех минералов, имеющих зеленый цвет.



Кристаллы изумруда столбчатого облика (<https://www.mindat.org>), габитус и кристаллическая структура изумруда (вычерчены с помощью программы Winshape)

Месторождения и основные промышленные источники. Изумруд начали добывать ещё четыре тысячи лет назад в Индии. В северной Африке (на территории современного Египта) также шли разработки месторождений зелёного берилла, известные под названием «Копи царицы Клеопатры». В течение долгого времени разрабатывались месторождения Колумбии, в частности, рудники Чивор и Мусо. Именно здесь был найден знаменитый «Девонширский изумруд».

В настоящее время изумруды добывают из коренных месторождений, где они залегают в углистых известняках и слюдяных сланцах. Изумруды хорошего качества

добывают в 120 км к северо-западу от Боготы, вблизи д. Мусо (Колумбия), Трансваале (ЮАР), Малышевском месторождении на Урале (Россия). Месторождения изумруда Бразилии, являющейся одним из крупных поставщиков изумруда на мировом рынке, сосредоточены, в основном, в штате Байя (Карнаиба, Анаже, Сантана де Феррос и др.).

Изумруды более низкого качества добывают в окрестностях г. Зальцбурга (Австрия), в Ирландии (Моурн), Норвегии (озеро Мьёзен), на р.Токовой (Средний Урал). Встречаются и россыпные месторождения, например, у г. Ава в Мьянме (Смит, 1984).

Знаменитые представители. Изумруд всегда считался драгоценным камнем, не обошли его и вниманием античные авторы – Теофраст и Плиний Старший. Последний даже создал целый трактат о минералах, в котором написал, что «больше всего ценятся те бериллы, которые своим цветом напоминают чистую зелень морских вод».

«Девонширский изумруд». В 1831 г. дон Педро, бывший император Бразилии, приехавший в Европу после своего отречения, подарил VI герцогу Девонширскому кристалл изумруда, добытый в колумбийских копиях Мусо в Южной Америке. Кристалл имеет характерную для изумруда форму шестиугольной призмы, заканчивающейся плоской гранью основания; другой конец кристалла – неровный, поскольку он был выломан из материнской породы. В одном из углов верхней части кристалла проходит трещина, возникшая, очевидно, в результате когда-то полученного удара, а в основании ещё сохранился небольшой кусочек вмещающего известняка. Кристалл, как это свойственно изумрудам из Мусо, разбит многочисленными мелкими трещинками.



Кристалл изумруда (20x13x9,5 см) в слюдяном сланце, вес 3335 гр., Средний Урал, Россия. Образец из коллекции Музея Землеведения МГУ.

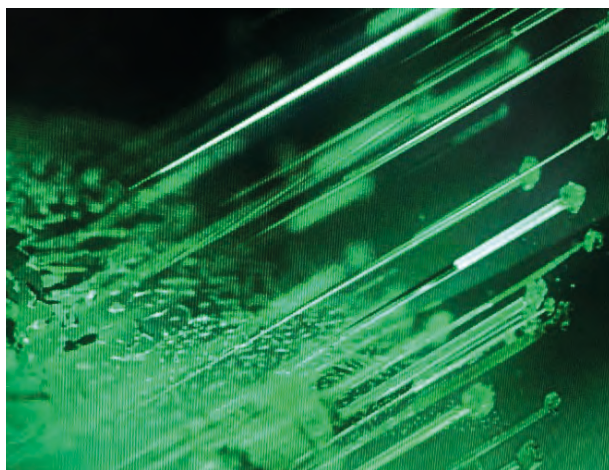


Девонширский изумруд (слева) и необычная окраска изумрудов Трапиче из шахты Мусо, Колумбия (справа) (<https://www.facebook.com/BrilliantyIVseONih>)

Образец весит 1383,95 карат и обладает густо-зеленым цветом подлинного изумруда. Девонширский изумруд несколько раз выставлялся на выставках в г. Лондон (Смит, 1984).

Синтез. Ж. Эбельман искал способ получения кристаллов изумруда одновременно с попытками усовершенствовать метод выращивания крупных кристаллов рубинов. В 1848 г. он получил первые кристаллы, растворяя низкосортный изумруд в расплавленном B_2O_3 . Настоящий синтез осуществили через сорок лет П. Отфель и А. Пере, растворив в платиновом тигле несколько граммов Al_2O_3 , BeO , SiO_2 с добавлением Cr_2O_3 в 92 г растворителя Li_2MoO_4 (Элуэлл, 1986; Shmestzer, 2008).

