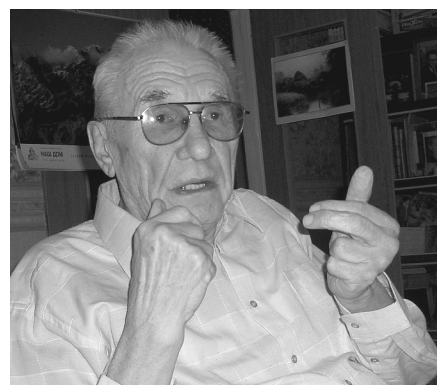




Кампания Petra Diamonds обнаружила алмаз в 507,55 карат на шахте Куллинан (Ю. Африка, 2009 г.).
Фото с сайта <http://www.smh.com.au/executive-style/luxury/mine-discovers-507carat-white-diamond-20090930-gbky.html>

УДК 549.241.549.1



Маракушев А.А.

Происхождение алмаза и его гигантских кристаллов

Маракушев Алексей Александрович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института экспериментальной минералогии РАН, академик РАН, почётный профессор МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: belova@iem.ac.ru

Рассматривается происхождение алмазов в метеоритах, взрывных кольцевых структурах, кимберлитовых и лампроитовых трубках на платформах, делается вывод об образовании гигантских кристаллов алмаза в кимберлитовых и лампроитовых трубках за счет собирательной перекристаллизации алмазных агрегатов типа карбонадо.

Ключевые слова: алмаз, метеориты, хондриты, взрывные структуры, эклогиты, пироповые перидотиты, кимберлитовые трубки, лампроитовые трубки.

В первом приближении алмазы подразделяются на три генетические группы по их нахождению в метеоритах (1), в породах взрывных кольцевых структур (2) и в эклогитах, гранатовых пироксенитах и пироповых перидотитах (3).

1. Алмазы в метеоритах – удивительных камнях, падающих с неба, содержатся универсально – во всех хондритах, составляющих 87% зафиксированных падений метеоритов на Землю. Хондриты состоят из бедных железом каплевидных силикатных обособлений (хондр), заключенных в богатую железом матрицу. По составу матрицы хондриты подразделяются на силикатно-металлические (с никель-железной матрицей) и оливинные, в которых металлическая матрица существенно замещена оливином ($MgFeSiO_4$) и находится в реликтах (остатках), отличающихся от первичной никель-железной матрицы более высоким содержанием никеля. Алмаз содержится в металлической фазе хондритов в мельчайших (около 10 нм) зернах, сростающихся с муассанитом (SiC). Хондриты являются гелиоцентрическими метеоритами, которые в своем падении на Солнце захватывались гравитацион-

ным полем Земли. Источником их служит пояс астероидов – обломков самых примитивных (хондритовых) железо-каменных планет, который обращается вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера. Наличие в хондритах ассоциации алмаза с муассанитом имеет большое генетическое значение, так как для ее образования требуется громадное давление, которое может создаваться только флюидными оболочками планет-гигантов группы Юпитера. Такими были и материнские планеты-гиганты хондритовых планет. Они образовывали их ядра, развивавшиеся под огромным давлением их флюидных оболочек с образованием богатых флюидами железных ядер. Под давлением этих флюидов и произошел взрывной распад хондритовых планет на астероиды, после того как их материнские планеты потеряли гигантские флюидные оболочки под воздействием Солнца. Алмаз хондритов представляет прямые свидетельства такого развития. Его зерна так богаты флюидными (водородными) включениями, что их объемная плотность равняется $2,2\text{--}2,3 \text{ г/см}^3$, тогда как плотность самого алмаза равна $3,5 \text{ г/см}^3$. Это служит доказательством кристаллизации алмаза под огромным флюидным давлением оболочек материнских планет-хондритов. По изотопным характеристикам ксенон во флюидных включениях в алмазе аналогичен ксенону в оболочке Юпитера и существенно отличается от ксенона солнечного ветра.

В планетной эволюции хондритовые планеты были предшественниками планет земной группы, но это касается только силикатно-металлических (никель-железных) их типов, которые не останавливались на хондритовой ступени развития, а эволюционировали дальше в недрах материнских планет-гигантов. Они расслаивались на силикатные оболочки и флюидные никель-железные ядра. Поэтому они не подвергались взрывному распаду как хондритовые планеты. Эти планеты и сформировали земную группу (Меркурий, Венера, Земля, Марс). Образование у них прочных силикатных оболочек (мантии и коры) препятствовало их взрывному распаду под давлением флюидов, сосредоточившихся в их жидких железо-каменных ядрах. Оно реализовалось развитием эндогенной активности. У Меркурия, Венеры, Марса она продолжалась до их полной консолидации (затвердевания), что сопровождалось потерей ими собственных магнитных полей. На Земле она продолжается уже 4,6 млрд. лет. Наиболее наглядным ее проявлением служат землетрясения взрывной природы, очаги которых (гипоцентры) прослеживаются до глубины 700 км. В своем распространении они контролируются ослабленными структурами в мантии и земной коре. На платформах они распространяются на континентальных окраинах и в обрамлениях поднятий их кристаллического фундамента.

2. Платформенные ослабленные структуры начинали свое развитие с образования обширных поднятий земной коры. На них формировались кольцевые депрессии, заполняемые осадочными породами, после чего началось их катастрофическое развитие. В их центральных частях возникали воздымания (поднятия) кристаллического фундамента, сопровождаемые поступлением глубинных флюидов, порождавшие взрывы большой мощности. Под их воздействием происходили метаморфизм и плавление пород с нередким образованием плотных минералов – алмаза, коэсита, стишовита и других.

