



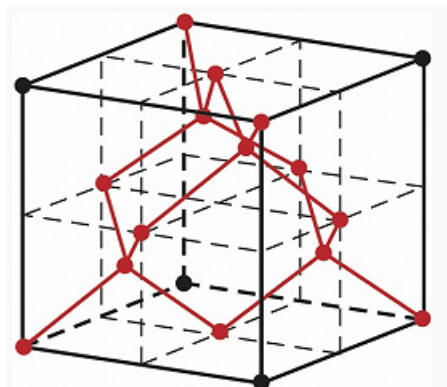
АЛМАЗ

Авторы: Н. А. Пекова, В. Г. Черенков (природные алмазы); А .В. Ножкина (синтетические алмазы);

А. Ф. Толпежников (алмазная промышленность)

АЛМАЗ (тюрк., от греч. ἄβρας, род. п. ἄδραντος – непобедимый, несокрушимый), самый твёрдый минерал, полиморфная кубическая модификация углерода, образующаяся в природе при высоких давлениях.

Структура



Элементарная ячейка кристаллической решётки алмаза.

Элементарная ячейка кристаллич. решётки А. имеет вид куба, в котором атомы углерода расположены в вершинах, в центрах его граней, а также в центрах 4 несмежных октантов куба. Каждый атом углерода связан с четырьмя ближайшими (симметрично расположенными по вершинам тетраэдра) ковалентной химич. связью и находится на расстоянии 0,154 нм от каждого из них. Идеальный кристалл А. можно представить себе как одну гигантскую молекулу. В реальных кристаллах А. всегда присутствуют примеси (Si, Al, Ca, Mg, Na, Ba, Mn, Fe, Cr, Ti, B, H, N и др. элементы) и дефекты решётки. Из примесей наибольшее влияние на физич. свойства А. оказывает азот, который изоморфно входит в структуру и образует (самостоятельно или в совокупности со

структурными дефектами) центры, ответственные за окраску, люминесценцию, поглощение (в ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной и микроволновой областях), характер рассеивания рентгеновских лучей и др.

Морфология



Алмаз «50 лет Октября» октаэдрической формы, масса 121,66 карат. Трубка «Мир». Якутия (Россия).

А. кристаллизуется в кубические сингонии. Важнейшие кристаллографич. формы А.: плоскогранные (возникающие при росте кристаллов) – октаэдр, ромбододекаэдр, куб и различные их комбинации; кривогранные (образующиеся при растворении кристаллов) – додекаэдровиды, октаэдровиды и кубовиды; встречаются и более сложные комбинированные формы, двойники срастания (по шпинелевому закону) и прорастания. Грани кристаллов часто покрыты фигурами роста и растворения – выступами, углублениями и ступеньками. Среди поликристаллич. агрегатов А. выделяют баллас (шаровидной формы сферолиты радиально-лучистого строения), сростки, карбонадо (скрыто- и микрокристаллич. агрегаты неправильной формы, плотные или шлакоподобные), карбонадо с лонсдейлитом (гексагональная модификация углерода) и борт (неправильной формы мелко- и

крупнозернистые поликристаллич. образования). Размер А. колеблется от микроскопич. зёрен до весьма крупных кристаллов массой в сотни и тысячи карат. Масса добываемых А. обычно 0,1–1,0 кар (1 кар = 0,2 г); крупные кристаллы св. 100 кар встречаются очень редко; как правило, таким камням присваивают собственные имена (табл. 1). Из самого крупного – «Куллимана» сделано 105 [бриллиантов](#), в т. ч. «Звезда Африки» («Куллинан I») в 530,2 кар и «Куллинан II» в 317,4 кар, которые вставлены в имп. корону и скипетр Великобритании. Крупнейший рос. А. (342,5 кар) найден в Якутии (трубка «Мир»).