В первой половине 20-го столетия выращиванием изумрудов занимались в лабораториях Германии (расплав-реакционные методы Г. Эспига, Р. Наккена), однако коммерческого значения они не приобрели.



Гвоздикоподобные включения в гидротермальном изумруде Regency, указывают на его синтетическое происхождение (слева). Поле зрения 1,42 мм. Микрофотографии сотрудников GIA. Включения кристаллов пирита часто встречаются в природных колумбийских изумрудах (справа) (gemsinclusions.com).

В коммерческом производстве изумрудов ведущая роль принадлежит американцу К. Чэтему и французу П. Жильсону. Технические подробности использованных ими методов, как правило, не раскрывались, но судя по характеру включений в полученных кристаллах, их рост осуществлялся из безводного солевого расплава, т.е. раствор-расплавным методом. Этот процесс кардинально отличается от природного, протекающего при высоком давлении в существенно водной среде.

В настоящее время используются более быстрые гидротермальные методы синтеза. Первые гидротермальные изумруды были получены Й. Лехлейтнером. Данный метод рассматривали как промежуточную ступень на пути отработки технологии получения изумрудов из гидротермальных растворов. Затем появились превосходные кристаллы, которые производились отделением «Линде» в Сан-Диего, Калифорния. Камни выпускались под названием синтетические изумруды Линде. Детали процесса

выращивания были опубликованы Фланигеном, Бреком, Мумбахом и Тейлором в 1967 г. и описаны в патентах 1971 и 1973 гг. Также как и в методе, используемом в «Фабиндустри», для предотвращения зарождения большого числа мелких кристаллов необходимо было отделять реагенты друг от друга. Компонент, обеспечивающий изумрудную окраску, и оксиды бериллия и алюминия помещали в нижнюю часть автоклава, а оксид кремния – в верхнюю.



Изумруды Трапиче, Колумбия. Фото Jose Guillermo Ortiz (GIA)

Любопытные факты. Как и в случае других драгоценных камней на стоимость изумруда влияют: цвет, частота, вес, огранка, а также происхождение. Самые дорогие изумруды добываются в Колумбии, их стоимость будет на порядок дороже аналогичных изумрудов из Замбии или Афганистана. Например, стоимость 1 карата (7 x 5 мм) изумруда из Замбии классической изумрудной огранки, интенсивно-зеленого цвета, достаточно чистого составит примерно 2500-4000 долларов США. Аналогичный изумруд из Колумбии будет стоить от 15000-17000 за карат (для камня из категории 1-3 карата).



Сросток кристаллов изумруда (88,4 г), Коскуэса, Колумбия. Фото Robert Weldon (GIA)

Гидротермальные изумруды в настоящее время выращивают очень хорошего качества, цвет изумрудов, синтезируемых этим методом, аналогичен природным камням из Замбии и Колумбии. При этом стоимость синтетических камней является совсем недорогой.

Поскольку изумруды имеют многочисленные трещины и поры, изумруды часто облагораживают – промасливают (99 % изумрудов на рынке драгоценных камней). Самым главным недостатком и диагностическим признаком промасленного изумруда является помутнение.

АЛЕКСАНДРИТ

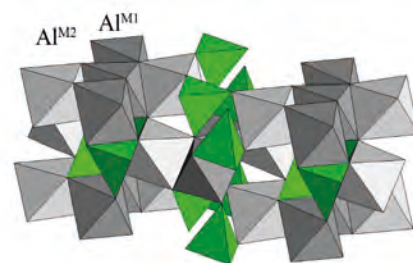
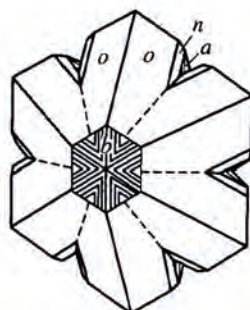
Физические свойства, структура.