Во взрывных кольцевых структурах алмаз образует мельчайшие зерна иногда в сростаниях с лонсдэйлитом (гексагональным алмазом). Предполагается его образование в этих структурах в результате преобразования графита, с которым он сходен по изотопному составу углерода (алмаз $\delta^{13}\text{C}=16,8 \text{ ‰}$, графит $\delta^{13}\text{C}=17,3 \text{ ‰}$). Минералам метаморфических алмазоносных пород этого типа (кварцу, полевоому шпату, пироксену) свойственны специфические особенности, выражающиеся в понижении их преломления и двупреломления, планарные структуры и переходы в соответствующие им по составу стекла – лешательерит (аналог кварца), маскелинит (аналог калиевого полевого шпата). К самым интересным образованиям относятся диаплектовые стекла, при образовании которых минералы горных пород утрачивают кристаллическую структуру и превращаются в соответствующие им по составу мономинеральные стекла (образуются псевдоморфозы стекол по минералам). Поскольку плотность стекла существенно выше плотности минерала этот процесс сопряжен с плавлением минералов и выносом их вещества в виде мономинеральных расплавов, соответствующих маскелиниту, лешательериту и др. Плавление пород – характернейший процесс воздействия на них взрывов высокого энергетического уровня. Оно сопряжено в кольцевых структурах с дроблением пород, и образованием сложных алмазоносных расплавов. Взрывными волнами они выбрасывались на большую высоту с возвращением в кольцевые структуры и их окрестности в виде стекловатых обломочных пород, получивших названия зювиты и тагамиты (в том числе алмазоносные). Типичными представителями алмазоносных кольцевых структур в нашей стране являются Попигайская на севере Сибирской платформы и Пучеж-Катунская на Русской платформе.

Возможно, в структурах подобного рода наиболее мощные взрывы отбрасывали расплавленный материал далеко за пределы кольцевых структур и образовывали тектиты – небольшие кусочки кислых стекол ($70\text{--}80\% \text{ SiO}_2$) с признаками аэродинамической абляции на поверхности. Они залегают в осадочных породах вне видимой связи с кольцевыми депрессиями, но их состав вполне отвечает взрывному плавлению песчано-глинистого заполнения депрессий.

3. История ювелирного алмаза на Земле начиналась с открытия его россыпей в Индии (Голконда), Бразилии, на юге Африки и затем на других континентах. В Африке впервые были найдены коренные алмазные месторождения, представленные кимберлитовыми трубками (1871 г.).

В дальнейшем подобные трубки выявились во всех районах распространения алмазных россыпей на платформах. Трубки характеризуются очень сложными конфигурациями (в плане), как показано на примере трубок различных районов Якутии (рис. 1). Их образование начиналось с восходящего потока флюидов на пересечении разломов, выщелачивающих породы платформенного чехла. Его фрагменты при этом могли падать на большую глубину и захватываться алмазоносной кимберлитовой магмой, внедрявшейся в образовавшуюся трубку. Ее внедрение было эксплозивным (взрывным), сопровождавшимся образованием кимберлитовых туфов. Отчасти они выбрасывались наружу и образовывали алмазные россыпи, отчасти отлагались в верхних частях трубок, сопригаясь с образованием в них осадков и песчаных туфов (туффитов). Они могут прорываться восходящей магмой, которая большей частью кристаллизуется в глубинных частях трубок, образуя кимберлиты.

Кимберлиты – субвулканические ультраосновные породы ($\text{SiO}_2 \text{ } 39,99 \text{ TiO}_2 \text{ } 14,6 \text{ Al}_2\text{O}_3 \text{ } 5,72, \text{ Fe}_2\text{O}_3 \text{ } 6,04, \text{ FeO } 5,10,$