Таблица 1. Крупнейшие в мире алмазы

Название	Масса, кар	Место находки - страна, рудник	Год находки	Количество полученных из алмаза бриллиантов	Масса наиболее крупных бриллиантов, кар
«Куллинан»	3106,0	ЮАР, Премьер	1905	105	530,2; 317,4
Без названия	1640 (разбит)	ЮАР, Премьер	1919
Без названия	1195,5	ЮАР, Премьер	1924
«Эксельсиор» («Эксцельсиор»)	971,50	ЮАР, Яхерсфонтейн	1893	21	69,8; 47,15
«Звезда Сьерра-Леоне»	968,90	Сьерра-Леоне, Енгема	1972	17	153,96
«Великий Могол»	778,00	Индия, Голконда	1304?	...	280
«Алмаз Победы»	770,00	Сьерра-Леоне, Коиду	1945	30	31,35
«Безымянный коричневый»	775,5	ЮАР, Премьер	1986	1, «Золотой юбилей», крупнейший в мире	545,67
«Президент Варгас»	726,60	Бразилия, Диамантина	1938	29	48,26
«Йонкер» («Джонкер»)	726,00	ЮАР, Трансвааль	1934	12	125,65
«Юбилейный»	650,80	ЮАР	1895	2	245,35
«Дютойтспан»	616,00	ЮАР, Дютойтспан	1974	Не ограничен	
«Баумгольд»	609,25	Южная Африка	1922	14	50,00
«Лесото Браун»	601,25	Лесото, Летсенг-ла-Терае	1967	18	71,73

Физические свойства

Встречаются А. бесцветные, желтоватые, коричневые, зелёные, голубые, синие, розовые (разных оттенков и интенсивности окраски), молочно-белые, серые (до чёрного). При облучении заряженными частицами бесцветный кристалл приобретает зелёный или голубой цвет. Плотность у разл. разновидностей колеблется в пределах от 3470 до 3560 кг/м³ (у карбонадо от 3010 до 3470 кг/м³). Твёрдость по [Моосу шкале](#) 10. Анизотропией А. определяются многие его свойства, напр. разл. твёрдость по разным кристаллографич. направлениям

(наиболее твёрдой является грань октаэдра), что позволяет обрабатывать его алмазным инструментом. А. хрупок (при наличии дефектов или включений), имеет совершенную спайность по граням октаэдра, яркий блеск, обусловленный высоким показателем преломления – 2,417 (для длины волны 0,5893 мкм), и сильно выраженный эффект дисперсии, обеспечивающий радужную игру света на гранях бриллианта. Степень прозрачности зависит от количества включений – твёрдых (графит, оливин, пироксен, гранаты, хромшпинелиды, коэсит и др. минералы) и газовой-жидких. Как правило, в кристаллах проявляется аномальное двулучепреломление из-за напряжений, возникающих в связи со структурными дефектами и включениями. В большинстве кристаллов наблюдается люминесценция (в зелёной и синей частях спектра) под действием ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучений, а также фосфоресценция. Чистая поверхность кристаллов обладает высокой гидрофобностью, в природе на поверхности образуются тончайшие плёнки, повышающие смачиваемость. А. – диэлектрик (удельное электросопротивление изменяется в пределах $1-10^{10}$ Ом·см), диамагнетик, обладает высокой теплопроводностью (у некоторых кристаллов при комнатной температуре превышает теплопроводность меди в 4 раза). Полиморфный переход А. в [графит](#) при атмосферном давлении происходит при темп-ре 1885 ± 5 °С по всему объёму кристалла. На воздухе сгорает при темп-ре св. 850 °С.