Александритом называют редкую драгоценную разновидность хризоберилла, способную изменять окраску в зависимости от освещения. Этот минерал (BeAl_2O_4) был определен в 1790 году немецким геологом А.Г. Вернером. До этого времени хризоберилл принимали за хризолит – цветную разновидность оливина. Само же название «хризоберилл» имеет очень древнее происхождение: еще во времена Плиния Старшего так называли золотистый берилл. Александрит был обнаружен в 1833-1834 гг. Этот драгоценный камень был назван членом Российской академии наук, шведским минералогом Э. Норденшельдом в честь будущего царя Александра II. Александрит описан Я. В. Коковиным



Минерал кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллическая структура подобна оливиновой, атомы кислорода образуют близкую к гексагональной плотнейшую упаковку. Половина несколько искаженных октаэдрических пустот занята атомами Al (при этом образуются оливиновые ленты), одна восьмая также несколько искаженных тетраэдрических пустот – атомами Be, часть Al^{3+} замещается на Cr^{3+} . Индивиды хризоберилла-александрита могут быть тонкопластинчатыми, толстопластинчатыми, ромбобипирамидальными и короткопризматическими. Во всем многообразии кристаллов выделяются два основных морфологических типа: собственно хризоберилловый и александритовый.

Александрит имеет изумрудно-зеленую окраску при дневном свете и фиолетово-красную при электрическом. Способность александрита изменять окраску в зависимости от характера освещения – «александритовый эффект» – следствие строго



Шестерник александрита, Зимбабве (<https://www.mindat.org/gm/109>), его габитус и кристаллическая структура: тетраэдры заполнены бериллием, темно-серые Al-октаэдры – центральные стержни оливиновой ленты, серые Al-октаэдры – «зубчики» оливиновой ленты (Громалова, Урусов, 2011)

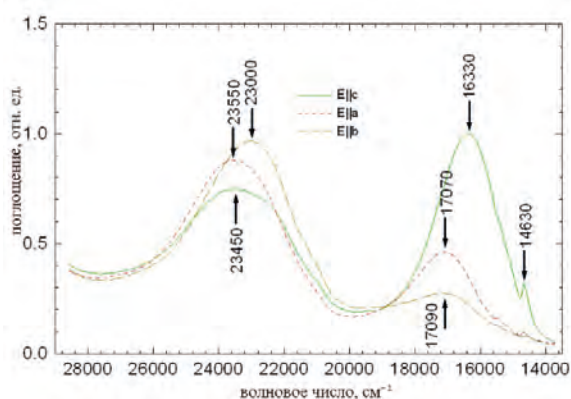
определенного положения полос в спектре поглощения. Спектр поглощения александрита характеризуется двумя окнами пропускания – в зеленой и красной областях. Зависимость окраски александрита от падающего на него света связана с природой источника света. Спектр дневного (солнечного) света имеет максимум интенсивности в зеленой области; «окно» в зеленой области спектра (между полосами поглощения ~ 415 и ~ 500 нм) александрита пропускает эти зеленые лучи, и минерал кажется зеленым. В спектре искусственного освещения максимум интенсивности приходится на более длинноволновое излучение. Но в спектре александрита есть и второе «окно», соответствующее длинам волн более 600 нм, оно и пропускает красные лучи, из-за чего окраска меняется с зеленой на красную.

Месторождения и основные промышленные источники. Хризоберилл – полигенный минерал с четко проявленным типоморфизмом. Само его присутствие типоморфно для определенных условий образования. Благодаря особенностям химического состава, он является индикатором высокой глиноземистости и низкой кремнекислотности. Все известные типы месторождений хризоберилла представляют постмагматические образования, генетически связанные с поздними стадиями пегматитового или различными этапами гидротермально-пневматолитового процесса.

Наряду с бериллом и фенакитом хризоберилл является одним из основных минералов на месторождениях изумрудов «сланцевого» геолого-промышленного типа – Франкейра в Испании (Martin-Izard, et.al, 1995), Изумрудные Копи на Урале (Власов, Кутукова, 1960), Хабахталь, Австрия (Grundmann et al., 1989) и др. В Изумрудных Копях выделения хризоберилла приурочены к реакционным зонам десилицированных пегматитов. Помимо Изумрудных Копей хризоберилл установлен в «пегматитах линии скрещения», например, Липовское месторождение на Среднем Урале, месторождения Бразилии, Мадагаскара,



Сросток из 4-5 кристаллов александрита на биотите, Малышевское месторождение, Изумрудные Копи Урала, Россия. Размер наибольшего кристалла 0,9 см (<https://www.mindat.org/gm/109>).



Ориентированные спектры поглощения синтетического александрита, полученного методом раствор-расплавной кристаллизации ($B = 655 \text{ см}^{-1}$; 10 мас.% Cr_2O_3) (Громова, Урусов, 2011).