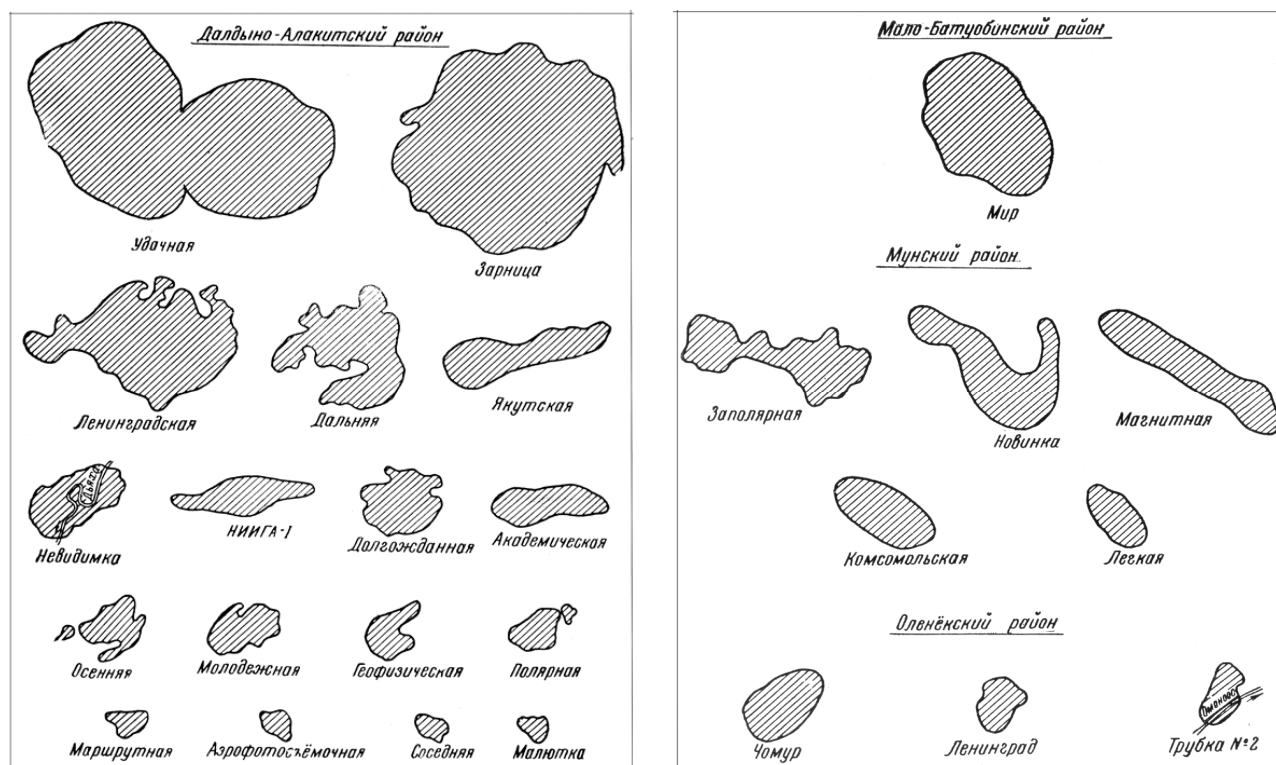


Рис.1. Сопоставление в плане кимберлитовых трубок на Сибирской платформе

MnO 0,01, MgO 25,87, CaO 14,67, Na_2O 0,21, K_2O 0,82). Они состоят из фенокристаллов оливина и карбонатно-серпентиновой основной массы, по составу которой кимберлиты разделяются на богатые и бедные карбонатом. Кимберлитовые магмы, богатые карбонатом, являются более подвижными и при внедрении в трубки опережают магмы, бедные карбонатом, или не содержащими его. Кимберлит долгое время считался материнской породой алмаза, но затем была установлена принадлежность кимберлита и алмаза к совершенно различным фациям глубинности – коровой и мантийной соответственно. Прежде всего это касается кальцита, типичного для кимберлитов, который можно назвать абиссафобным минералом (неустойчивым на глубине), переходящим с повышением давления в свою плотную модификацию – арагонит. В кимберлитах содержатся алмазоносные пироповые перидотиты, гранатовые пироксениты и эклогиты (гранат-клинопироксеновые породы), образующие останцы от замещения их кимберлитовой магмой (нодулы). Начало кристаллизации соответствующих им магм с образованием алмаза и его спутников, происходило в магматических очагах на больших глубинах мантии в период, предшествующий их внедрению в земную кору. Алмазоносные интрузивы вплетались в формирование архейского фундамента платформ. Затем они вовлекались в платформенную активизацию и замещались кимберлитовыми магмами в верхнепротерозойское, палеозойские и мезозойские время, с унаследованием алмазной минерализации интрузивов и образованием кимберлитовых трубок. Еще более молодыми (кайнозойскими) являются трубки, представленные лампроитами. Лампроиты как и кимберлиты являются бимодальными, расщепленными на два типа: $\text{SiO}_2=44,70$ (55,84), $\text{TiO}_2=2,89$ (6,13), $\text{Al}_2\text{O}_3=3,82$ (8,24), $\text{Fe}_2\text{O}_3=4,93$ (6,20), $\text{FeO}=4,21$ (1,16), $\text{MnO}=0,14$ (0,11), $\text{MgO}=29,02$ (9,40) $\text{CaO}=4,72$ (2,90), $\text{Na}_2\text{O}=0,39$ (0,51), $\text{K}_2\text{O}=4,42$ (8,77), $\text{P}_2\text{O}_5=0,67$ (0,73). Лампроит является щелочным аналогом кимберлита (рис.3) и содержит лейцит – абиссафобный минерал, легко разлагаемый с повышением флюидного давления на ассоциацию ортоклаза и нефелина – псевдолейцит. Кимберлиты и лампроиты относятся к типу вторичных алмазоносных пород. Они не содержат собственных минералов высокого давления, которые наследовались ими вместе с алмазом в процессах флюидного магматического замещения ими материнских пород алмаза - перидотитов, гранатовых клинопироксенитов и эклогитов. Минералы этих пород содержатся в алмазе в виде включений, определяя его генетические типы – перидотитовый, пироксенитовый и эклогитовый. Никаких других типов первичного ювелирного алмаза не существует. Соответствующие материнские породы алмаза содержатся в кимберлитах и лампроитах в виде останцев от их замещения флюидными магмами (нодулей) и в

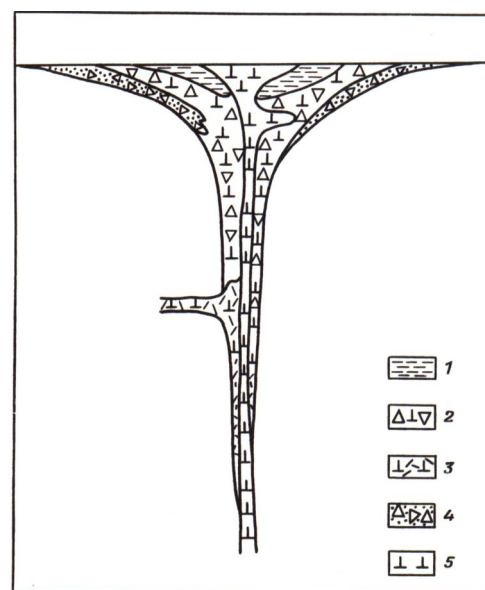


Рис. 2. Модель лампроитовой трубки (Австралия): 1- переотложенный слоистый туф; 2-3 - «непесчаный» лампроитовый туф; 4 - «песчаный» туф; 5 - магматический лампроит