Распространённость и происхождение

А. встречается в кимберлитах, лампроитах, в «родственных» им магматич. породах (некоторых типах лампрофиров, пикритах, перидотитах), а также в разл. россыпях. А., резко отличные от вышеуказанных типов (карбонадо, карбонадо с лонсдейлитом), находят иногда в импактитах, выполняющих [астроблемы](#), в метаморфич. породах, а также в метеоритах. По вопросам происхождения А. нет единого мнения. Происхождение А. кимберлит-лампроитового типа б. ч. учёных связывает с верхней мантией Земли, с глубинами св. 150 км, где он кристаллизуется в глубинных магматич. ультраосновных (перидотиты) и основных (эктогиты) породах и находится там при чрезвычайно высоких давлениях ($40-65$, до $1,05\cdot 10^7$ кПа) и темп-рах ок. $1150-1350$ °С. Большинство исследователей признаёт, что кимберлитовая или лампроитовая магма (заполняющая диатремы), ранее считавшаяся мн. исследователями средой формирования А., выполняет в этом процессе роль транспортёра. В зависимости от её свойств (темп-ры, скорости подъёма магматич. колонны, содержания разл. химич. элементов, особенно щелочных) она может как достаточно хорошо консервировать А., так и быть по отношению к нему крайне агрессивной – вплоть до полного его растворения и/или преобразования в графит. Генезис А. в метаморфич. породах б. ч. исследователей объясняет формированием их при низких температурах и давлениях в верхних горизонтах земной коры одновременно с образованием вмещающих пород. По альтернативной точке зрения, эти А. изначально связаны с мантийной алмазоносной ультраосновной породой, внедрившейся в верхние горизонты коры, затем там преобразованной (почти полностью изменившей свой химич. и минер. состав) в результате воздействия метасоматич. процессов. Образование поликристаллич. А. (карбонадо, карбонадо с лонсдейлитом), содержащихся в импактитах астроблем, объясняют перекристаллизацией графита древних метаморфич. графитсодержащих пород в результате т. н. шок-метаморфизма ударной (внедрение крупного метеорита) или взрывной природы (эндогенная взрывная структура).

Месторождения

Проявления А. известны в 43 странах, пром. месторождения выявлены в 26. Общие запасы А., установленные в 25 странах (без России), составляют 991 млн. кар (табл. 2), в т. ч. в Африке (54,5%), Австралии (9,6%), Юж. и Сев. Америке (34,8), Азии (0,6%). Наиболее крупные запасы А. (зарубежные) сосредоточены в Южно-Африканской, Центральноафриканской, Канадской, Западно-Африканской, Западно-Австралийской и Южно-Американской алмазоносных провинциях. Ок. 85% известных запасов А. сосредоточено в коренных месторождениях, остальные – в россыпях. Коренные месторождения выявлены: в магматич. породах – кимберлитах (в трубках, дайках, силлах; напр., Ботсвана, Россия, ЮАР, Канада, Ангола, Сьерра-Леоне); лампроитах (трубках, дайках; Австралия, Индия), в их древних метаморфизованных разновидностях – «филлитах» и тальковых сланцах (Бразилия, Гана, Гайана); импактитах (Попигайская астроблема, Якутия, Россия); метаморфич. породах – эклогитах, карбонатных метасоматитах, гнейсах (Казахстан). Пром. месторождения А. в коренных породах пока известны только в кимберлитах (почти все) и оливиновых лампроитах (крупнейшее в мире по запасам месторождение [Аргайл](#), Австралия). Единственное метаморфогенное месторождение А. – Кумдыкольское (Казахстан) и шок-метаморфич. месторождения в Попигайской астроблема (наиболее крупные – Скальное и Ударное значительно превосходят по запасам известные месторождения традиционных генетич. типов) пока не представляют пром. интереса, т. к. содержат мелкие и трудноизвлекаемые А. специфич. морфологии и структуры. В мире выявлено св. 6500 кимберлитовых тел, но промышленно алмазоносны из них неск. десятков. Содержание А. в коренных месторождениях колеблется в широких пределах от 0,1–7 кар/т (редко больше). В большинстве коренных месторождений наиболее ценные ювелирные разновидности А. по числу кристаллов составляют 5–15%, по массе 40–70% и по стоимости 97,5–98%. По содержанию А. крупнейшей является уникальная якут. трубка «Интернациональная» (до 17 кар/т), по стоимости 1 т руды – якут. трубка «Имени XXIII партсъезда» – до 700 долл./т, по общей стоимости добытых А. – месторождение Джваненг (Ботсвана). Наиболее крупные пром. коренные месторождения А. расположены в Ботсване, России (Якутия, Архангельская обл.), ЮАР, Австралии, Канаде, Анголе, Демократич. Республике Конго.