грейзенизированных скарнах месторождения Люппико в Карелии. Александрит известен в Бразилии (штат Минас-Жерайс), Шри-Ланке, на юге Индии, на Мадагаскаре и в США. В Танзании встречается во всех месторождениях берилла в основном россыпного типа. Месторождения, генетически связанные с гранитными пегматитами, содержат хризоберилл в виде монокристаллов и сростков, что важно для ювелирной промышленности.

Бразилия является наиболее важным поставщиком хризоберилла. Второе по значению место в добыче хризоберилла занимает о. Шри-Ланка, где его извлекают из галечников. Хризоберилл здесь представлен разновидностями желтого и зеленого цвета, а также цимофаном и александритом (камни достигают 20 карат и более) (Корнилов, Солодова, 1983). Значительное количество камней поставляет также Индия, Россия, Мадагаскар.

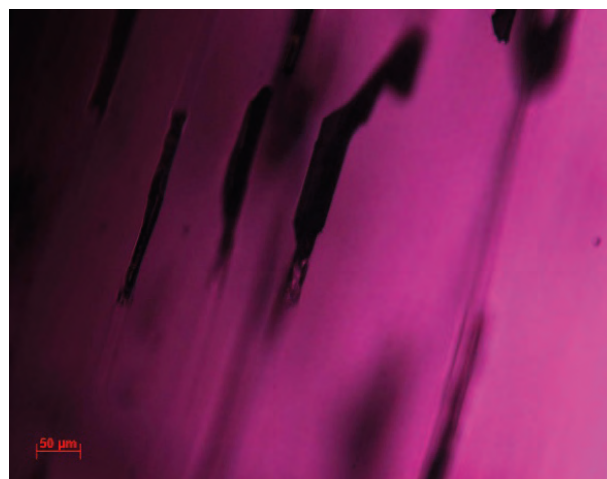
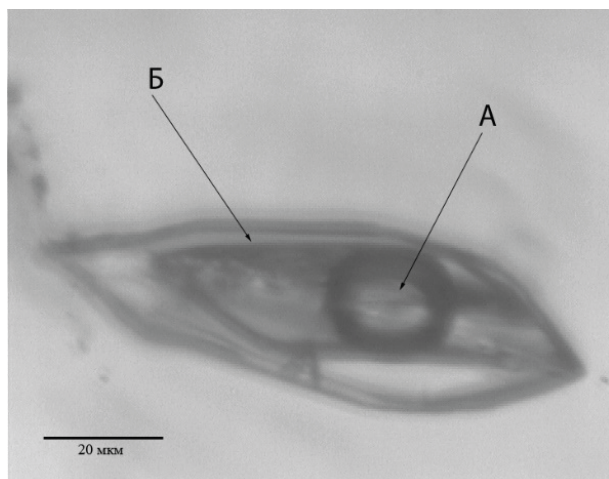


Хризоберилл (александрит), сросток из 22 кристаллов. «Друза Кочубея». Изумрудные Копи, Ср.Урал, Россия (№30295. Колл.: Кочубей П.А. Поступление 1913 г., фото А.А. Евсеев, экспонат Минералогического музея им. Ферсмана), по данным http://geo.web.ru/druza/m-novmirK_60.htm.

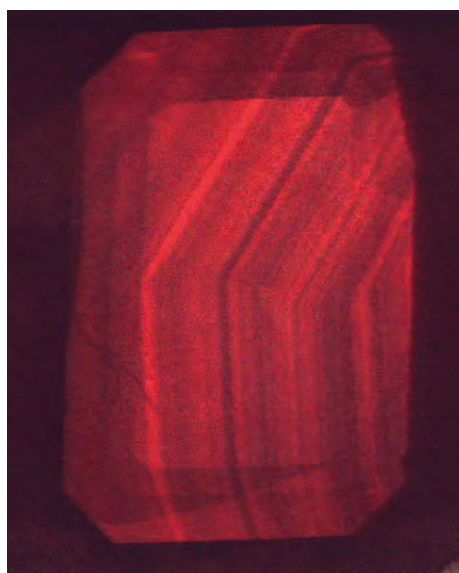
Знаменитые представители. Крупные кристаллы александрита встречаются довольно редко, а кристаллы хорошего качества и густого цвета – камни уникальные. Один из самых крупных хризобериллов массой 8 кг был зарегистрирован в 1828 году в Рио-де-Жанейро, Бразилия (Корнилов, Солодова, 1983). Самый большой известный Малышевский александрит был добыт в 1994 году, вес которого составляет 350 г.