дезинтегрированном состоянии в виде минералов, называемых спутниками алмаза. Первоначально материнские породы алмаза параллелизовались с соответствующими слоями мантийного субстрата, но затем была выявлена их магматическая (интрузивная) природа. Магматические породы вообще являются полифациальными, в них совмещаются минералы, кристаллизовавшиеся в глубинных очагах (первичных и промежуточных) и на месте их окончательной консолидации. Специфика материнских пород алмаза определяется огромной глубиной зарождения и первичной кристаллизации магм. Их очаги расслаивались на перидотитовую (нижнюю) пироксенитовую и эклогитовую (верхнюю) зоны под громадным давлением флюидов, исходящих из жидкого земного ядра и порождающих алмаз, $H_2 + CO = H_2O + C$ (алмаз). Давление затем снижалось в ходе восходящей интрузии магм из глубинных очагов алмазной генерации в земную кору. В земной коре консолидация алмазоносных пород сопровождалась метастабильным дорастанием минералов, выносимых из глубины.

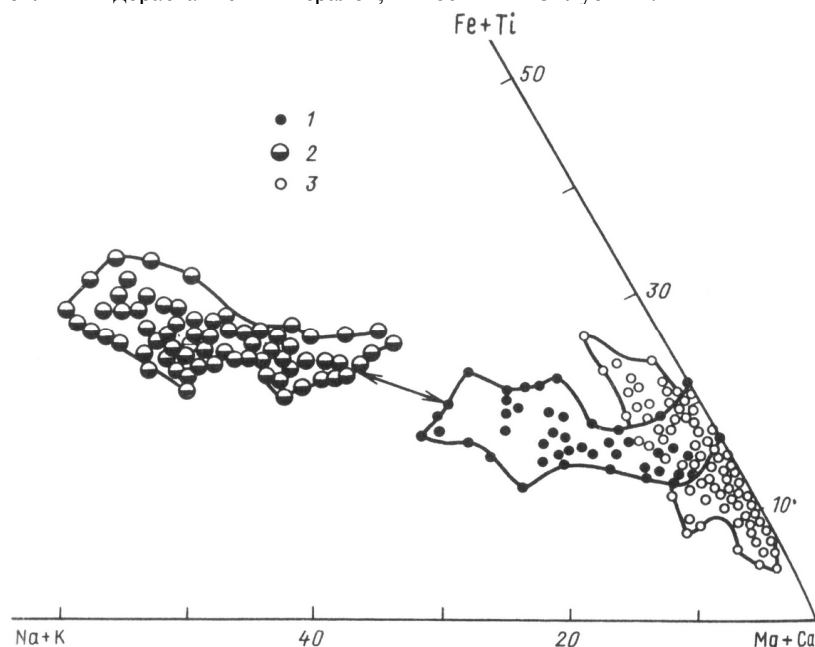


Рис 3. Петрохимическая диаграмма лампроитов Западной Австралии и кимберлитов: 1—оливинитовые лампроиты и их туфы; 2 — лейцитовые лампроиты и их туфы; 3 — кимберлиты

ский массив в Казахстане). Только в архейских формациях эклогит-перидотитовые алмазоносные интрузивы были достаточно крупными, чтобы сохраниться в составе древнейшего фундамента платформ. На их основе и развивались очаги платформенного магматизма, развивавшиеся путем магматического замещения в основном перидотитов и в меньшей мере эклогитов с унаследованием их алмазной минерализации. Это стимулировалось флюидами, исходящими из мантийных очагов интрузивов, которые эволюционировали в сторону повышения щелочности. Под воздействием этих флюидов платформенный магматизм со временем ошелачивался, давая кимберлиты — биотитовые кимберлиты — лампроиты, образующие разновозрастные алмазоносные трубки. Их возраст изменялся от протерозойского до кайнозойского, но возраст содержащихся в них эклогитов и перидотитов неизменно оставался очень древним (3–4 млрд. лет). Это относится и к алмазу, содержащемуся в кимберлитах и лампроитах, в которых только алмазы, испытавшие перекристаллизацию, сближались по возрасту с трубками, в которых они находятся. Магматические очаги в глубинных мантийных условиях взаимодействуют с ультраосновным субстратом и поэтому всегда эволюционируют в сторону повышения щелочности расплавов и соответственно порождаемых ими трансмагматических флюидов. Под воздействием этих флюидов в эвгеосинклинальных поясах развивается щелочной (глаукофановый) метаморфизм. Соответственно в алмазоносных перидотитовых интрузивах развиваются очаги кимберлитового и лампроитового магматизма, причем с существенным возрастным разрывом. Чем больше этот разрыв, тем более щелочными образуются кимберлит-лампроитовые расплавы. Максимальной щелочностью обладают лампроиты западной Австралии, возраст которых всего 22 млн. лет. Они развились с замещением алмазоносных перидотитов, возраст которых порядка 3 млрд. лет. К древнейшим кимберлитовым трубкам относится богатейшая трубка Премьер в Южной Африке, имеющая протерозойский возраст. За время ее эксплуатации в первой половине прошлого века было извлечено 15 тонн алмазов. Южная Африка лидирует в мире по запасам золота (Витватерсранд), платиновых металлов (Бушвельд), по которому в литературе приводились очень яркие данные. Если все бриллианты, изготовленные из алмазов, добытых на юге Африки, сложить в кучу, то ее высота будет равна высоте пирамиды Хеопса (146 м).