Таблица 2. Наиболее крупные ресурсы и запасы природных алмазов, в т. ч. ювелирных по странам и суммарные мировые (без России; оценка к нач. 2004), млн. кар

Страна	Ресурсы природных алмазов	Общие запасы природных алмазов	Запасы ювелирных алмазов
Азия			
Индия	10	1	1
Китай	35	5	2
Ангола	730	92	80
Ботсвана	950	185	140
Гана	15	5	2
Гвинея	30	1	0,8
Африка			
Демократия. Республика Конго	350	65	6

Зимбабве	50	35	20
Лесото	30	8	4
Намибия	930	10	9,5
Сьерра-Леоне	50	12	8
ЦАР	22	2	1,5
ЮАР	450	125	55
Америка			
Бразилия	40	3	2,5
Венесуэла	90	67	30
Канада	800	275	64
Австралия			
Австралия	500	95	28
Прочие страны	118	5	4
Всего в мире	5200	991	458,3

Россыпные месторождения связаны с аллювиальными образованиями русел, пойм, террас современных и древних речных долин, а также морских наземных и подводных террас и палеодолин рек. Пром. значение имеют также элювиальные, делювиальные и карстовые россыпи. Содержание А. в россыпях 0,001–5 кар/м³ (иногда достигает десятков карат на м³). Качество (а также размер и соответственно цена) алмазов в россыпях существенно выше, чем в коренных месторождениях: в некоторых россыпях ЮАР она превышает 1200 долл./кар, в якутских – ок. 60–80, в уральских – до 350 долл./кар. Крупнейшие россыпные месторождения выявлены в Демократич. Республике Конго, Намибии, ЮАР, Анголе, Гане, Бразилии и др. Осн. запасы ювелирного сырья сосредоточены в Ботсване, России, Анголе, Канаде, ЮАР, Венесуэле, Австралии; технич. А. – в Канаде, России, ЮАР, Австралии, Демократич. Республике Конго, Ботсване, Венесуэле.

Россия занимает ведущее место в мире как по разведанным запасам А., так и по прогнозным ресурсам. Разведанные запасы сосредоточены в коренных месторождениях (94,6%, кимберлиты) и россыпях (5,4%). Первые А. в стране были обнаружены в [Уральской алмазоносной провинции](#) в 1829 в золотоносных аллювиальных россыпях на Ср. Урале (в бассейне р. Койва). Россыпи Урала характеризуются высоким выходом ювелирных камней (ср. масса 0,15–1,0 кар), однако их запасы ограничены (ок. 0,1% общероссийских); коренные источники пока не обнаружены. Осн. часть месторождений находится в [Якутской алмазоносной провинции](#) и [Архангельском алмазоносном районе](#). В 1970-е гг. выявлена высокая алмазоносность импактитов Попигайской астроблемы, которая связана с продуктами переплавления пород «мишени» (тагамиты) или их взрывного разрушения (зювиты). В большинстве случаев алмазоносные тела тагамитов и зювитов имеют пластообразную форму, субгоризонтальное залегание и характеризуются устойчивым содержанием А. по простиранию и на глубину. А. изредка находят в Карской, Пучеж-Катуньской и др. астроблемах России.

Использование природных алмазов

На мировом рынке различают 3 вида А.: ювелирные (прозрачные монокристаллы совершенной формы, массой в

осн. не менее 0,05 кар, с небольшим количеством включений и др. дефектов), субьювелирные (с несколько бoльшим количеством дефектов) и технические. Ювелирные и субьювелирные А., огранённые специальной бриллиантовой огранкой, называются бриллиантами, остальные используют в технич. целях. Некоторое количество А. ювелирного качества также используют в технич. целях, в осн. в области электроники и др. высокотехнологичных произ-вах (при соотношении цены сырья к цене изготовленного на его основе прибора не более чем 1:100), но их доля в связи с высокой стоимостью невелика.