Тройники александрита часто образуют друзовые агрегаты, срстаются в группы, состоящие из 5-10 индивидов. Самый большой сросток, добытый Н.И. Кокшаровым, состоял из 22 прекрасно образованных тройников, отдельные кристаллы в нем достигали 9 см в диаметре.

Синтез. В настоящее время искусственные александриты в коммерческих масштабах выращивают, в основном, методом Чохральского, окраску придают ионами хрома. Полученные таким способом кристаллы, содержат газовые пузырьки и случайные твердофазные включения треугольных и шестиугольных очертаний.



Газово-жидкие (А - CO₂ г, Б - CO₂ ж) включения в природном александрите (слева) (Громалова и др., 2014). Включения флюса в синтетическом александрите, (справа) (Громалова, Урусов, 2011)



Зональность кристаллов александрита при катодолуминесцентном освещении: природного, Урал (слева) и синтетического, полученного методом Чохральского (справа) (Громалова, Урусов, 2011)

В лабораторных условиях александрит также получают из раствора в расплаве $V_2O_5 + PbO$ с добавлением натурального берилла и оксида хрома (Букин и др., 1978). В Массачусетском Технологическом институте (США), например, кристаллы хризоберилла и александрита выращивались при медленном охлаждении раствора – расплава на основе литий – молибдатного плавня, однако их размер не превышал 3 мм.

Для природного александрита типичны газово-жидкие включения, в то время как для александрита, полученного флюсовым методом характерны включения флюса.

Любопытные факты.

Александрит – редкий и очень модный камень в настоящее время. Цена на ограненные александриты сильно зависит от насыщенности основного тона и степени проявления «александритового эффекта» (Miller, 1994). Обычно при оценке александрита выделяют четыре степени насыщенности основного тона и четыре группы чистоты. «Александритовый эффект» не означает, что при изменении освещения цвет полностью меняется с одного тона на другой. На самом деле «александритовый эффект» может быть выражен от «очень сильно» до «очень слабо», когда изменение цвета происходит на 90 и 10% соответственно. При сильном изменении цвета остается незначительный нацвет первоначального тона, при слабом - появляется незначительный нацвет нового тона.

Данные о температуре гомогенизации включений в александрите Урала (Россия) свидетельствуют, что минерал формировался при участии среднетемпературных низкосолёных флюидов.



*Включения флюорита в кристалле александрита, Бразилия.
Фото Tyler Smith (GIA).*

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон Б. Определитель драгоценных камней, М: «Мир», 1983. 456 с.
2. Балицкий В. С., Лисицына Е. Е. Синтетические аналоги и имитация. М., «Недра», 1981, 158 с.
3. Бетехтин А.Г. Курс минералогии, М.: «КДУ», 2008. 736 с.
4. Громалова Н.А., Урусов В.С. Хризоберилл и его ювелирная разновидность – александрит. Раствор-расплавная кристаллизация и комплексное изучение состава, морфологии и свойств природных и синтетических кристаллов. Lambert Academic Publishing. ISBN 978-3-8433-2169-3. 2011. 262 с.;
5. Громалова Н.А., Прокофьев В.Ю., Урусов В.С. Сравнительный анализ включений в александрите Урала, хризоберилле Танзании и некоторых синтетических образцах // Вестник Московского университета. Сер. 4, Геология. 2014. № 1, с. 48-53.
6. Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М., «Книжный дом Университет», 2005. 592 с.
7. Иванова Г.Н. Синтетические аналоги ювелирных камней. Учебное пособие, Иркутск, 2006.
8. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни, М., «Недра», 1987.
9. Рид П.Дж. Геммологический словарь, М., «Недра», 1986. 286 с.
10. Смит Г. Драгоценные камни, М., «Мир», 1984. 560 с.
11. Солодова Ю.П., Андреев Э.Д., Гранадчикова Б.Г. Определитель ювелирных и поделочных камней, М., «Недра», 1985. 224 с.
12. Шаскольская М.П. Кристаллы. М., «Наука», 1978. 160 с.
13. Элуэлл Д. Искусственные драгоценные камни, М., «Мир», 1981. 176 с.
14. Shmestzer K. «More than 100 years of emerald synthesis». 2008.