Под флюидным воздействием кимберлитовой магмы алмазы отчасти растворяются и замещаются по периферии зерен пористыми и фибровидными агрегатами (с карбонатом), снижающими их качество. Отдельные зерна диспергируются, превращаясь в алмазную пыль. Углерод, освобождающийся при растворении алмаза кимберлитовой магмой, проявляет сильное химическое сродство с кислородом. Это приводит к восстановлению в ней металлов ($2FeO + C = 2Fe + CO_2$ и др.), осаждающихся в самородном состоянии в виде тончайших пленок на издеденных поверхностях алмазных зерен или сохраняющихся в виде металлической пыли в кимберлитах. В россыпях алмазные

Такая полифациальность алмазоносных пород проявляется в специфической зональности их зерен. Например, в клинопироксен, кристаллизовавшийся при огромном давлении в алмазной фации глубинности, может входить существенная примесь калия (до 1,5% K_2O), которая в алмазоносных клинопироксенитах содержится только в центральных частях его зерен и отсутствует в их периферических частях. Это отражает завершение кристаллизации в режиме более низкой глубинности.

Эклогит-перидотитовые интрузивы свойственны формированию только докембрийских эвгеосинклинальных (офиолитовых) формаций. Они вовлекались в них в складчатость, подвергались метаморфизму совместно с вмещающими вулканогенно-осадочными породами (Родопы в Болгарии, Дабишань и Сулу в Китае и др.). При наличии в них зерен алмаза они подвергались при метаморфизме распаду с превращением в алмазную пыль (Кокчетав-

зерна истираются с поверхности, и пленки самородных металлов на них сохраняются только в углублениях (кавернах и ямках растворения алмаза). Преобладает их железный металлический состав, например (масс. %): Fe 95,89; Ni 0,40; Cu 0,42; Mn 0,23; Cr 0,11; Si 0,59; Al 0,54; сумма 98,18. Различаются разнообразные типы пленки: Fe-Cr, Fe-Cr-Ni, Cu₃Zn₂, Cu₃Sn, Sn, Pb, Bi, Au, Au₂Pd₃ Au₇Ag₁, Ti, Ta. Воздействие на алмазы кимберлитового магматизма было неодинаковым на различных стадиях его восстановительно-окислительной эволюции, обусловленной изменением состава флюидов в результате селективной миграции водорода и метана, приводящая к их углекислому составу. Характерной чертой кимберлитовых алмазных кристаллов является постоянное наличие в них следов растворения и перекристаллизации, сопровождаемых облегчением изотопного состава углерода и частичной потерей алмазом азота и легкого изотопа гелия. В результате перекристаллизации, сопровождаемой растворением, зерна алмаза теряли первичные октаэдрические формы и превращались в кубоиды (с вторичными включениями кальцита) и причудливые бесформенные агрегаты, иногда с существенным стяжением алмазного вещества.

Слабое воздействие кимберлитового и лампроитового магматизма по отношению к алмазной минерализации ограничивается окружением алмазных кристаллов или быть нераспознаваемым. В этом случае алмазные кристаллы в кимберлитах остаются почти идентичными первичным кристаллам алмаза, наблюдаемым в нодулях перидотитов, пироксенитов и эклогитов, отличающихся обычно идеальной сохранностью граней, ребер и вершин кристаллов. Обычно в них содержатся включения порообразующих минералов, захваченных алмазом при кристаллизации в магмах, по которым однозначно определяются составы этих магм и генетические типы алмазов, распознаваемые и в перекристаллизованном алмазе – перидотитовый (пироп, оливин, хромит), пироксенитовый (гранат, клинопироксен), эклогитовый (омфоцит, гранат).

Все кристаллы, первично содержащиеся в нодулях трубок, являются небольшими (величиной с ноготь), но в кимберлитах и лампроитах к ним добавляются и несравнимо более крупные и гигантские кристаллы алмаза и его зернистые типы (карбонадо, борт, баллас).

Рекордсменом среди алмазных гигантов до сих пор остается Куллинан весом 0,6 кг (3106 карат), найденный в 1905 г. в кимберлитах трубки Премьер и названный в честь Томаса Куллинана (рис. 4) – открывателя этой трубки, крупнейшей в Южной Африке.

Происхождение гигантских кристаллов алмаза представляет особую проблему, отличную от проблемы генезиса зерен алмаза мелкого и среднего размера, выносимых в земную кору из мантийных магматических очагов перидотитовыми, пироксенитовыми и эклогитовыми магмами. Эта проблема имеет как бы два аспекта, касающихся образования алмазов нормального размера и объединения их в гигантские кристаллы, которые не встречаются в первичных алмазоносных породах (перидотитах, пироксенитах и эклогитах). Они являются алмазами вторичных (коровых) алмазоносных пород – кимберлитов и лампроитов. В то же время они содержат включения минералов первичных (мантийных) алмазоносных пород – перидотитов, пироксенитов и эклогитов. Это позволяет распространять и на них общую систематику алмазов кимберлитовых трубок. Гигантские кристаллы встречаются во всех алмазоносных провинциях, причем лидирует в этом отношении Южная Африка и особенно упоминавшаяся выше трубка Премьер. Особенно показательны в этом отношении гигантские алмазные кристаллы весом в сотни карат. В южноафриканских месторождениях за период 1870–1970 гг. было извлечено 2584 таких гигантов. В их числе и упоминавшийся выше Куллинан, представленный типом алмаза (IIA), не содержащего азота, что является прямым свидетельством его происхождения. За счет перекристаллизации первичного алмаза форма кристалла менее правильная – они могут быть круглыми, продолговатыми, с волнообразной поверхностью, покрытой выбоинами или отполированной. Азот теряется всякого рода перекристаллизации алмаза.