Синтетические алмазы

Синтетические алмазы получают из графита и углеродсодержащих веществ начиная с сер. 1950-х гг. Существуют три осн. метода синтеза А. При высоких давлениях (выше 4 ГПа) и высоких темп-рах (выше 1100 °С) получают алмазные порошки и крупные (массой более 1 кар) моно- и поликристаллы. При низком давлении химич. осаждением А. из газовой фазы углеводородов (в осн. CH_4) на подложку получают моно- и поликристаллич. алмазные плёнки диаметром до 100 мм и толщиной до 1 мм. При взрыве углеродсодержащих веществ (метод динамического синтеза) при сверхвысоких давлениях и темп-рах получают ультрадисперсные алмазные порошки – наноалмазы с размером частиц 5–8 нм и удельной поверхностью 250–350 см²/г.

Синтетич. А. применяются гл. обр. в режущих и шлифовальных инструментах, а также в полупроводниковой электронике и прецизионном приборостроении; крупные монокристаллы высокого качества используются для изготовления ювелирных изделий.

Алмазная промышленность

Алмазная промышленность охватывает поиск, разведку, добычу и обработку природных А., а также произ-во синтетич. алмазов.

Добыча А. – одна из старейших отраслей. До 18 в. единств. источником А. была Индия. В нач. 18 в. А. обнаружили в Бразилии, к ней перешла монополия в снабжении сырьём быстроразвивающихся гранильных центров в Амстердаме и Антверпене.

Как самостоятельная отрасль алмазная пром-сть сформировалась в Юж. Африке после открытия здесь в 1866 коренных месторождений А. В России пром. добыча А. начата с 1955 после открытия в Якутии алмазоносных месторождений.

А. добываются в 24 странах, основными из которых являются Россия (ведущее место по объёму добычи, 2002), Австралия, Ботсвана, Демократич. Респ. Конго, ЮАР, Ангола, Канада. На них приходится ок. 95% А. общемировой добычи. О крупнейших рудниках мира см. в табл. 3. Общепринятой характеристикой мировой добычи А. является её ср.-годовой уровень.

Таблица 3. Крупнейшие алмазодобывающие предприятия мира (2001)

Предприятие	Страна	Добыча, доля в мире, %	Цена алмазов, долл./кар	Общая стоимость добычи, млн. долл.	Доля по стоимости в мире, %
Джваненг	Ботсвана	10,4	110	1357,3	17,2

Трубка «Удачная»	Россия	9,7	85	977,5	12,4
Орапа	Ботсвана	11,0	50	652,8	8,2
Экати	Канада	3,1	144	530,6	6,7
Венишия	ЮАР	4,2	85	423,0	5,3
Трубка «Юбилейная»	Россия	4,6	65	357,5	4,5
Аргайл	Австралия	21,9	11	286,0	3,6
Интер	Россия	2,5	90	270,0	3,4
Летлхакане	Ботсвана	0,8	180	183,7	2,3
Катока	Ангола	2,2	65	175,0	2,2
Финш	ЮАР	2,1	70	172,5	2,1
Премьер	ЮАР	1,3	75	122,7	1,5

На произ-во бриллиантов идёт не более 40% добываемых А. (по массе). При этом на готовый бриллиант приходится менее половины массы исходного кристалла (остальное превращается в пыль). Крупнейшие в мире центры огранки расположены в Бельгии (Брюссель), США (Нью-Йорк), Индии (Сурат), Израиле (Рамат-Ган).

Всю мировую добычу А. сосредоточили неск. крупных компаний. В каждой стране – производителе А. есть одна доминирующая алмазодобывающая компания. Все компании контролируются крупными транснациональными корпорациями – «Де Бирс», «Рио-Тинто», «Би-Эйч-Пи». В России практически вся добыча А. производится акционерной компанией (АК) АЛРОСА. Особняком стоит конголезская компания МИБА, находящаяся под контролем франко-бельгийского капитала.