ОБ АВТОРЕ

Наталья Александровна Громалова – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Музея землеведения МГУ. Проводит комплексные экспериментальные и теоретические исследования в области физики минералов, кристаллохимии, атомистического моделирования. Важнейшие публикации посвящены решению задач, актуальных для геммологической и музеевлогической практики – исследованиям различий природных и синтетических материалов, использованию инновационных неразрушающих методик при изучении вещественного состава геологических образцов из музейных коллекций.

Учебное издание

ГРОМАЛОВА Наталья Александровна

**ДРАГОЦЕННЫЕ КАМНИ –
КОРОЛИ УДИВИТЕЛЬНОГО МИРА МИНЕРАЛОВ**

Учебное пособие для слушателей лекционного курса
по учебно-образовательной программе Музея землеведения МГУ

*Издание Музея землеведения МГУ
Адрес: Москва, Ленинские горы, дом 1*

*Редакторы: В.В. Снакин, Л.В. Алексеева
Вёрстка: Д.К. Чехович
Обложка: Фелиция Грамберг*

4-я страница обложки:

*Фото: Robert Weldon/GIA [https://www.gia.edu/gems-gemology/
winter-2019-alexandrite-geographic-origin-determination](https://www.gia.edu/gems-gemology/winter-2019-alexandrite-geographic-origin-determination)*

*Александрит. Сдвойникованный кристалл 32,35 мм, огранка 2,61 карат.
Фото при естественном освещении (слева) и в свете от лампы накаливания (справа).
Мальшевское месторождение. Средний Урал.*

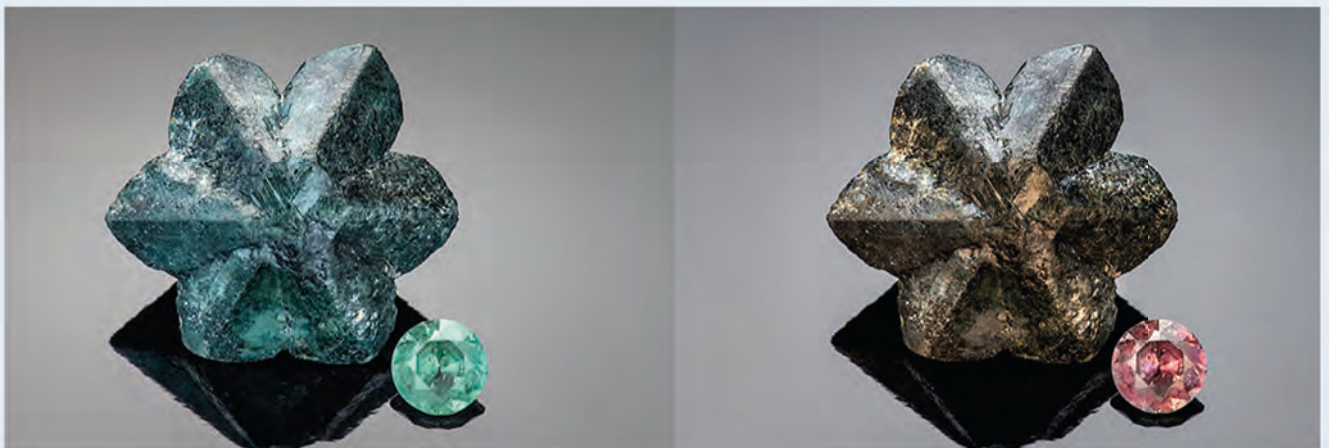
*Издательство «МАКС Пресс»
Главный редактор: Е.М. Бугачева*

Напечатано с готового оригинал-макета

Подписано в печать 30.09.2020 г.
Формат 60х90 1/8. Усл.печ.л. 2,6.
Тираж 200 экз. Заказ 150.

Издательство ООО «МАКС Пресс»
Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.
119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы, МГУ имени М.В. Ломоносова,
2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8(495)939-3890/93. Тел./Факс 8(495)939-3891.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленных материалов в ООО «Фотоэксперт»
115201, г. Москва, ул. Котляковская, д.3, стр.13



Дополнительные общеобразовательные программы Музея землеведения:

Вулканы мира
Горные породы
Арктика и Антарктика
История развития жизни на Земле
Удивительный мир растений
Географические карты и история картографии

Запись на занятия: <https://distant.msu.ru/course/view.php?id=1249#section-9>