Это относится и к Куллинану (см. рис. 4), довольно неправильная форма которого с углублением позволяет

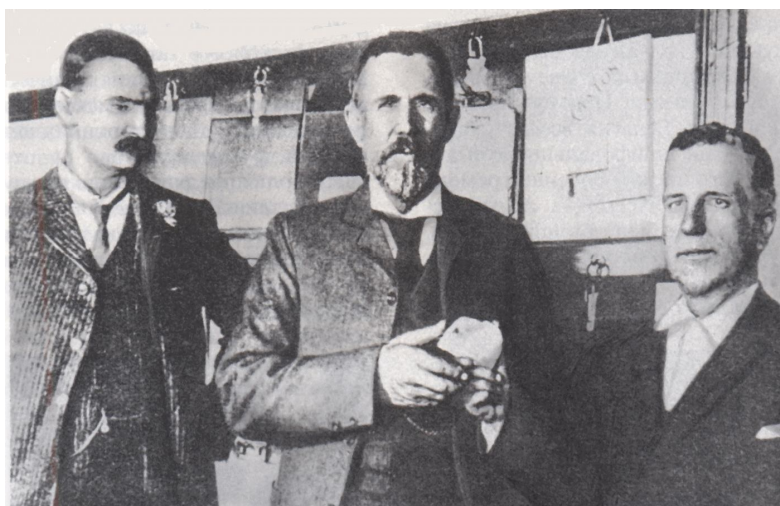


Рис.4. Алмаз Куллинан в руках управляющего рудником Премьер Дедди Уэлса (справа), который извлек алмаз из кимберлита, и Вильямс Мак-Харди, генерального менеджера рудника в 1905 г. Слева – сэр Томас Куллинан

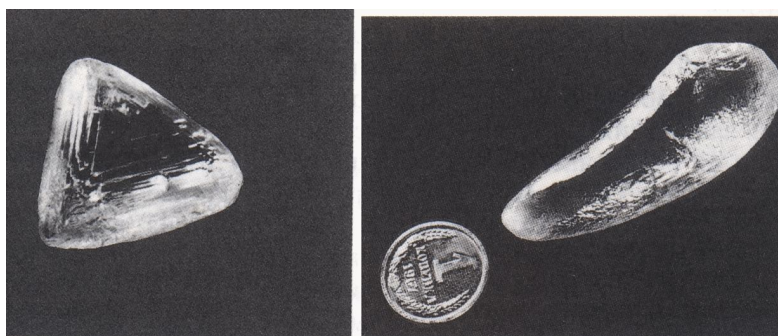


Рис. 5. Сопоставление алмазов в кимберлитах, различающихся по массе. Слева – алмаз Лариса Попугаева Масса 29,4 кар., тр. Мир, справа – алмаз Чекист. Масса 95,03 кар., тр. Мир

предполагать его образование за счет собирательной перекристаллизации алмазов типа карбонадо, с которыми он сходен морфологически.

Другим примером может служить алмаз Великий Могол (787 карат) из Индии, имевший совершенно неправильную форму, хотя известны и гиганты довольно правильной октаэдрической формы, как алмаз Вентер (511 карат) из Южно-Африканской республики. Показательны и удлинённые сосулькообразные формы гигантских алмазов как у алмаза Чекист (41,5x15,5x6,5 мм) из трубки Мир в Якутии, показанного на рисунке 5 в сопоставлении с небольшим октаэдрическим кристаллом, представляющим алмазы, типичные для кимберлитовых трубок.

Они отличаются от первичных алмазов нодулей только сглаженностью углов их кристаллов, обусловленной растворяющим воздействием флюидных кимберлитовых расплавов. В процессах же образования гигантских кристаллов флюидное воздействие было несравнимо более совершенным и выражалось в объемной перекристаллизацией зернистых алмазов, сопровождавшейся обеднением их легким изотопом гелия и азотом. В случае Куллимана, представленного совершенно безазотным алмазным веществом, и других гигантских кристаллов, перекристаллизация выражалась обеднением мелких алмазных зерен зернистых агрегатов с превращением их в гигантские кристаллы алмаза. С такой точки зрения зернистые типы алмаза (карбонадо и др.) являются аналогами предшественника гигантских кристаллов алмаза. Кимберлитовые магмы внедрялись на глубине в первично алмазоносные породы путем их магматического замещения в сопровождении трансмагматических флюидов, растворяющих и выносящих силикатный материал, тогда как алмаз оставался и захватывался магмой, образуя стяжения. Они и подвергались последующей собирательной перекристаллизации с образованием гигантских кристаллов. Это фиксируется наличием в кимберлитах алмазных сростков, например, в трубке Мир описан алмаз Каюр (53,85 карат) размером 22,2x19,0x16,6 м представленный сростком двух кристаллов.

Срастания алмазов в кимберлитах приводят к алмазным массам, достигающим громадных размеров. В трубке Удачная описано такое вытяжение алмазов (2,5 кг), содержащих включения граната и хромдиопсида.