Рынок А. высокомонополизирован. Он контролируется «Де Бирс», сосредоточившей добычу (св. 30% ежегодной мировой добычи) в ЮАР, Ботсване, Намибии, имеющей долгосрочные соглашения с осн. крупными продуцентами А. на закупку у них всех или б. ч. добываемых А. Кроме того, значительные объёмы А., поставляемые на свободный рынок, скупаются «Де Бирс» и вовлекаются т. о. в оборот монопольного рынка. Продажа А. и скупка их на свободном рынке осуществляются «Де Бирс» через Центральную сбытовую организацию (ЦСО). «Де Бирс» создала в 1930-х гг. одноканальную систему сбыта, через которую до сих пор реализуется подавляющий объём добываемых в мире А. Кроме того, она создала систему долгосрочных соглашений о маркетинге А., заключённых с крупными производителями. На рубеже 20 и 21 вв. корпорация контролировала до 70% физич. объёма А., реализуемых на мировом рынке. Уникальное положение «Де Бирс» на рынке А. во многом определило его совр. структуру и осн. механизмы регулирования.

Синтетич. А. впервые получены в Швеции в 1953. Начало их пром. произ-ва датируется 1957 («Дженерал электрик»). В 1959 оно составляло уже 1 млн. кар, а к нач. 1970-х гг. превысило объём потребления природных технич. А. В СССР пром. произ-во синтетич. А. началось в 1963–64 и к кон. 1960-х гг. составляло уже неск. млн. карат. В нач. 21 в. мировое произ-во синтетич. А. составило 600 млн. кар в год, осн. страны-производители – Россия, США, Великобритания, Китай, Украина и Япония. Ок. 70% синтетич. А. в мире производят «Дженерал электрик» и «Де Бирс». Средняя цена 1 кар синтетич. А. в 10–15 раз ниже, чем производственно-технических.

Алмазная пром-сть входит в состав алмазно-бриллиантового комплекса (АБК), включающего хозяйствующие субъекты алмазной, гранильной и ювелирной отраслей, а также хозяйствующие субъекты пром-сти, производящей синтетич. А. АБК РФ ежегодно производит товарной продукции более чем на 2,3 млрд. долл. (ок. 0,9% общего объёма пром. продукции страны). Экспортный потенциал АБК – ок. 1,5 млрд. долл., в комплексе занято св. 50 тыс. человек.

В России св. 200 предприятий заняты огранкой природных А. ювелирного качества. Лидирующие позиции занимает предприятие «Кристалл» (45%). Совокупный объём производимых бриллиантов по балансовой стоимости св. 1 млрд. долл. На внутренний рынок для произ-ва ювелирных изделий поступает ок. 8% огранённых камней. Гранильное произ-во является экспортно-ориентированным. На рынке действуют в осн. совместные предприятия с участием иностр. капитала, жёстко зависящие от иностр. кредиторов. Последние формируют у себя осн. добавленную стоимость при экспорте бриллиантов.

АК АЛРОСА добывается 98% (по стоимости) рос. А., 2,0% – в Пермской обл. на «Народном предприятии прииске "Уралалмаз"». В Архангельской обл. ОАО «Севералмаз» ведёт подготовит. работы по освоению месторождения им. М. В. Ломоносова.

С 1993 добыча А. в РФ в стоимостном выражении увеличивалась в ср. на 5,9% в год и к нач. 21 в. превысила 1,5 млрд. долл., что составило ок. 21% его мирового объёма по стоимости.

Литература

Лит.: Харьков А. Д., Зинчук Н. Н., Крючков А. И. Коренные месторождения алмазов мира. М., 1998; Алмазоносные импактиты Попигайской астроблемы / Ред. В. Л. Масайтис. СПб., 1998; Handbook of industrial diamonds and diamond films / Ed. M. A. Prelas a. o. N. Y., 1998; Лаврова Л. Д., Печников В. А., Плешаков А. М. Новый генетический тип алмазных месторождений. М., 1999; Ваганов В. И. Алмазные месторождения России и мира: Основы прогнозирования. М., 2000.