При перекристаллизации алмазов проявляется тенденция изменения их первичной октаэдрической формы на кубоидную.. Октаэдрические и кубические кристаллы в трубках принципиально различны по составу содержащихся в них флюидных включений (в скобках – флюидные включения в кубических кристаллах в %): $H_2O=17,2$ (63,3), $CO_2=9,5$ (20,8) $CO=14,3$ (нет), $CH_4=12,9$ (5,8), $N_2=43,1$ (1,8). Для кубических кристаллов характерны водо-углекислые флюиды, что согласуется с обилием в них включений кальцита, совершенно отсутствующих в первичных октаэдрических кристаллах всех типов алмаза, кальцит в них появляется только в каймах и других структурах их вторичного изменения.

В режиме развития кимберлитового магматизма агломерация алмазных зерен сопровождалась инфильтрацией флюидов и приводила к сходным процессам их совместного разрастания и образования прочных минеральных агрегатов (баллас, борт, карбонадо). Они достигали значительных размеров, сопоставимых с гигантскими кристаллами алмаза, как, например, борт (783 карата), найденный в алмазных россыпях Сьерра-Леоне в Западной Африке. Вообще же преобладают образцы борта и карбонадо размером порядка 20 карат. Перечисленные агрегатные зернистые типы алмазов, как и гигантские алмазные кристаллы, в первичных алмазоносных породах (перидотитах, пироксенитах и эклогитах) не встречаются, что определяет связь их образования с развитием кимберлитового магматизма, хотя и специфического типа. Между зернистыми и монокристалльными типами алмазов имеются переходные разновидности. В зернистых шаровидных алмазах типа баллас нередко развивается радиально-лучистая структура перекристаллизации, приводящая к их полной перекристаллизации в монокристалльные округлые образования черного цвета.

Зернистые разновидности алмазов (карбонадо и др.) в типичных кимберлитах, слагающих стволы кимберлитовых трубок, отсутствуют. Характерными местами их нахождения являются апикальные части трубок, в которых кимберлитовый магматизм в значительной мере распространяется путем магматического замещения песчано-глинистые породы платформенного чехла, как показано на рисунке 6 на примере кимберлитовых трубок Заира, и россыпи.

К преобладающим алмазам Заира относится борт (составляет 75%), который характеризуется зернистой, радиально-лучистой, волокнистой и скорлуповидной структурой. Кимберлитовый магматизм этих трубок широко распространялся в породы чехла, формируя своеобразные алмазоносные кимберлитовые мигматиты, в которых с удалением от трубок кимберлитовый материал последовательно уступал место песчано-глинистому материалу платформенного чехла. Это фиксируется и составом включений в зернистых алмазах, в которых

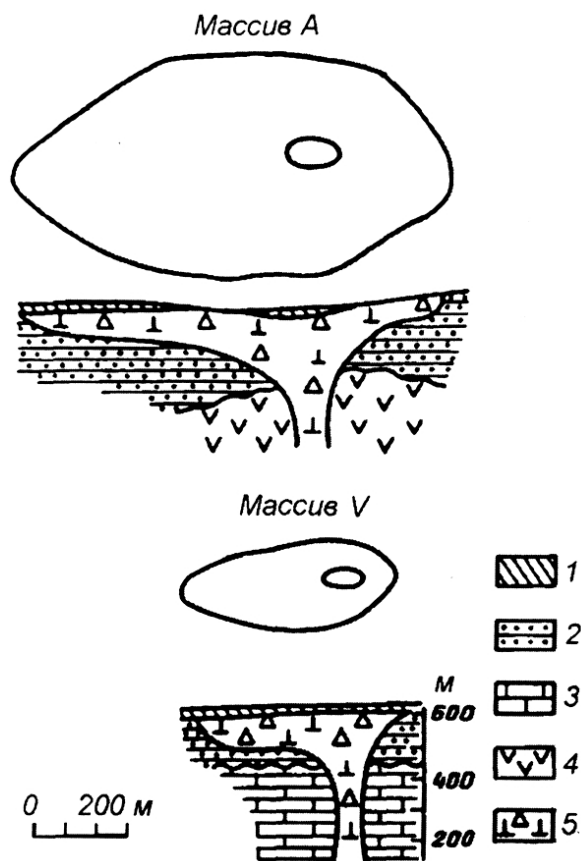


Рис.6. План и разрезы кимберлитовых трубок группы Дизеле в Заире: 1 – делювиальные отложения; 2 – песчаники; 3 – известняки; 4 – долериты; 5 – кимберлитовые породы

которых с удалением от трубок кимберлитовый материал последовательно уступал место песчано-глинистому материалу платформенного чехла. Это фиксируется и составом включений в зернистых алмазах, в которых

минералы глубинного происхождения сочетаются с минералами пород платформенного чехла, что отражает растянутость во времени процесса стяжения алмазных зерен в кимберлитовой трубке.

Кимберлитовая магма относится к щелочно-ультраосновному типу и сопровождающие ее трансмагматические флюиды особенно агрессивны по отношению к силикатическим песчано-глинистым породам платформенного чехла, которые легко замещаются кимберлитовыми магмами. Этим объясняется нередко широкое горизонтальное распространение кимберлитовых магм, в том числе, алмазоносных. С удалением от порождающих их кимберлитовых трубок утрачиваются многие свойственные кимберлитам особенности и возникают сложные по составу породы, которые выделяются под особыми названиями – ксенотуфобрекчии, туффзиты и др. Все это алмазоносные щелочно-ультраосновные песчано-глинистые брекчии туфового облика, образующие ветвящиеся многофазные жилы, дайки, стратиформные тела и трубки. Это удивительное и очень широкое распространение алмазоносного магматизма в рыхлые песчано-глинистые толщи платформенных чехлов.

Показательно наличие в них хромита, хромистого пикроильменита, пиропса с высокой кноррингитовой составляющей, хромдиопсида и округлых кристаллов алмаза. Они с несомненностью свидетельствуют о генетической связи туффзитов с алмазоносными кимберлитами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маракушев А.А. Алмазоносные метеориты как показатели двустадийного развития их материнских планет // Минералогический журнал. 1996. № 3.
Marakushev A.A. (1996). Almazonosnye meteority kak pokazateli dvustadiinogo razvitiya ikh materinskikh planet. Mineralogicheskii zhurnal. N 3.
2. Маракушев А.А. Генетические типы алмаза // Минералогический сборник. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН. 2006. С. 18–27.
Marakushev A.A. (2006). Geneticheskie tipy almaza. In: Mineralogicheskii sbornik. Syktvykar: Komi NTs UrO RAN. Pp. 18–27.
3. Маракушев А.А. Генетические типы алмазной минерализации // Материалы Всеросс. конф. «Золото, платина и алмазы республики Коми и сопредельных регионов». Сыктывкар: Геопринт. 1998. С. 124–126.
Marakushev A.A. (1998). Geneticheskie tipy almaznoi mineralizatsii. In: Materialy Vseross. konf. «Zoloto, platina i almazы respubliki Komi i sopredel'nykh regionov». Syktvykar: Geoprint. Pp. 124–126.
4. Маракушев А.А. Происхождение алмаза и его гигантских кристаллов в связи с поисковыми критериями // Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. РАН ОНЗ. М., 2004. С. 321–333.
Marakushev A.A. (2004). Proiskhozhdenie almaza i ego gigantskikh kristallov v svyazi s poiskovymi kriteriyami. In: Krupnye i superkrupnye mestorozhdeniya: zakonomernosti razmeshcheniya i usloviya obrazovaniya. RAN ONZ. Moskva. Pp. 321–333.
5. Маракушев А.А. Термодинамическая специфика алмаза в связи с проблемой образования его гигантских кристаллов и карбонадо // Минералогический журнал. Киев: Наукова думка. 2004. Т. 26. № 3. С. 62–74.
Marakushev A.A. (2004). Termodinamicheskaya spetsifika almaza v svyazi s problemoi obrazovaniya ego gigantskikh kristallov i karbonado. Mineralogicheskii zhurnal. Kiev: Naukova dumka. T. 26. N 3. Pp. 62–74.
6. Маракушев А.А., Зиновьева Н.Г. Специфика алмазов в метеоритах и земных горных породах и ее генетическая интерпретация // Бюлл. МОИП. Серия геолог. 2005. № 2. С. 3–20.
Marakushev A.A., Zinov'eva N.G. (2005). Spetsifikaalmazov v meteoritakh i zemnykh gornykh porodakh i ee geneticheskaya interpretatsiya. Byull. MOIP. Seriya geolog. N 2. Pp. 3–20.
7. Маракушев А.А., Зиновьева Н.Г., Грановский Л.Б. Генетические типы минералов ультравысокого давления в метеоритах // ДАН. 2007. Т. 417. № 5. С. 673–676.
Marakushev A.A., Zinov'eva N.G., Granovskii L.B. (2007). Geneticheskie tipy mineralov ul'travysokogo davleniya v meteoritakh. DAN. T. 417. N 5. Pp. 673–676.
8. Маракушев А.А., Митрейкина О.Б., Зиновьева Н.Г., Грановский Л.Б. Алмазоносные метеориты и их генезис // Петрология. 1995. № 5. С. 3–24.
Marakushev A.A., Mitreikina O.B., Zinov'eva N.G., Granovskii L.B. (1995). Almazonosnye meteority i ikh genezis // Petrologiya. N 5. Pp. 3–24.
9. Маракушев А.А., Панях Н.А. Формирование алмазоносных взрывных кольцевых структур // Пространство и Время. 2011. № 4. С. 118–123.
Marakushev A.A., Paneyakh N.A. (2011). Formirovanie almazonosnykh vzryvnykh kol'tsevykh struktur. Prostranstvo i Vremya. N 4. Pp. 118–123.
10. Маракушев А.А., Сан Л., Бобров А.В., Панях Н.А. Перцев Н.Н., Зотов И.А. Азиатский экологитовый алмазоносный пояс // Тихоокеанская геол. 2000. Т. 19. № 1. С. 3–36.
Marakushev A.A., San L., Bobrov A.V., Paneyakh N.A., Pertsev N.N., Zotov I.A. (2000). Aziatskii eklogitovyi alma-zonosnyi po yas. Tikhookeanskaya geol. T. 19. N 1. Pp. 3–36.
11. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Зуев В.М. История алмаза. М.: Недра. 1997. 600 с.
Khar'kov A.D., Zinchuk N.N., Zuev V.M. 1997. Istoriya almaza. Nedra, Moskva. 600 p.
12. Marakushev A.A., Zinovieva N.G. and Granovsky L.B. Genetic relations between meteorites and terrestrial and lunar rocks // Petrology. 2010. V.18. N. 7. Pp. 677–720.
13. Marakushev A.A., Zinovieva N.G. and Granovsky L.B. Genetic types of ultrahigh-pressure minerals in meteorites // DAN. 2007. 417a. N. 9. Pp. 1412–1415.
14. Marakushev A.A., Zinovieva N.G. and Granovsky L.B. Three genetic types of ultrahigh-pressure minerals in meteorites // Antarctic Meteorites. XXXI. 2007. NIPR. Tokyo. P. 45–46.